

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**Bakalářská práce**

**Principy hodnocení existujících betonových konstrukcí a  
jejich aplikace na mostní konstrukce**

**2019**

**Vypracoval: Tomáš Batěk**

**Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby**

**Vedoucí projektu: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.**



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Batěk Jméno: Tomáš Osobní číslo: 460478

Zadávací katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Principy hodnocení existujících betonových konstrukcí a jejich aplikace na mostní konstrukce

Název bakalářské práce anglicky: Principles of Assessment of Existing Concrete Structures and its Application on Bridge Structures

Pokyny pro vypracování:

- rešerše základních principů hodnocení existujících konstrukcí a základních odlišností od návrhu nových konstrukcí
- způsoby aplikace výše uvedených principů na mostní konstrukce (platné předpisy pro hodnocení existujících mostů), vliv podrobnosti a vyhodnocení průzkumných prací
- aplikace získaných poznatků na jednoduchém příkladu

Seznam doporučené literatury:

ČSN ISO 13822, ČSN 73 0038, ČSN 73 6222, Metodický pokyn SŽDC pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20. 2. 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 26. 5. 2019

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## PROHLÁŠENÍ

Jméno studenta: Tomáš Batěk

Název bakalářské práce: Principy hodnocení existujících betonových konstrukcí a jejich aplikace na mostní konstrukce

Prohlašuji, že jsem uvedenou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením školitele Ing. Michala Drahoráda, Ph.D.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použitých zdrojů.

V Praze dne: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

podpis

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalovi Drahorádovi, Ph.D. za pomoc při výběru tématu a za cenné a užitečné rady při vypracovávání této práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům za podporu po celou dobu mého studia.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá základními principy při hodnocení betonových mostních konstrukcí nedestruktivními a semidestruktivními metodami a stanovením jejich zatížitelnosti pomocí metody dílčích součinitelů.

V praktické části je stanovena zatížitelnost pro mostní oblouk mostu I/4 Nerestce, ev. č. 4-031. Z výsledků vyplývá, že úroveň znalostí získaných diagnostickým průzkumem dané konstrukce příznivě přispívá k velikosti její celkové zatížitelnosti a provozuschopnosti.

## **Klíčová slova**

Diagnostické metody, Experimentální zkoušení betonu, Zatížitelnost mostních konstrukcí, Dílčí součinitelé zatížení

## **Abstract**

This work deals with the basic principles of the evaluation of concrete bridge structures by non-destructive and semi-destructive methods and with evaluation loadability by the method of partial factors.

The practical part of this work deals with determining the load-bearing capacity for bridge I / 4 Nerestce, ev. no. 4-031. The results show that the level of knowledge gained by the diagnostic measurement of the structure contributes positively to the overall load capacity and its serviceability.

## **Key words**

Diagnostic methods, Experimental testing of concrete, Load capacity of bridge structures, Partial safety factor

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	9
<b>2</b>	<b>Obecný systém hodnocení</b> .....	10
2.1	Postup hodnocení.....	10
2.2	Předběžné hodnocení.....	10
2.3	Podrobné hodnocení.....	11
<b>3</b>	<b>Zkoušky existujících konstrukcí a materiálů</b> .....	12
3.1	Nedestruktivní zkoušky.....	12
3.1.1	Vizuální metody.....	13
3.1.2	Karbonatace betonu.....	13
3.1.3	Stanovení množství chloridů v betonu.....	14
3.1.4	Mrazuvzdornost.....	15
3.1.5	Tvrdoměrné metody.....	16
3.1.6	Ultrazvuková impulzní metoda.....	16
3.2	Semidestruktivní zkoušky.....	20
3.2.1	Jádrové vývrty.....	20
3.2.2	Odtrhové zkoušky.....	22
<b>4</b>	<b>Metody pro vyhledávání výztuže</b> .....	23
4.1	Elektromagnetická indukční metoda.....	23
4.2	Radiografická metoda.....	24
<b>5</b>	<b>Vyhodnocení zkoušek</b> .....	26
5.1	Stanovení velikosti stálých zatížení.....	26
5.2	Stanovení materiálových vlastností.....	27
5.2.1	Přímý odhad návrhové hodnoty vlastnosti materiálu pro ověřování mezních stavů.....	28
<b>6</b>	<b>Ověřování existujících konstrukcí mostů metodou dílčích součinitelů</b> .....	29
6.1	Index spolehlivosti.....	30
6.2	Dílčí součinitelé pro materiálové vlastnosti.....	31
6.3	Dílčí součinitelé pro zatížení.....	34
6.3.1	Dílčí součinitelé pro stálá zatížení.....	34
6.3.2	Dílčí součinitelé pro zatížení dopravou.....	34
<b>7</b>	<b>Praktická část – Stanovení zatížitelnosti mostního oblouku</b> .....	36
7.1	Zadání.....	36
7.2	Charakteristika mostu.....	37
7.3	Schéma mostu.....	39
7.4	Diagnostický průzkum.....	40

7.5	Aktualizace dílčích součinitelů.....	43
7.5.1	Beton.....	43
7.5.2	Betonářská ocel.....	44
7.5.3	Stálé zatížení.....	45
7.5.4	Zatížení dopravou.....	45
7.5.5	Přehled aktualizovaných hodnot dílčích součinitelů.....	46
7.6	Výpočtový model .....	46
7.6.1	Popis modelu a statického působení.....	46
7.6.2	Materiálové charakteristiky .....	47
7.6.3	Zatížení konstrukce .....	47
7.6.3.1	Stálé zatížení.....	47
7.6.3.2	Nahodilé zatížení – Zatížitelnosti dle ČSN 73 6222 .....	49
7.6.3.3	Schémata zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti.....	50
7.6.3.4	Stanovení výhradní zatížitelnosti.....	53
7.6.3.5	Stanovení výjimečné zatížitelnosti.....	53
7.6.3.6	Teplotní účinky .....	54
7.7	Stanovení zatížitelnosti mostu v MSÚ (mezní stav únosnosti).....	55
7.7.1	Princip stanovení zatížitelnosti .....	55
7.7.2	Zatížitelnost dle ČSN EN pro navrhování, geometrie podle projektu .....	57
7.7.3	Zatížitelnost stanovená s upřesněním zbytkové životnosti a měřením geometrie konstrukce.....	63
7.7.4	Zatížitelnost stanovená s upřesněním dle experimentálních zkoušek.....	68
7.8	Porovnání výsledků.....	73
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>77</b>
<b>9</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>78</b>
9.1	Literatura.....	78
9.2	Internetové zdroje .....	79
<b>10</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>81</b>
<b>11</b>	<b>Seznam tabulek .....</b>	<b>83</b>
<b>12</b>	<b>Seznam použitých symbolů.....</b>	<b>84</b>



## 1 Úvod

Mostní konstrukce patří mezi významné inženýrské stavby a jejich trvalá provozuschopnost je z ekonomického a bezpečnostního hlediska důležitým faktorem. Vlivem stárnutí betonových mostních konstrukcí a změnou zatížení v čase vzniká potřeba stanovit jejich aktuální zatížitelnost a zjistit současný stav konstrukce spolu s odhadem zbytkové doby živostnosti. Nejpoužívanější metodou pro ověřování existujících mostů je v současnosti metoda dílčích součinitelů, v případě potřeby podrobnějšího ověření lze použít metody pravděpodobnostní.

Cílem této je stanovení maximálního zatížení aplikovatelného na existující mostní konstrukci (zatížitelnosti) v návaznosti na různé metody diagnostických průzkumů. Vyhodnocení výsledků diagnostického průzkumu se provádí v souladu se vstupními požadavky na použitou metodiku výpočtu zatížitelnosti, tj. metodu dílčích součinitelů. Praktickou část tvoří aplikace zjištěných poznatků na betonovém mostním oblouku a stanovení jeho zatížitelnosti.

## 2 Obecný systém hodnocení

### 2.1 Postup hodnocení

Na počátku se jednoznačný účel hodnocení dané konstrukce stanoví na základě prohlídky konstrukce a předběžné konzultace s objednavatelem (vlastníkem, úřadem, pojišťovací společností apod.), podle které se stanoví další postupy hodnocení. Vše se provede s uvážením současného stavu konstrukce a případných specifických okolností (např. dostupnosti projektové dokumentace, způsobu využívání konstrukce atd.). Poté se jednoznačně účel a způsob hodnocení stanoví s ohledem na její budoucí funkční způsobilost, která je definovaná úrovní bezpečnosti poskytující uživatelům konstrukce odpovídající bezpečnost, úrovní trvale udržitelných funkčních vlastností poskytující nepřetržitou funkčnost u konstrukcí, jako jsou nemocnice, významné budovy nebo klíčové mosty a požadavky objednavatele na speciální funkční vlastnosti, které se týkají ochrany vlastnictví či použitelnosti.

Základem pro hodnocení a návrh opatření je identifikace scénářů (kritických situací) souvisejících se změnou konstrukčních podmínek nebo zatížením konstrukce. Scénáře jsou charakterizovány rozhodujícími procesy nebo zatížením, případně jedním nebo více vedlejšími procesy či zatíženími. [1.5]

### 2.2 Předběžné hodnocení

Studiem projektové dokumentace a zpráv z prohlídek jsou získány důležité informace, které jsou nezbytné pro zevrubné hodnocení konstrukce. Ověří se správnost a aktuálnost dokumentace včetně informací o všech předchozích konstrukčních opatření a dalších údajích, jako jsou významné vlivy prostředí nebo seizmická zatížení, extrémní zatížení, změny v základových poměrech, poškození korozí a nesprávné využití konstrukce.

Při předběžné prohlídce se identifikuje konstrukční systém a možné poškození konstrukce pomocí vizuální prohlídky a jednoduchých nástrojů. Získané informace se vztahují k vlastnostem povrchu, k viditelným deformacím, k trhlinám, odprýskávání, korozi atd. Výsledky prohlídky se zatřídí kvantitativně podle jejího možného poškození (např. žádné, menší, mírné, závažné, destrukční, neznámé). Účelem je identifikace kritických nedostatků s ohledem na budoucí bezpečnost a použitelnost konstrukce. Na základě získaných výsledků se posoudí, zda je nutný další průzkum. Pokud se zjistí, že konstrukce je v potenciálně nebezpečném stavu, je nutné provést nezbytná bezpečnostní opatření. [1.5]

## 2.3 Podrobné hodnocení

Podrobné hodnocení provádíme, jestliže se při předběžném hodnocení konstrukce vyskytnou nejistoty v zatíženích, v účincích zatížení nebo ve vlastnostech konstrukce.

Pokud jsou k dispozici, prověřují se všechny dokumenty týkající se výstavby a prohlídek konstrukce, platných norem v době výstavby a geologického prostředí, do kterého je konstrukce zasazena. Z těchto dokumentů se zjistí konstrukční detaily, rozměry konstrukce a také charakteristické hodnoty materiálových vlastností. Jestliže se zde objeví jakékoliv pochybnosti o jejich správnosti, musíme je stanovit z podrobné prohlídky a ze zkoušek materiálů. [1.5]

### 3 Zkoušky existujících konstrukcí a materiálů

Základními ukazateli stavu konstrukcí jsou materiálové charakteristiky, které se získávají zkouškami nedestruktivními, semidestruktivními a destruktivními.

Nedestruktivní metody (viz 3.1) povrch zkoušené konstrukce většinou nepoškodí, pouze se u některých metod vhodně upraví zkoušené místo. V principu jsou tyto metody levnější a mohou se aplikovat na velký počet zkušebních míst na konstrukci. Naproti tomu jsou méně přesné (veličina se měří nepřímo) a je u nich zvýšené riziko chyb a špatné aplikace.

Semidestruktivní metody (viz 3.2) jsou přesnější a lze jimi zpravidla zjistit stav konstrukce ve větší hloubce. Jejich aplikací částečně poškozujeme konstrukci, např. vrtáním, odtrhy apod. Zároveň jsou dražší, složitější na provedení a používají se v omezeném množství. Velmi pečlivě musíme volit místa, kde je aplikujeme. V žádném případě nesmíme nepříznivě ovlivnit únosnost nosné konstrukce. V některých případech semidestruktivní zkoušky nejsou proveditelné.

Destruktivními metodami měříme na vybraných materiálech nebo konstrukcích přímo požadované fyzikální veličiny. Mezi tyto zkoušky řadíme například zkoušení prefabrikovaných dílců v tahu za ohybu, v tlaku a zkoušku na vzpěrnou pevnost. V této práci jsou dále popsány pouze vybrané nedestruktivní a semidestruktivní druhy zkoušek.

Nejvhodnějším způsobem zjišťování vlastností konstrukce z hlediska stanovení jejich skutečných hodnot je přímé měření (semidestruktivní a destruktivní metody). S ohledem na náročnost (pracnost, cena atd.) a zásahy do konstrukce se však zpravidla na konstrukci provádí kombinace výše uvedených metod. [2.1]

#### 3.1 Nedestruktivní zkoušky

Metody, které přímo nezasahují do celistvosti konstrukce a ani jiným způsobem ji nenarušují. Poškození konstrukce je prakticky zanedbatelné. Můžeme je dělit podle fyzikálního principu, na kterém jsou jednotlivé metody založené. [2.3]

Základní metody jsou popsány v následujících normách:

- ČSN 73 1371: Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
- ČSN 73 1372: Rezonanční metoda skúšania betónu

- ČSN 73 1373: 2011 Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu
- ČSN 73 1376: Radiografie betonových konstrukcí a dílců
- ČSN EN 12504-2: 2002 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem
- ČSN 12504-4: 2005 Zkoušení betonu – Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu [2.3]

### 3.1.1 Vizuální metody

Vizuální prohlídka mostu je základní, celkové prověření technického stavu objektu. Při této metodě není potřeba přímý kontakt se sledovanou konstrukcí, neumísťujeme na konstrukci ani do ní nezabudováváme žádné měřicí přístroje. Při prohlídce se sledují a identifikují zejména trhliny, nadměrný průhyb, výskyt koroze a karbonatace betonu, koroze výztuže, zvětvování povrchu, poškození vnějším zásahem a nevhodné konstrukční řešení.

Dále se kontroluje tvar a přetvoření, při kterém se zkoumají rozměry, imperfekce a přetvoření jednotlivých prvků a celé konstrukce.

Zjištěné nedostatky se přehledně zakreslí a načrtnou se stručným popisem a uvedením pravděpodobné příčiny jejich vzniku. A stanoví se další postup získávání informací s ohledem na účel diagnostiky. [1.1]

### 3.1.2 Karbonatace betonu

Karbonatace betonu je proces, při kterém oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  pronikající z prostředí do betonu, přeměňuje hydroxid vápenatý  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  s hodnotou pH 12,6 na uhličitý vápenatý  $\text{CaCO}_3$  s hodnotou pH 7. Na ochranu výztuže před korozí (pasivací) je nutná hodnota alespoň pH 9. Klesne-li pH pod tuto hodnotu, rozpadne se vrstvička hutných oxidů železa mezi ocelí a betonem. Dochází k tzv. depasivaci výztuže a tím má k výztuži přístup voda a kyslík a startuje koroze výztuže.

Karbonatace se projevuje na povrchu betonu vznikem výkvětů a skvrn, s práškovitým povrchem bílé barvy. [1.1]

Nejrozšířenější metodou měření hloubky karbonatace je fenolftaleinová zkouška. Způsob měření spočívá v nanesení roztoku fenolftaleinu na odsekanou část betonu konstrukce nebo na jádrové vývrty. V oblasti s  $\text{pH} > 9$  dojde působením indikátoru

k zabarvení betonu červeno-fialovou barvou (Obr. 1). Pouze u betonu, u kterého dojde k zabarvení, je dostatečně chráněná ocelová výztuž. [1.2]



Obr. 1: Fenolftaleinová zkouška úrovně karbonatace betonu na jádrových vývrtech [1.15]

### 3.1.3 Stanovení množství chloridů v betonu

Orientačně lze zjistit obsah chloridů v betonu potřením čerstvé lomové plochy betonu 1 % roztokem dusičnanu stříbrného  $\text{AgNO}_3$  a následně 5 % roztokem chromanu draselného. Obsahuje-li beton více jak 0,4 % chloridů z hmotnosti cementu, zbarví se do žluta (Obr. 2).

Kvantitativní analýzu provedeme rozdrčením a rozemletím vzorku, kde získaný pracovní vzorek smísíme s destilovanou vodou, fenolftaleinem, hydroxidem sodným a chromanem draselným a konečnou titrací roztokem dusičnanu stříbrného.

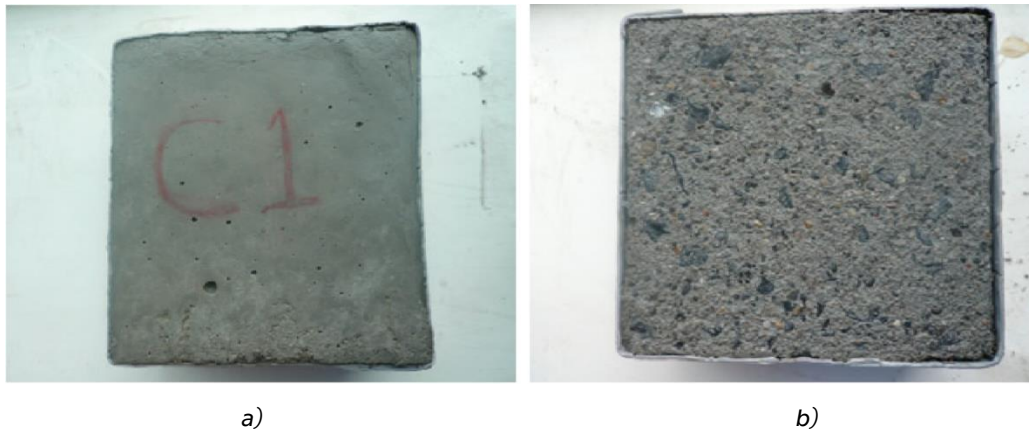
Pro zjištění hloubky průniku chloridů rozřežeme jádrový vrt na tenké vrstvy různě vzdálené od povrchu vývrtnu a stanovíme obsah chloridových iontů u každé vrstvy zvlášť. [1.6]



Obr. 2: Zjišťování chloridů v betonu [2.13]

### 3.1.4 Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost betonových konstrukcí se obecně zkouší pomocí střídavého zmrazování a rozmrazování vodou nasycených zkušebních těles v předem stanoveném teplotním rozmezí. Zkušební tělesa jsou vložena do misky s roztokem chemické rozmrazovací látky v takovém množství, aby byl vzorek ponořen do hloubky  $5 \pm 1$  mm. Měří se počet zmrazovacích cyklů a zaznamenává se množství odpadlých částic ze vzorků (Obr. 3). Vyhodnocení zkoušky se stanoví poměrem součtu všech hmotností odpadů od prvního dne k velikosti zkušebního povrchu. Výsledná hodnota se zatřídí a stanoví se stupeň porušení. [1.11]



Obr. 3: Povrch betonového vzorku před zkouškou mrazuvzdornosti (a) a po 28 zmrazovacích cyklech (b) [2.12]

### 3.1.5 Tvrdoměrné metody

Odrazový tvrdoměr se skládá z ocelového berana s pružinou, která po uvolnění vymrštíje berana na ocelový razník proti povrchu betonu. Výsledek zkoušky se určí z vynaložené energie nebo z poměrů rychlosti nárazu a rychlosti odskoku.

Před použitím odrazového tvrdoměru je potřeba vybrat správné místo pro zkoušení a upravit povrch betonu. Místa se volí na povrchu tam, kde je beton stejnoměrný, bez štěrkových míst, přirozeně vlhký nebo suchý. Zvolená místa musí být tak velká, aby se na nich dal provést potřebný počet úderů. Zkoušená místa se zbaví zkarbonatované vrstvy betonu a vybrousí se, aby byla patrná struktura betonu. Zkoušky se povedou v místě cementové malty bez dutin, která je rozhodující pro pevnost betonu konstrukce. [1.3]

Výhodou této metody je cena a rychlost stanovení pevnosti betonu v tlaku. Nevýhodou je menší přesnost, kde odchylky mohou dosahovat i 20 %, v závislosti na kalibraci přístroje. Nejčastěji používaným tvrdoměrem je Schmidtovo kladívko (Obr. 4). [2.4]



Obr. 4: Odrazový tvrdoměr Proceq SilverSchmidt Type N [2.8]

### 3.1.6 Ultrazvuková impulzní metoda

Jedná se o čistě nedestruktivní metodu se snadným prováděním. Je založena na měření rychlosti šíření ultrazvukových impulsů materiálem, nejčastěji s frekvencí vyšší než 20 kHz. Rychlost šíření je závislá jednak na fyzikálně mechanických vlastnostech materiálu jednak na přítomnosti poruch v konstrukci. K nevýhodám patří obtížnější interpretace výsledků ve složitějších případech a citlivost přístroje na vnější vlivy.

Při diagnostice stavebních konstrukcí se běžně používají sondy, s pracovním kmitočtem v rozsahu 20 kHz až 150 kHz. Obecně platí, že s rostoucí frekvencí roste rozlišovací schopnost, a tudíž i přesnost měření, nicméně ultrazvukové kmitočty



o vysokých frekvencích jsou při průchodu konstrukcí mnohem výrazněji zeslabovány.  
[2.1]

Z normy ČSN EN 12504-4:2005 lze odvodit doporučení:

- Pro krátké měřicí základny (do 50 mm) je vhodné použít přístroje s kmitočtem 60 kHz – 200 kHz
- Pro dlouhé měřicí základny (v metrech, do 15 m) se doporučuje použít přístroje s kmitočtem 10 kHz – 60 kHz
- Pro většinu případů se doporučuje používat kmitočty 40 kHz – 60 kHz

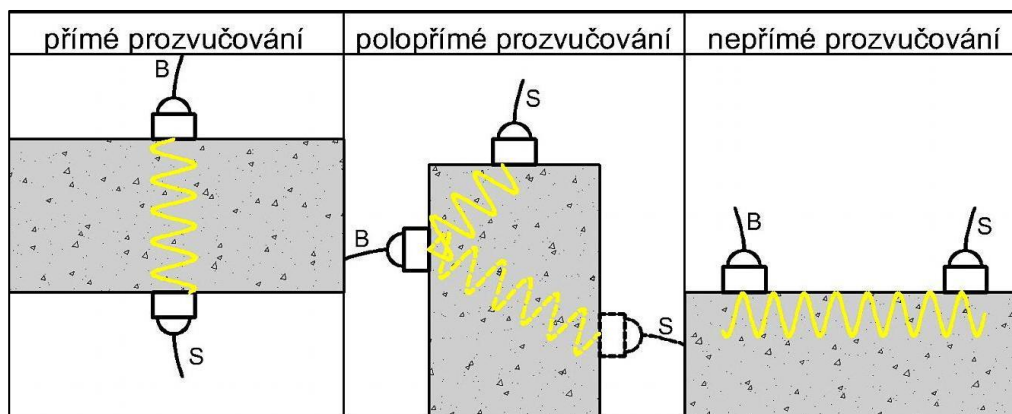
Rozeznáváme dva hlavní způsoby vyšetřování konstrukce pomocí ultrazvuku.

1. Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu zkoumaným prostředím
2. Odrazová metoda

#### Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu

První metodou je možné sondy přiložit na zkoumanou konstrukci třemi způsoby (Obr. 5). Jestliže jsou sondy přiložené na protilehlých stranách konstrukce, jedná se o přímé prozvučování. Pokud jsou umístěny na dvou přilehlých stranách, hovoříme o polopřímém prozvučování. O polopřímém prozvučování se jedná také, pokud jsou sondy umístěny na protilehlých stranách, ale ne přímo proti sobě. Jsou-li sondy umístěny na jedné straně, mluvíme o nepřímém prozvučování.

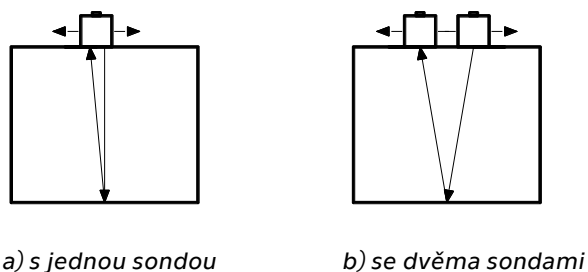
Nepřímé prozvučování je citlivé na řadu vnějších vlivů. Je tedy vhodné jej používat pouze v případech, kdy není možné použít přímé ani polopřímé měření, nebo v případech, kdy je nutná důkladná kontrola kvality povrchu. Vyhodnocení zkoušky na základě rychlosti šíření ultrazvuku provádíme dle příslušných kalibračních vztahů pro daný materiál. Přítomnost defektů a nehomogenit usuzujeme na základě prodloužení času průchodu, které způsobilo obcházení tohoto místa. [2.1]



Obr. 5: Možnost umístění sond na konstrukci [2.2]

### Odrazová metoda

Druhou metodu volíme tehdy, jestliže je konstrukce přístupná jen z jedné strany. Tento způsob měření nám, na rozdíl od nepřímého prozvučování, pomáhá odhalit defekty, nehomogenity případně cizorodá tělesa po celé výšce konstrukce. Odrazová metoda umožňuje dva způsoby měření. S jednou sondou v režimu vysílač-přijímač a se dvěma sondami, kdy jedna funguje jako vysílač a druhá jako přijímač (Obr. 6). [2.1]



Obr. 6: Odrazová metoda s jednou a dvěma sondami

Metoda s jednou sondou je jednodušší na provádění a manipulaci, ale vhodná spíše pro masivnější konstrukce. Druhý způsob se dvěma sondami je náročnější na provádění, nicméně vyhodnocení výsledků je možné i pro tenké konstrukce. [2.1]

### Dynamický modul pružnosti

Ze známých parametrů se dle vzorce (1) stanoví dynamický modul pružnosti:

$$E_{cu} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \quad (1)$$

Kde je

$E_{cu}$  ..... hodnota dynamického modulu pružnosti [MPa]

$\rho$  ..... objemová hmotnost [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$v_L$  ..... rychlost šíření impulzů ultrazvukového vlnění [ $\text{km}/\text{s}$ ]

$k$  ..... součinitel rozměrnosti

Dynamický modul se přepočte dle vzorce (2) na statický modul pružnosti:

$$E_c = \kappa_u \cdot E_{cu} \quad (2)$$

Kde je

$\kappa_u$  ..... zmenšovací součinitel

Podle normy ČSN 73 1371 je jeden z možných směrných kalibračních vztahů pro výpočet pevnosti betonu v tlaku pomocí impulsové rychlosti ve tvaru (3):

$$f_c = 9,9v_{L3}^2 - 56v_{L3} + 87,8 \quad (3)$$

Kde je

$f_c$  ..... je pevnost betonu [MPa]

$v_{L3}$  ..... impulzová rychlost podélného UZ vlnění v trojrozměrném prostředí [ $\text{km}/\text{s}$ ]

Tento vztah je nutné brát s rezervou, protože byl vytvořen pro betony vyráběné před více než 30 lety a zkoušené ve stáří 14 až 56 dnů. Aplikace na moderní betony již není přesná, jejich hodnoty pevnosti v tlaku jsou ve skutečnosti větší. [2.3] [2.6]

Stanovit pevnost v tlaku pouze z rychlosti šíření ultrazvukového signálu je u betonových konstrukcí problematické. Rychlost šíření vln je úzce spojena s hutností a modulem pružnosti materiálu. Beton má tyto charakteristiky závislé zvláště na křivce zrnitosti použitého kameniva, druhu kameniva a jeho fyzikálních vlastnostech a dále na vlastnostech tmelu (vodní součinitel, stáří betonu). Na druhou stranu pevnost betonu v tlaku je více závislá na vodním součiniteli než na druhu a složení kameniva a tmelu. Vztah mezi rychlostí šíření impulzů a pevností v tlaku se může měnit v závislosti na konkrétním složení betonu. Odhad pevnosti touto metodou je pro neznámý beton nevěrohodný. Také citlivost metody pro vzrůstající pevnost betonu klesá, neboť čím je větší pevnost betonu v tlaku, tím je menší změna rychlosti.

V Tab. 1 jsou zobrazeny orientační hodnoty pevnosti betonu na základě rychlosti šíření ultrazvukového signálu. Jedná se pouze o hrubý odhad, který se může lišit na základě konkrétního složení betonu. [2.6]

Tab. 1: Odhad kvality betonu na základě rychlosti šíření signálu [2.6]

kvalita betonu	rychlost podélných vln [m/s]	orientační pevnost [MPa]
velmi špatná	pod 2000	-
špatná	2000–3000	do 1
nedobrá	3000–3500	do 15
dobrá	3500–4000	do 25
velmi dobrá	4000–4500	do 40
výborná	nad 4500	nad 40

## 3.2 Semidestruktivní zkoušky

Zasahují přímo do celistvosti konstrukce. Jejich použitím zkoušenou konstrukci částečně poškodíme.

Tyto zkoušky upravují následující normy:

- ČSN EN 12504-1: 2001 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku
- ČSN EN 12504-3: 2005 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 3: Stanovení síly na vytržení [2.1]

### 3.2.1 Jádrové vývrty

V řadě případů přesnost nedestruktivních zkoušek nedostačuje, proto je nutné přistoupit k odběru vzorků přímo z konstrukce a jejich následnému destruktivnímu zkoušení. K nejčastějším metodám získávání těchto vzorků a upřesňování hodnot jiných nedestruktivních zkoušek patří tzv. jádrové vývrty. Vrtným nástrojem je jádrová vrtačka s dutým válcovým korunkovým vrtákem. Břity korunky mohou být diamantové případně nahrazeny tvrdokovem. Velikost jádrových vývrtů je variabilní a může být volena prakticky od 25 mm do 300 mm. Jádrové vývrty průměru 50 mm a více slouží převážně ke kontrole pevnosti betonu v tlaku. Vývrty menších průměrů se provádí pro stanovení propustnosti betonu pro kapaliny a plyny nebo pro zjištění hloubky

karbonatace. Pro snadnější vrtání a stabilizování vrtačky na požadované místo se používá držák (lafeta), do kterého je vrtačka upevněna a který umožňuje vrtačku polohovat dle potřebného úhlu. Břity vrtáku jsou ve většině případů ochlazovány vodou. Po provedení vrtu do požadované hloubky se jádro opatrně vylomí z vrtu.

Hlavním kritériem pro velikost jádrových vývrtů je velikost maximálního zrna kameniva v betonu, hustota prutů výztuže a rozměry konstrukce, ze které je vrt odebrán. Průměr vývrtu by měl být alespoň 3x větší, než je maximální zrno kameniva. Zároveň by měl být dodržen požadavek u hustě armovaných konstrukcí, že objem výztuže ve vývrtu by neměl překročit 4 % z objemu vývrtu. Přitom výztuž musí být orientována kolmo nebo mírně šikmo k podélné ose vývrtu. [1.6] [2.1]

Pevnost betonu v tlaku se dále stanoví dle normy ČSN EN 12390-3, kde je popsána metoda zatěžování, úprava vzorků před zatěžováním a příklady nevyhovujících způsobů porušení. Vztah pro výpočet pevnosti betonu v tlaku je popsán rovnicí (4).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (4)$$

Kde je

$F$ ..... maximální zatížení při porušení v N;

$A_c$ ..... průřezová plocha zkušebního tělesa v mm<sup>2</sup>. [1.13]



Obr. 7: Odebrané a upravené jádrové vývrtky pro zkoušku v tlaku [1.15]

### 3.2.2 Odtrhové zkoušky

Slouží ke stanovení přídržnosti povrchových vrstev k podkladu (stěrky, omítky, nátěry), nebo ke zjištění tahové pevnosti povrchových i podpovrchových vrstev betonu.

[2.1]

Povrchová vrstva se prořízne jádrovým vrtákem, jehož průměr odpovídá průměru použitého zkušební terče. Po očištění povrchu proříznutého betonu se na něj přilepí kvalitním epoxidovým lepidlem zkušební terč. Terč musí být umístěn na střed návrtu a přilepen celoplošně. Lepidlo nesmí vniknout do spáry návrtu. Výška terče bývá obvykle 30 mm. [2.5]

Po zatvrdnutí lepidla se terč uchytlí do trhacího přístroje, který vyvodí na povrch betonu vzrůstající jasně definovanou a předepsanou sílu až do porušení povrchu. Při odtržení se zaznamená nejvyšší hodnota tahové síly. [2.1] [2.5]

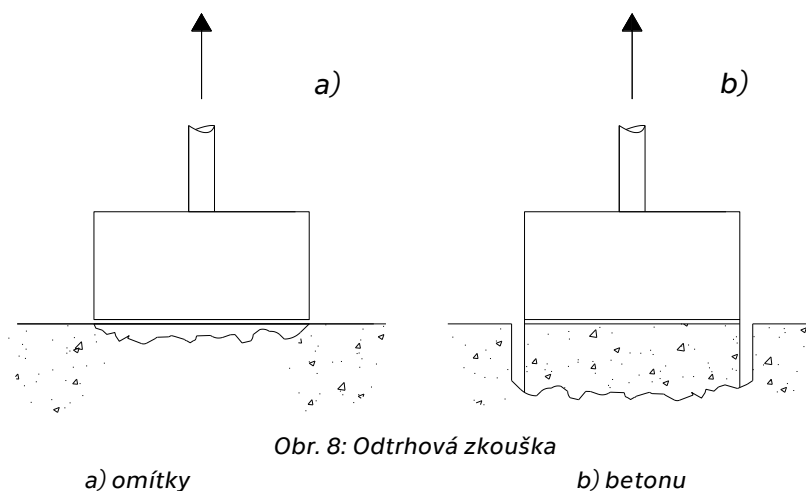
Pevnost v tahu povrchových vrstev je stanovena podle vzorce (5) jako podíl největší dosažené síly v N a plochy průřezu.

$$R_t = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Kde je

$F$  .....největší dosažená síla v N;

$A$  .....velikost plochy průřezu v místě roztržení v mm<sup>2</sup>. [2.5]



Obr. 8: Odtrhová zkouška

a) omítky

b) betonu

## 4 Metody pro vyhledávání výztuže

Nedestruktivní

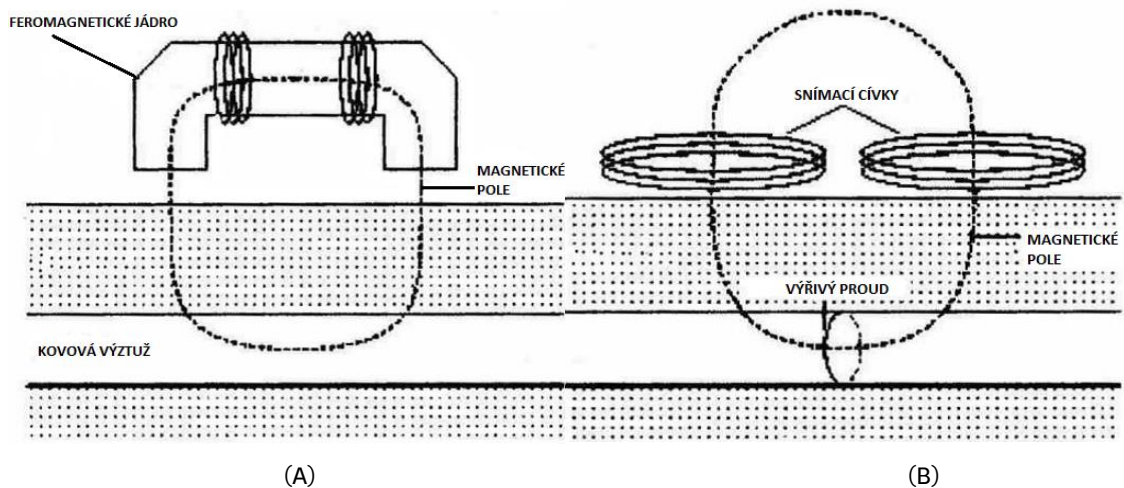
- Elektromagnetické indikátory
- Radiografie

Destruktivní – odsekání krycí vrstvy a přímé měření polohy a průměru výztuže + ohledání povrchu z hlediska stanovení typu betonářské výztuže použité v konstrukci

### 4.1 Elektromagnetická indukční metoda

Při hodnocení železobetonových konstrukcí je v mnohých případech potřebné vyhledat a lokalizovat výztuž v konstrukci. Jedná se zejména o konstrukce, u kterých se nedochovala výkresová dokumentace nebo je u nich potřebné odebrat vzorky a omezit porušení výztuže. Využitím elektromagnetické indukční metody lze zjistit prvotní orientační informace o profilech, množství, rozmístění a krytí ocelové výztuže. Tato metoda je založena na využití feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, které způsobují změnu magnetického pole po přiblížení sondy k ocelové výztuži.

Pro vyhledávání kovů jsou dnes využívány dvě nejčastější metody. První metoda využívá magnetických vlastností hledaného materiálu. Přístroje pracující s touto metodou vyhodnocují změnu magnetického odporu magnetického obvodu. V tomto obvodu se magnetické pole uzavírá mezi pólovými nastavci budící cívky a kovovým hledaným předmětem. Přesnost měření je ovlivněna teplotou jádra vyhledávací cívky a rušivými účinky magnetických polí, včetně magnetického pole země. Druhá metoda je metoda založená na pulsně – indukční technologii, která má cívky vyhledávací hlavy bez magnetického jádra a je více odolná vůči výše zmíněným vlivům. Názorně jsou obě metody zobrazeny na Obr. 9.



Obr. 9: Princip měření pomocí sondy s feromagnetickým jádrem (A) a sondy s pulsně – indukční technologií (B) [2.7]

K výhodám elektromagnetické indukční metody patří rychlost a jednoduchost kontroly výztuže a její čistě nedestruktivní charakter. Nevýhodou této metody je nízká přesnost měření při větší hustotě rozmístění prutů výztuže, nemožnost měřit výztuž v druhé rovnoběžné vrstvě a ovlivnitelnost silnými magnetickými poli např. od elektrické trakce. [2.1] [2.7]

## 4.2 Radiografická metoda

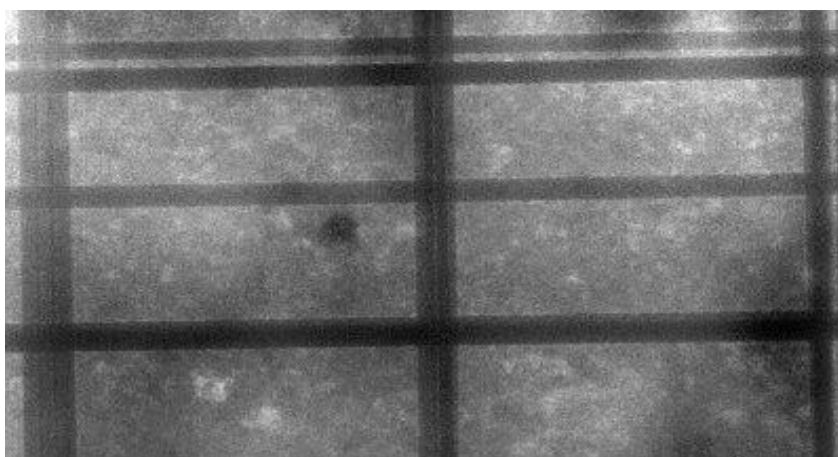
Princip radiografické metody spočívá ve využití ionizujícího záření procházejícího materiálem k posouzení nepřístupných míst a ke stanovení vlastností materiálu bez nutnosti přímého zásahu do konstrukce. V radiografické metodě je obecně možné použít dva typy záření, záření gama a rentgenové záření. Zdrojem rentgenového záření jsou rentgenky nebo lineární urychlovače, které generují záření vybuzenými elektrony. Naproti tomu gama záření je generováno rozpadem izotopu iridia ( $\text{Ir}_{192}$ ) nebo kobaltu ( $\text{Co}_{60}$ ). Toto záření je slabší, a proto má menší schopnosti prostupovat materiálem. Rentgenové záření je mnohem silnější s větší možností průniku do materiálu. Porovnání obou záření je v Tab. 2.



Tab. 2: Hloubka průniku radiografických metod [1.7]

	Zdroj záření/ Energie	Prozářená tloušťka betonu [mm]
Gama záření	Ir192	25-250
	Co60	120-500
Rentgenové záření	1 MeV	~70-350
	6 Mev	~280-1270
	18 Mev	~500-1600

Intenzita vyzařovaného záření se vlivem rozptýlení a jeho absorpcí materiálem snižuje. Dutiny nebo místa s nižší hustotou materiálu umožňují průchodu většího množství záření. Tyto rozdíly v množství prošlého záření jsou poté zaznamenávány na radiografický film nebo detektory, kde jsou zobrazeny jako světlá a tmavá místa (Obr. 10).



Obr. 10: Radiogram výztuže [2.9]

Hlavní výhodou radiografické metody je možnost posoudit místa, která jsou jinak nepřístupná, jako je zjištění množství a poškození ocelové výztuže, dutiny, trhliny v betonu a poškození předpínací výztuže a její zainjektování u předpjatého betonu. Naproti tomu mezi hlavní nevýhody patří objemnost přístrojů a s tím související špatná manipulace s nimi + nutnost manipulace s radioaktivním materiálem. Vysoké náklady na provádění, které dále zvyšují požadavky na bezpečnost při práci a jejich časová náročnost. [1.7]

## 5 Vyhodnocení zkoušek

### 5.1 Stanovení velikosti stálých zatížení

Z výsledků průzkumů se určí experimentálně charakteristické hodnoty stálých zatížení. Charakteristická hodnota stálého zatížení se stanoví na základě odebraných  $n$  vzorků  $G_1, G_2, \dots, G_n$  ze kterých se určí jejich průměr, směrodatná odchylka a charakteristická hodnota stálého zatížení podle vztahu (6).

$$m_G = \frac{\sum G_i}{n}; s_G^2 = \frac{\sum (G_i - m_G)^2}{n-1}; G_k = m_G \pm k_{n,G} s_G \quad (6)$$

Kde je

$m_G$ .....průměr stálého zatížení;

$s_G$ .....směrodatná odchylka stálého zatížení;

$k_{n,G}$ .....součinitel pro stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení;

$n$ .....počet vzorků;

$G_k$ .....charakteristická hodnota stálého zatížení.

Součinitel  $k_{n,G}$  je závislý na počtu odebraných vzorků, uvedený je v Tab. 3. V rovnici pro výpočet  $G_k$  (6) se součinitel  $k_{n,G}$  uvažuje kladný, působí-li stálé zatížení nepříznivě a záporný, působí-li příznivě.

ČSN 73 0038 doporučuje odebrat alespoň 5 vzorků. Pokud je odebráno méně než 5 vzorků, směrodatná odchylka  $s_G$  by se měla porovnat s předchozími výsledky a pokud nelze použít statistické hodnocení lze uvažovat charakteristickou hodnotu při nepříznivém účinku stálého zatížení nejméně rovnou nejvyšší zjištěné hodnotě (při příznivém účinku stálého zatížení je nejvýše rovna zjištěné hodnotě). [1.8]

Tab. 3: Součinitel  $k_{n,G}$  pro stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení na základě počtu odebraných vzorků [1.8]

Počet vzorků $n$	Součinitel $k_{n,G}$	Počet vzorků $n$	Součinitel $k_{n,G}$
5	0,69	15	0,35
6	0,60	20	0,30
7	0,54	25	0,26
8	0,50	30	0,24
9	0,47	40	0,21
12	0,39	> 50	0,18

Pro mezilehlé hodnoty počtu vzorků se součinitel  $k_{n,G}$  stanoví lineární interpolací. Součinitel  $k_{n,G}$  je určen za předpokladu normálního rozdělení stálého zatížení.

## 5.2 Stanovení materiálových vlastností

Podle ČSN EN 1990 se charakteristické hodnoty materiálové vlastnosti  $X$  stanoví z výsledku  $n$  zkoušek  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Ze získaných výsledků se stanoví jejich průměr, směrodatná odchylka a charakteristická hodnota stálého zatížení  $G$  podle vztahů (7).

$$m_X = \frac{\sum X_i}{n}; \quad s_X^2 = \frac{\sum (X_i - m_X)^2}{n - 1}; \quad V_X = \frac{s_X}{m_X} \quad (7)$$

Kde je

$m_X$ .....průměr materiálové vlastnosti;

$s_X$ .....směrodatná odchylka materiálové vlastnosti;

$n$ .....počet vzorků;

$V_X$ .....variační koeficient materiálové vlastnosti.

Jestliže se předpokládá normální rozdělení materiálové vlastnosti  $X$ , 5 % dolní kvantil charakteristické hodnoty se stanoví ze vztahu (8).

$$X_k = m_X (1 - k_{n,X} V_X) \quad (8)$$

kde  $k_{n,X}$  je součinitel pro stanovení 5 % kvantilu. V Tab. 4 je uveden pro dva případy variačního koeficientu  $V_X$ . Je-li to potřebné, použije se převodní součinitel  $\eta$  (převod krychelné pevnosti betonu na válcovou apod.). [1.8]

Následně se stanoví návrhová hodnota veličiny  $X$  ze vztahu (9):

$$X_d = \eta_d \frac{X_k}{\gamma_m} = \frac{\eta_d}{\gamma_m} m_X (1 - k_{n,X} V_X) \quad (9)$$

Kde je

$\eta_d$ .....je návrhová hodnota převodního součinitele;

$\gamma_m$ .....je dílčí součinitel vlastnosti materiálu.

Tab. 4: Součinitele  $k_{n,X}$  pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty) [1.8]

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

Pro lognormální rozdělení má výraz tvar (10):

$$X_d = \frac{\eta_d}{\gamma_m} \exp(m_x - k_{n,x} S_x) \quad (10)$$

Kde je

$$m_x = \frac{1}{n} \sum \ln X_i$$

Jestliže je  $V_x$  apriorně známý,  $s_x = \sqrt{\ln(V_x^2 + 1)} \approx V_x$

Jestliže je  $V_x$  není apriorně známý,  $s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (\ln X_i - m_x)^2}$

Jestliže předpokládáme lognormálního rozdělení materiálové vlastnosti  $X$  5 % kvantil charakteristické hodnota  $X_k$  stanovíme ze vztahu (11): [1.8]

$$X_k = m_x \exp[-k_{n,x} \sqrt{\ln(V_x^2 + 1) - 0,5 \ln(V_x^2 + 1)}] \quad (11)$$

Variační koeficient  $V_x$  lze považovat za známý, jestliže to ukazují dlouhodobé zkušenosti získané za stejných podmínek. Přestože tabulka (Tab. 4) naznačuje v tomto případě možnost využití jedné zkoušky, doporučuje se provést nejméně 3 až 6 zkoušek.

### 5.2.1 Přímý odhad návrhové hodnoty vlastnosti materiálu pro ověřování mezních stavů

Pro přímý odhad návrhové hodnoty pro ověřování mezních stavů únosnosti se návrhová hodnota  $X_d$  má nalézt prostřednictvím rovnice (12):

$$X_d = \eta_d m_x (1 - k_{d,n} V_x) \quad (12)$$

Pro lognormální rozdělení nabývá výraz tvaru (13):

$$X_d = \eta_d \exp(m_x - k_{d,n} S_x) \quad (13)$$

V této rovnici má  $\eta_d$  zahrnovat všechny nejistoty, které nejsou pokryty zkouškami a  $k_{d,n}$  se získá z Tab. 5. [1.10]

Tab. 5: Hodnoty  $k_{d,n}$  pro návrhové hodnoty v mezních stavech únosní [1.10]

Počet $n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$k_{n,x}$ pro $V_x$ známý	4,36	3,77	3,56	3,44	3,37	3,33	3,27	3,23	3,16	3,13	3,04
$k_{n,x}$ pro $V_x$ neznámý	-	-	-	11,40	7,85	6,36	5,07	4,51	3,64	3,44	3,04

## 6 Ověřování existujících konstrukcí mostů metodou dílčích součinitelů

Při ověřování spolehlivosti existující konstrukce mostu se podle podmínky nerovnosti (14) provede rozbor mezi účinkem zatížení  $E$  a odolností konstrukce  $R$  podle vztahu:

$$E < R \quad (14)$$

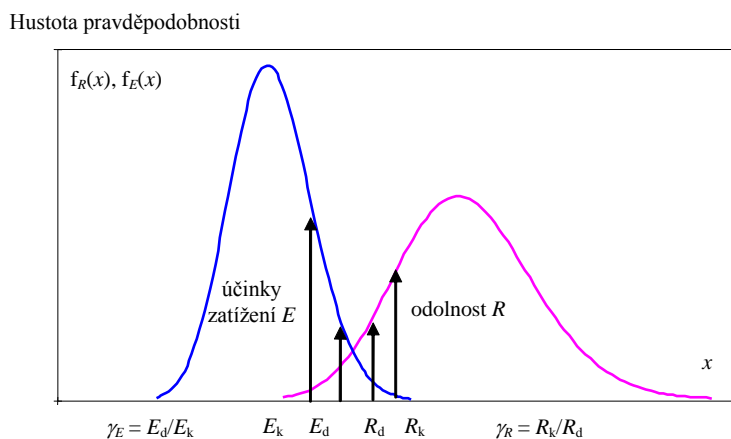
Tato podmínka popisuje bezpečný stav sledované konstrukce za předpokladu existence ostrých (jednoznačně definovaných) rozhraní mezi vyhovujícím (bezpečným) a nevyhovujícím stavem (poruchou) konstrukce popsané rovností (15):

$$R - E = 0 \quad (15)$$

$E$  a  $R$  jsou obvykle náhodné veličiny, a proto platnost podmínky (14) není vždy zaručena. Je nutné připustit, že s určitou malou pravděpodobností může dojít k překročení mezního stavu a nastane porucha. Pravděpodobnost poruchy lze zapsat ve tvaru (16).

$$P_f = P(E < R) \quad (16)$$

Rozdělení pravděpodobností účinku zatížení a odolnosti konstrukce a jejich vzájemnou polohu zobrazuje Obr. 11. Je zde zobrazena také možná poloha charakteristických ( $E_k$ ,  $R_k$ ) a návrhových hodnot ( $E_d$ ,  $R_d$ ) účinků zatížení a odolnosti konstrukce a postup výpočtu dílčích součinitelů. [1.8]



Obr. 11: Znázornění hustot pravděpodobností pro účinky zatížení a odolnost konstrukce uvažované jako náhodné veličiny, návrhových a charakteristických hodnot a dílčích součinitelů [1.8]

## 6.1 Index spolehlivosti

Podle normy ČSN ISO 13822 požadavky na spolehlivost existující konstrukce mohou být přiměřeně vyjádřeny prostřednictvím indexu spolehlivosti  $\beta$  vztahem (17).

$$\beta = -\Phi^{-1}(P_f) \quad (17)$$

Kde je

$\Phi$ .....normovaná normální distribuční funkce;

$P_f$ .....pravděpodobnost poruchy ve specifikované referenční době.

Závislost mezi  $P_f$  a  $\beta$  podle ČSN EN 1990 je uvedena v Tab. 6.

Tab. 6: Vztah mezi  $P_f$  a  $\beta$  [1.9]

$P_f$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$
$\beta$	1,28	2,32	3,09	3,72	4,27	4,75	5,20

Při hodnocení existujících konstrukcí se uvažuje zbytková doba životnosti jako doba referenční, její závislost na charakteru mezního stavu je uvedena v Tab. 7. Rozlišují se zde mezní stavy použitelnosti, únavy a mezní stavy únosnosti, ke kterým se přiřazují různé referenční doby. Pro mezní stavy použitelnosti a únavy se za referenční dobu předpokládá plánovaná zbytková životnost, pro mezní stavy únosnosti minimální doba z hlediska bezpečnosti (50 let). [1.9]

Tab. 7: Směrné úrovně spolehlivosti podle ČSN EN 13822

Mezní stavy	Směrný index spolehlivosti $\beta$	Referenční doba
Použitelnosti		
– vratné	0,0	plánovaná zbytková životnost
– nevratné	1,5	plánovaná zbytková životnost
Únavy		
– kontrolovatelné	2,3	plánovaná zbytková životnost
– nekontrolovatelné	3,1	plánovaná zbytková životnost
Únosnosti		
– velmi malý následek poruchy	2,3	$L_S$ v letech <sup>a)</sup>
– malý následek poruchy	3,1	$L_S$ v letech <sup>a)</sup>
– střední následek poruchy	3,8	$L_S$ v letech <sup>a)</sup>
– vysoký následek poruchy	4,3	$L_S$ v letech <sup>a)</sup>
<sup>a)</sup> $L_S$ je minimální běžná doba z hlediska bezpečnosti (např. 50 let)		

Dle evropského dokumentu pro zásady navrhování nových konstrukcí ČSN EN 1990 jsou hodnoty indexu spolehlivosti  $\beta$  pro různé třídy spolehlivosti a referenční doby 1 rok a 50 let uvedeny v Tab. 8. Tyto hodnoty se také doporučují uvažovat jako výchozí při hodnocení existujících konstrukcí. [1.9]

Tab. 8: Směrné hodnoty indexu spolehlivosti  $\beta$  podle ČSN EN 1990 (2002)

Třídy spolehlivosti	Následky poruchy konstrukce	Index spolehlivosti $\beta$ pro referenční dobu		Příklady budov a inženýrských konstrukcí
		1 rok	50 let	
RC3 – vysoká	Vysoké	5,2	4,3	Mosty, veřejné budovy
RC2 – normální	Střední	4,7	3,8	Obydlí a kanceláře
RC1 – nízká	Nízké	4,2	3,3	Zemědělské budovy

Pokud jsou hlavní nejistoty ovlivňující spolehlivost konstrukce závislé na proměnném zatížení, jejichž roční maxima jsou statisticky nezávislá, mohou být hodnoty  $\beta$  pro různé referenční doby vypočteny z výrazu (18):

$$\Phi(\beta_n) = [\Phi(\beta_1)]^n \quad (18)$$

Kde je

$\beta_n$ .....index spolehlivosti pro referenční dobu  $n$  let;

$\beta_1$ .....index spolehlivosti pro referenční dobu 1 roku.

## 6.2 Dílčí součinitelé pro materiálové vlastnosti

Návrhová hodnota odolnosti se určí podle ČSN EN 1990 vztahem (19):

$$R_d = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\{X_d; a_d\} = \frac{1}{\gamma_{Rd}} R\left\{\eta_i \frac{X_{k,i}}{\gamma_{m,i}}; a_d\right\} \quad i \geq 1 \quad (19)$$

Kde je

$\gamma_{Rd}$ .....součinitel zahrnující nejistoty modelu odolnosti včetně geometrických odchylek;

$X_{d,i}$ .....návrhová hodnota vlastnosti materiálu  $i$ .

Charakteristická hodnota  $X_k$  pevnosti materiálu je definovaná jako dolní 5 % kvantil ( $u_p = -1,645$ ) z příslušného pravděpodobnostního rozdělení, obvykle se volí dvouparametrické lognormální rozdělení s počátkem v nule. [1.8]

Charakteristická hodnota pevnosti materiálu lze zapsat vztahem (20):

$$X_k = \mu_x \exp(u_p V_X) \quad (20)$$

Kde je

$\mu_x$ .....průměr pevnosti nebo jiné vlastnosti materiálu;

$u_p$ ..... $p$  kvantil normalizované náhodné veličiny se stejným rozdělením jako má veličina  $X$ ;

$V_X$ .....variační koeficient pevnosti materiálu.

Návrhová hodnota  $X_d$  pevnosti materiálu se stanoví podle vztahu (21):

$$X_d = \mu_x \exp(-\alpha_R \beta V_X) \quad (21)$$

Kde je

$\alpha_R$ .....součinitel citlivosti ( $\alpha_R = 0,8$ );

$\beta$ .....požadovaná (směrná) hodnota indexu spolehlivosti.

Dílčí součinitel pro pevnost materiálu  $\gamma_X$  lze vyjádřit poměrem charakteristické  $X_k$  a návrhové  $X_d$  pevnosti (22):

$$\gamma_X = \frac{X_k}{X_d} = \frac{\exp(-1,645 V_X)}{\exp(-\alpha_R \beta V_X)} \quad (22)$$

Pro stanovení numerické hodnoty tohoto dílčího součinitele se určí variační koeficient skutečné pevnosti materiálu (odolnosti) existující konstrukce.

Pro některé případy je potřeba uvažovat spolu s variačním koeficientem pevnosti materiálu (odolnosti konstrukce)  $V_X$  i s variační koeficient geometrických vlastností  $V_{geo}$  a modelových nejistot  $V_\xi$ .

Variační koeficient celkové odolnosti  $V_R$  se poté stanoví na základě dílčích variačních koeficientů jednotlivých veličin. Pro stanovení odolnosti na základě lineárního vztahu mezi základními veličinami pro materiálové a geometrické vlastnosti a modelové nejistoty se variační koeficient odolnosti stanoví z rovnice (23): [1.8]



$$V_R = \sqrt{V_x^2 + V_{geo}^2 + V_\xi^2} \quad (23)$$

Kde je

$V_x$ ..... variační koeficient pevnosti materiálu;

$V_{geo}$ ..... variační koeficient geometrických vlastností;

$V_\xi$ ..... variační koeficient modelových nejistot.

Norma ČSN EN 73 0038 umožňuje stanovit dílčí součinitele pro beton a betonářskou výztuž pomocí tabulky (Tab. 9) s informativními hodnoty variačních koeficientů. Dílčí součinitelé se poté stanoví podle vztahů (24)(25). [1.8]

$$\gamma_c = \frac{\exp(-1,645 V_{Xc})}{\exp(-\alpha_R \beta V_{Rc})} \quad (24)$$

$$\gamma_s = \frac{\exp(-1,645 V_{Xy})}{\exp(-\alpha_R \beta V_{Ry})} \quad (25)$$

Kde je

$\gamma_c$ ..... dílčí součinitel betonu;

$\gamma_s$ ..... dílčí součinitel betonářské výztuže;

$V_{Xc}$ ..... variační koeficient pevnosti betonu;

$V_{Xy}$ ..... variační koeficient pevnosti betonářské výztuže;

$V_{Rc}$ ..... variační koeficient celkové odolnosti betonu;

$V_{Ry}$ ..... variační koeficient celkové odolnosti betonářské výztuže.

Tab. 9: Informativní hodnoty variačních koeficientů pro beton a betonářskou výztuž [1.8]

Materiál	$V_x$	$V_{geo}$	$V_\xi$	$V_R$
Beton	0,15	0,05	0,05	0,166
Betonářská výztuž	0,05	0,05	0,05	0,087

Pokud nejsou dostatečné znalosti o charakteristických materiálových vlastnostech, doporučuje se uvažovat hodnotu dílčího součinitele pro pevnost betonu  $\gamma_c$  alespoň 1,4 a pro mez kluzu  $\gamma_s$  výztuže alespoň 1,1. [1.8]

## 6.3 Dílčí součinitelé pro zatížení

### 6.3.1 Dílčí součinitelé pro stálá zatížení

Charakteristická hodnota stálého zatížení  $G_k$  se uvažuje jako průměrná hodnota, která se stanoví z nominálních rozměrů a průměrných hodnot objemových tíh. Platí vztah  $G_k = \mu_G$ . Za předpokladu normálního rozdělení se návrhová hodnota stálého zatížení stanoví jako (26):

$$G_d = \mu_G - \alpha_G \beta \sigma_G = \mu_G + 0,7 \beta \sigma_G = \mu_G (1 + 0,7 \beta V_G) \quad (26)$$

Kde je

$\mu_G$ .....průměr stálého zatížení;

$\sigma_G$ .....směrodatná odchylka stálého zatížení;

$V_G$ .....variační koeficient stálého zatížení;

$\alpha_G$ .....součinitel citlivosti pro stálé zatížení.

Pro stálá zatížení uvažované jako hlavní zatížení je součinitel citlivosti  $\alpha_G = -0,7$ . Pro vedlejší zatížení je součinitel citlivosti  $\alpha_G = -0,28$ . Dílčí součinitel stálého zatížení se určí poměrem návrhové a charakteristické hodnoty (27).

$$\gamma_G = \frac{G_d}{G_k} = \frac{\mu_G (1 - \alpha_G \beta V_G)}{\mu_G} = 1 - \alpha_G \beta V_G \quad (27)$$

Na základě výsledků zkoušek, lze variační koeficient stálého zatížení  $V_G$  stanovit z podrobné prohlídky existujícího mostu s uvážením modelových nejistot. Obvykle lze variační koeficient vlastní tíhy konstrukce (beton, ocel) odhadnout hodnotou  $V_G = 0,05$ .

V Eurokódech se dále doporučuje uvažovat pro existující mosty s nedostatkem údajů o materiálových vlastnostech součinitel modelových nejistot  $\gamma_{sd} = 1,05$ . [1.8]

### 6.3.2 Dílčí součinitelé pro zatížení dopravou

Obecně lze dílčí součinitel pro proměnná zatížení odvodit z dostupných dat a s použitím vhodných modelů. U proměnného zatížení dopravou lze postupovat obvyklým způsobem stanovením modelu zatížení uvedeného v ČSN EN 1991-2 s doporučenými hodnotami dílčích součinitelů. Jestliže jsou k dispozici data o intenzitě

a skladbě dopravy konkrétního mostu, aktualizuje se zatížení dopravou pomocí regulačních součinitelů.

Další metodou pro stanovení zatížení dopravou pro konkrétní existující most je stanovení zatížení na základě statistického vyhodnocení (nápravových tlaků, složení dopravy a její intenzity) a vytvoření vlastních modelů a určení jejich charakteristické a návrhové hodnoty.

Podle normy ČSN EN 1990 se doporučuje hodnota dílčího součinitele pro dopravu  $\gamma_Q = 1,35$ . [1.8]

## 7 Praktická část – Stanovení zatížitelnosti mostního oblouku

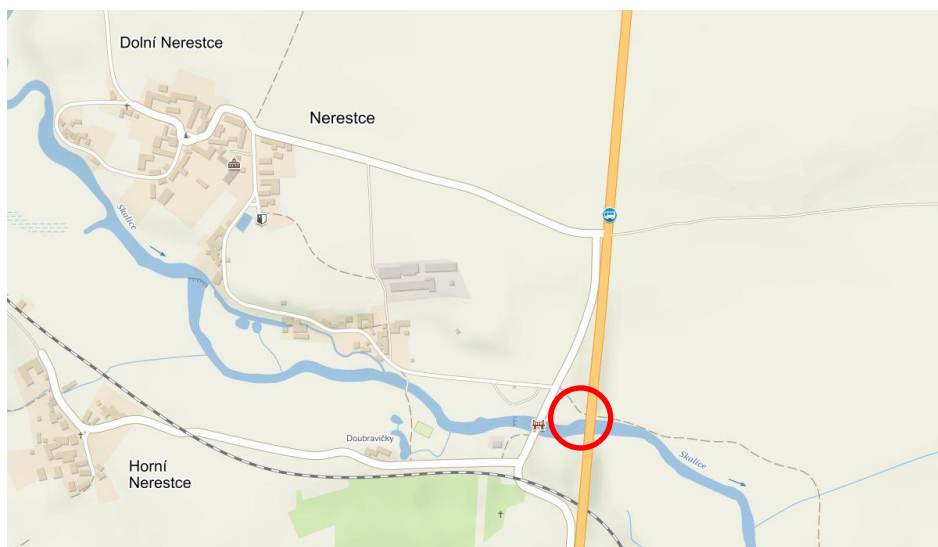
### 7.1 Zadání

Cílem této praktické části je stanovit zatížitelnost mostního oblouku mostu I/4 Nerestce, ev. č. 4-031(Obr. 12) nacházejícího se v katastrálním území Dolní Nerestce a Krsice.



Obr. 12: Pohled na most [2.11]

Mostní objekt je z roku 1955 a převádí dvoupruhovou směrově nerozdělenou silnici I/4 přes vodoteč Skalici mezi obcemi Čimelice a Zalužany. Most je umístěn v extravilánu (Obr. 13). [1.16]



Obr. 13: Mapa okolí mostu [2.10]

## 7.2 Charakteristika mostu

Most je rozdělen na tři dilatační celky. Krajní celky tvoří rámy o dvou polích a střední část železobetonový plnostěnný deskový oblouk podepírající mostovku rámovými stojkami. Mostovka staticky působí z obou stran oblouku jako spojitý rám o třech polích a ve vrcholu oblouku je spojena vrubovým kloubem. Oblouk je vetknutý do masivních základových bloků. Protože původní dokumentace se nedochovala, rozměry mostu byly stanoveny geodetickým zaměřením a porovnány s náčrtem v mostním listě z databáze BMS. [1.16]

### 1. Charakteristika mostu:

- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| – počtu mostních otvorů:        | o 11 otvorech                   |
| – počtu mostovkových podlaží:   | jednopodlažní                   |
| – výškové polohy mostovky:      | horní                           |
| – měnitelnosti základní polohy: | nepohyblivý                     |
| – plánované doby trvání:        | trvalý                          |
| – průběhu trasy na mostě:       | v přímé                         |
| – situativního uspořádání:      | kolmý                           |
| – hmotné podstaty:              | masivní                         |
| – členitosti nosné konstrukce:  | plnostěnný                      |
| – výchozí charakteristiky:      | obloukový, s deskovou mostovkou |
| – konstr. uspoř. příč. řezu:    | otevřeně uspořádaný most        |
| – omezení volné výšky:          | bez omezení                     |

2. Rozpětí 49,5 m

3. Délka přemostění (světlost): 73,8 m

4. Délka mostu: 80,17 m

5. Šířka mezi zvýšenými obrubami: 10 m

6. Šikmost mostu: 100 gr

7. Šířka mezi zábradlím: 12,0 m

8. Celková šířka mostu: 12,6 m

9. Stavební výška: 0,66 m

### 10. Popis konstrukce mostu:

- založení – plošné
- opěry – železobetonové monolitické
- křídla – rovnoběžná železobetonová

- schody – nejsou
- skluzy, žlaby – u obou opěr
- zpevnění svahů – není
- nosná konstrukce - železobetonová monolitická
- úprava povrchů – beton
- revizní zařízení – není navrženo

#### 11. Vybavení mostu:

- římsy – železobetonové s masivním železobetonovým zábradlím
- izolace – natavované izolační pásy na vrstvě spádového betonu
- odvodnění – pomocí odvodňovačů
- mostní závěry – podpovrchové
- ložiska – asfaltová lepenka
- zábradlí – zmonolitněno s římsou
- vozovka – živičná do zvýšených obrub
- obrubníky – žulové bloky
- chodníky – neznámé konstrukce s pochozí asfaltovou vrstvou

#### 12. Zvláštní vybavení

- inženýrské sítě – nejsou
- stálé zařízení – není známo
- ochranná zařízení – není [1.16]

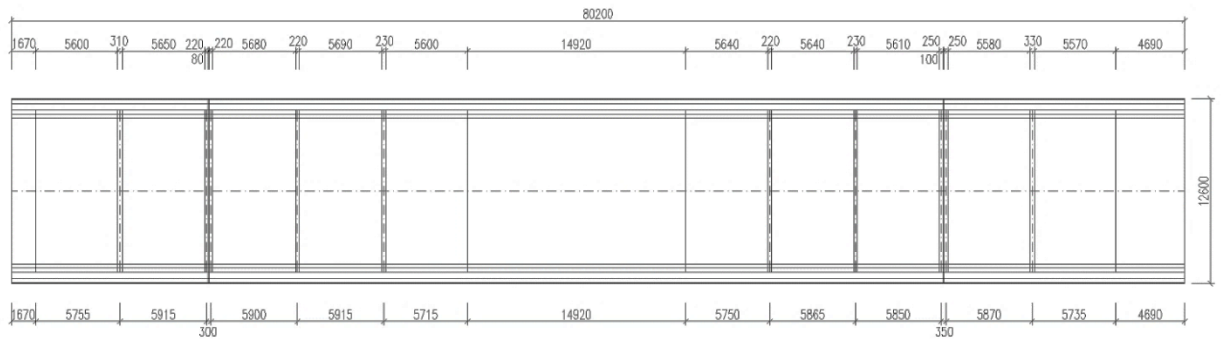
### 7.3 Schéma mostu

PŮDORYS: 1:500

MĚŘÍTKO 0 5 [m]

PRAHA

STRAKONICE

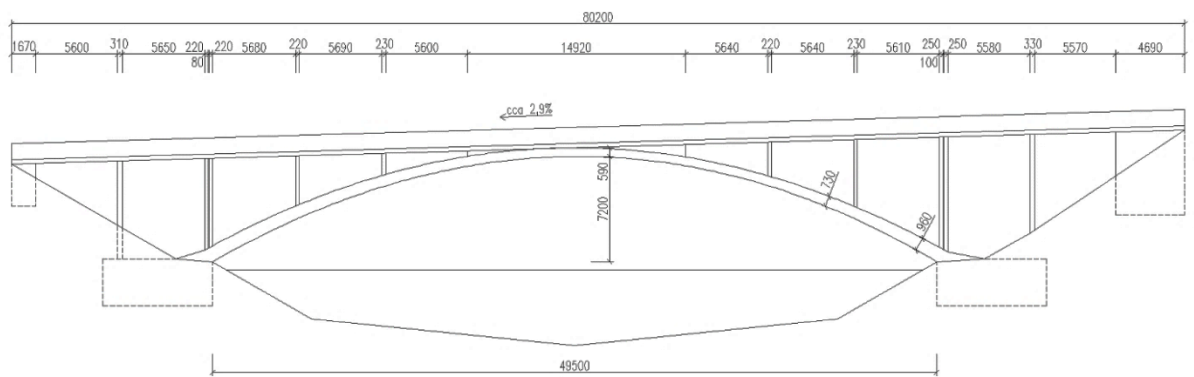


POHLED: 1:500

MĚŘÍTKO 0 5 [m]

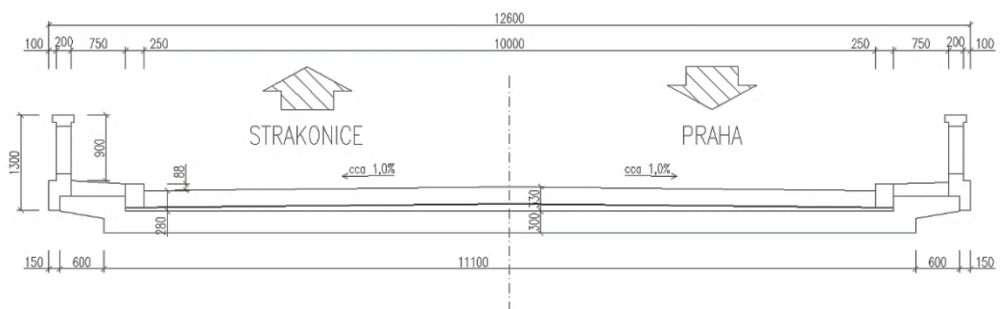
PRAHA

STRAKONICE



PŘÍČNÝ ŘEZ: 1:50

MĚŘÍTKO 0 1 [m]



Obr. 14: Schéma půdorysu, pohledu a příčného řezu

## 7.4 Diagnostický průzkum

Z provedeného diagnostického průzkumu byly získány destruktivní metodou hodnoty pevnosti v tlaku na odebraných zkušebních tělesech. Výsledky jsou zobrazeny v Tab. 10. Vývrty byly provedeny do nosné konstrukce oblouku. Z hlediska kvality betonu vyhlížely odvrtané vzorky jako kompaktní s rovnoměrným rozložením kameniva (viz Obr. 7). [1.15]

Tab. 10 Naměřené pevnosti betonu v tlaku [1.15]

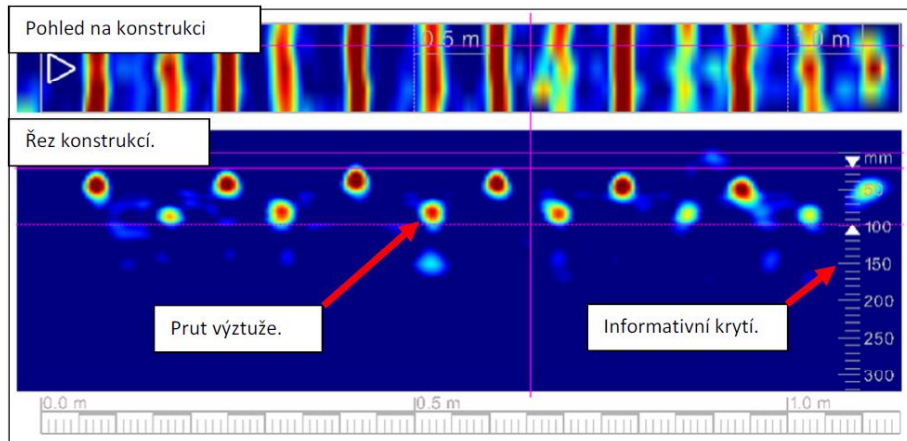
Typ konstrukce	Rozměr [mm] výška	Hmotnost [kg]	Obj. hmotnost [kg.m <sup>-3</sup> ]	Síla [kN]	Pevnost v tlaku [MPa]
Oblouk	220	1,797	2360	483	52,87
Oblouk	270	1,807	2320	522	57,21
Oblouk	280	1,826	2390	588	64,52
Oblouk	122,5	1,231	2338	142	55,475
Oblouk	116,0	1,210	2427	167	64,575
Oblouk	111,5	1,138	2374	135	52,15

Radarem HILTI PS 1000Z byla zjištěna výztuž při horním a dolním líci oblouku (Obr. 15 - Obr. 20). V Tab. 11 je seznam použité výztuže pro výpočet zatížitelnosti. [1.15]

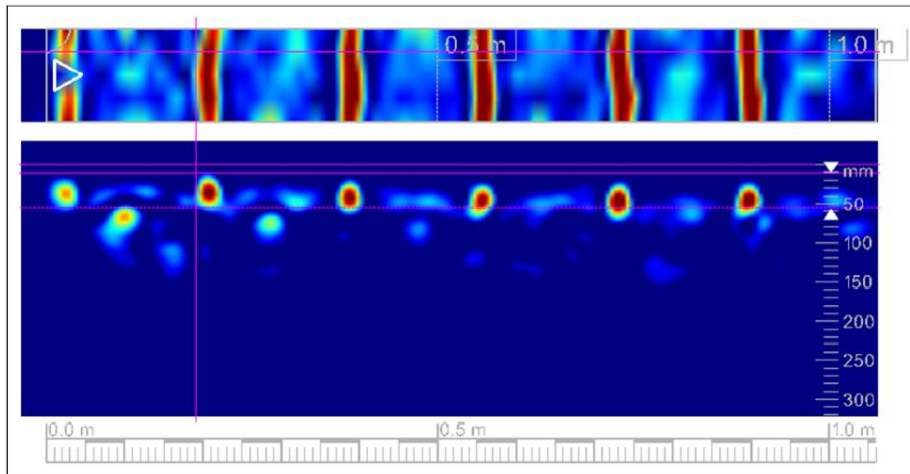
Tab. 11: Výztuž změřená při horním a dolním líci oblouku použitá ve výpočtu [1.15]

Průřez	Rozměry h/d [mm]	Horní výztuž [1bm]	Krytí C <sub>h</sub> [mm]	Plocha A <sub>s,h</sub> [mm <sup>2</sup> ]	Dolní výztuž [1bm]	Krytí c <sub>d</sub> [mm]	Plocha A <sub>s,d</sub> [mm <sup>2</sup> ]
O1, O13	925x11100	12Ø24	100-130	5428,67	12Ø24	50-90	5428,67
O2, O12	880x11100	6Ø16	60-90	1206,37	12Ø24	50-90	5428,67
O3, O11	825x11100	6Ø16	70-90	1206,37	6Ø20	20-50	1884,96
O4, O10	775x11100	6Ø16	70-90	1206,37	6Ø20	20-50	1884,96
O5, O9	725x11100	6Ø16	70-90	1206,37	6Ø20	20-50	1884,96
O6, O8	680x11100	6Ø16	70-90	1206,37	6Ø20	20-50	1884,96
O7	625x11100	6Ø16	40	1206,37	6Ø20	40	1884,96

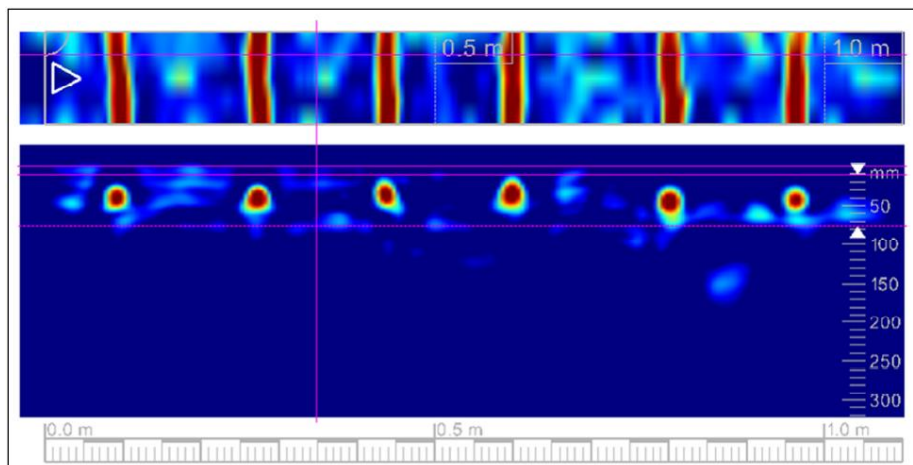




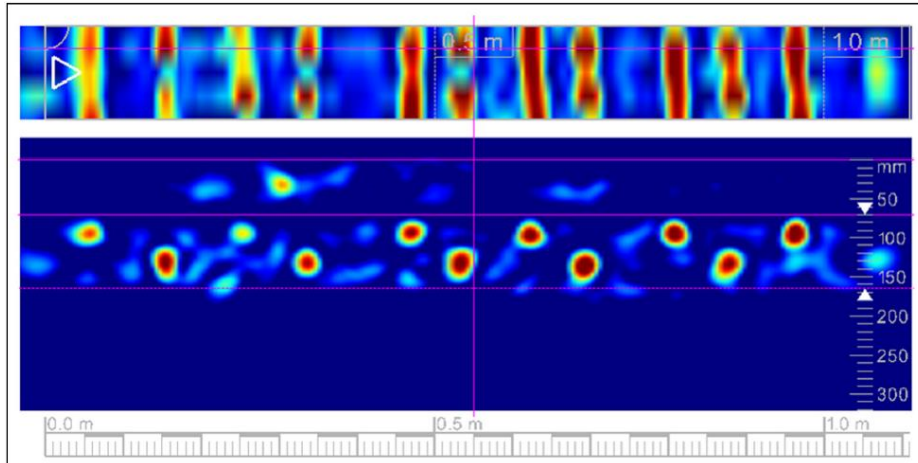
Obr. 15: Hlavní podélná výztuž u spodního líce oblouku (O1, O2, O12, O13) [1.15]



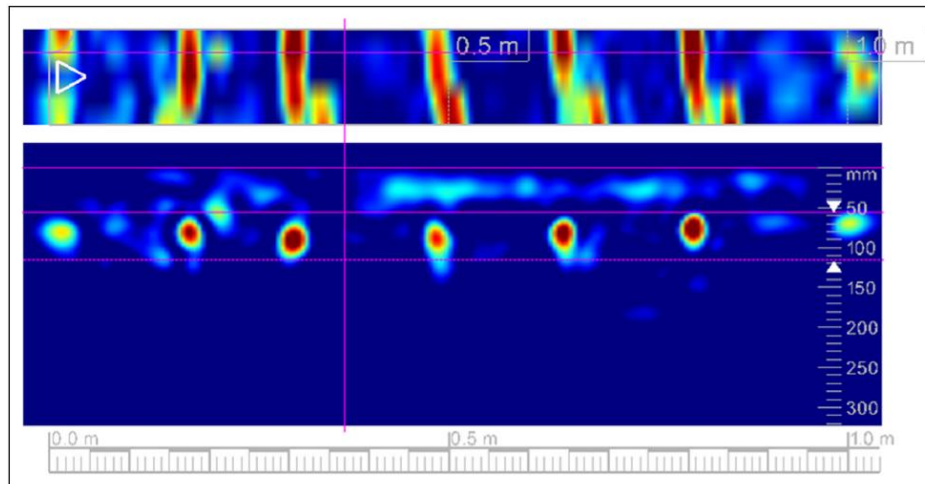
Obr. 16: Hlavní podélná výztuž u spodního líce oblouku (O3-O6, O8-O11) [1.15]



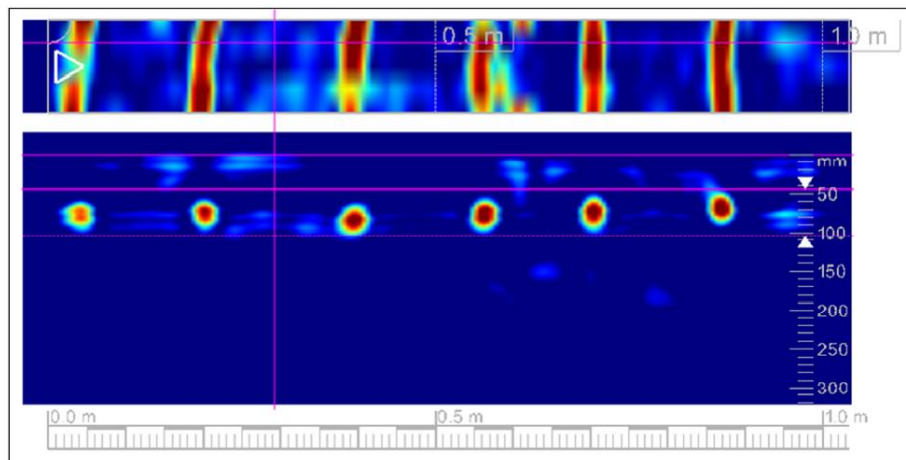
Obr. 17: Hlavní podélná výztuž u spodního líce oblouku (O7) [1.15]



Obr. 18: Hlavní podélná výztuž u horního líce oblouku (O1, O13) [1.15]



Obr. 19: Hlavní podélná výztuž u horního líce oblouku (O2, O12) [1.15]



Obr. 20: Hlavní podélná výztuž u horního líce oblouku (O3-O6, O8-O11) [1.15]

## 7.5 Aktualizace dílčích součinitelů

### 7.5.1 Beton

#### a) Materiálové charakteristiky betonu stanoveny podle ČSN ISO 13822

Aktualizovaný součinitel  $\gamma_c$  lze stanovit ze vztahu (23) a (24) s využitím upřesněného variačního součinitele  $V_{Rc}$  podle Tab. 9. Variační součinitel  $V_{geo}$  se uvažuje vzhledem k měřeným rozměrům oblouku roven 0.

$$V_{Rc} = \sqrt{V_{fc}^2 + V_{geo}^2 + V_{\xi}^2} = \sqrt{0,15^2 + 0 + 0,05^2} = \mathbf{0,158}$$

$$\gamma_c = \frac{f_{ck}}{f_{cd}} = \frac{\exp(-1,645 V_c)}{\exp(-\alpha_R \beta V_{Rc})} = \frac{\exp(-1,645 \cdot 0,15)}{\exp(-0,8 \cdot 3,8 \cdot 0,158)} = \mathbf{1,26}$$

#### b) Materiálové charakteristiky betonu získány přímým měřením

Z naměřených hodnot pevností se statistickými metodami stanovila průměrná hodnota, směrodatná odchylka a variační součinitel podle vztahu (7) a získali se tyto hodnoty (hodnota  $k_{n,X}$  se stanovila pro  $V_X$  neznámý a variační součinitel  $V_{geo}$  se uvažoval roven 0):

$$f_{ci} = \{52,87; 57,21; 64,52; 55,48; 64,58; 52,15\} \text{ (v MPa);}$$

Průměrná hodnota  $\mu_{fc} = \mathbf{57,80 \text{ MPa}}$

Směrodatná odchylka  $\sigma_{fc} = \mathbf{5,53 \text{ MPa}}$

Variační součinitel  $V_{fc} = \mathbf{0,10}$

Charakteristická hodnota  $f_{ck} = \exp(m_c - k_n s_c) = \mathbf{46,87 \text{ MPa}}$

kde  $m_c = \Sigma(\ln f_{ci}) / n = \mathbf{4,05 \text{ MPa}}$

$n = 6$   $k_n = 2,18$

$s_c = (\Sigma[(\ln f_{ci} - m_c)^2] / (n - 1))^{0,5} = \mathbf{0,09 \text{ MPa}}$

Aktualizovaný součinitel  $\gamma_c$  se stanovil ze vztahu (23) a (24) s využitím upřesněného variačního součinitele  $V_{fc}$ .

$$V_{Rc} = \sqrt{V_{fc}^2 + V_{geo}^2 + V_{\xi}^2} = \sqrt{0,1^2 + 0^2 + 0,05^2} = \mathbf{0,11}$$

$$\gamma_c = \frac{f_{ck}}{f_{cd}} = \frac{f_{ck}}{\mu_{fc} \cdot \exp(-\alpha_R \beta V_{Rc})} = \frac{46,87}{57,80 \cdot \exp(-0,8 \cdot 3,8 \cdot 0,11)} = \mathbf{1,13}$$

## 7.5.2 Betonářská ocel

### a) Materiálové charakteristiky výztuže stanoveny podle ČSN ISO 13822

Pro daný obloukový železobetonový most je znám rok výstavby (1955), poloha a průměr nosné výztuže včetně jejího množství. Typ výztuže byl diagnostickým průzkumem stanoven jako ROXOR s mezí kluzu 380 MPa.

Aktualizovaný součinitel  $\gamma_s$  se stanovil ze vztahu (23) a (24) s využitím upřesněného variačního součinitele  $V_{Ry}$  podle Tab. 9. Variační součinitel  $V_{geo}$  se vzhledem k naměřeným polohám výztuže předpokládá roven 0.

$$V_{Ry} = \sqrt{V_{fy}^2 + V_{geo}^2 + V_{\xi}^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,01^2 + 0,05^2} = \mathbf{0,071}$$
$$\gamma_s = \frac{f_{yk}}{f_{yd}} = \frac{\exp(-1,645 V_{fy})}{\exp(-\alpha_R \beta V_{Ry})} = \frac{\exp(-1,645 \cdot 0,05)}{\exp(-0,8 \cdot 3,8 \cdot 0,071)} = \mathbf{1,14}$$

### b) Materiálové charakteristiky výztuže získány přímým měřením

Na mostním oblouku bylo změřeno krytí výztuže pomocí radaru a z naměřených hodnot krytí výztuže se statistickými metodami stanovila průměrná hodnota, směrodatná odchylka a variační součinitel podle vztahu (7) a získali se tyto hodnoty (hodnota  $k_{n,X}$  se stanovila pro  $V_X$  neznámý a variační součinitel  $V_{geo}$  se opět uvažoval roven 0):

$$C_{yi} = \{100; 130; 90; 40; 70; 100\} \text{ (v mm);}$$

Průměrná hodnota  $\mu_{cy} = \mathbf{88,33 \text{ mm}}$

Směrodatná odchylka  $\sigma_{cy} = \mathbf{30,61 \text{ mm}}$

Variační součinitel  $V_{cy} = \mathbf{0,35}$

Charakteristická hodnota  $c_{yk} = \exp(m_{cy} - k_n s_y) = \mathbf{33,99 \text{ mm}}$

kde  $m_{cy} = \Sigma(\ln c_{yi}) / n = \mathbf{4,42 \text{ mm}}$

$n = 6$   $k_n = 2,18$

$s_y = (\Sigma[(\ln c_{yi} - m_{cy})^2] / (n - 1))^{0,5} = \mathbf{0,41 \text{ mm}}$

Aktualizovaný součinitel  $\gamma_s$  se stanovil ze vztahu (23) a (24) s využitím upřesněného variačního součinitele  $V_{cy}$ .

$$V_{Ry} = \sqrt{V_{cy}^2 + V_{geo}^2 + V_{\xi}^2} = \sqrt{0,35^2 + 0^2 + 0,05^2} = \mathbf{0,35}$$

$$\gamma_s = \frac{c_{yk}}{c_{yd}} = \frac{c_{yk}}{\mu_{cy} \cdot \exp(-\alpha_R \beta V_{Ry})} = \frac{33,99}{88,33 \cdot \exp(-0,8 \cdot 3,8 \cdot 0,35)} = \mathbf{1,12}$$

### 7.5.3 Stálé zatížení

#### a) Známa geometrie konstrukce, objemová tíha stanovena podle ČSN EN 1991-1-1

Geometrie konstrukce byla změřena a rozměry se uvážili průměrnými hodnotami. Objemová hmotnost se stanovila tabulkovou hodnotou ( $g = 25 \text{ kN/m}^3$ ). Variační koeficient pro výpočet součinitele zatížení vlastní tíhy se uvážil z Tab. 9. Základní součinitele zatížení se stanovil ze vztahu (27).

Dominantní zatížení	$\gamma_{G,a} = 1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot V_G = 1 - (-0,7) \cdot 3,8 \cdot 0,05 = \mathbf{1,13}$
Vedlejší zatížení	$\gamma_{G,b} = 1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot V_G = 1 - (-0,28) \cdot 3,8 \cdot 0,05 = \mathbf{1,05}$
Při uvážení součinitele modelových nejistot $\gamma_{sd}$ :	
Dominantní zatížení	$\gamma_{G,a} = 1,13 \cdot 1,05 = \mathbf{1,19}$
Vedlejší zatížení	$\gamma_{G,b} = 1,05 \cdot 1,05 = \mathbf{1,10}$

#### b) Známa geometrie konstrukce, objemová tíha stanovena zkouškami

Za předpokladu normálního rozdělení byla objemová hmotnost stanovena statistickým vyhodnocením podle vztahu (7) s těmito výsledky:

Průměrná hodnota	$\mu_G = \mathbf{23,56 \text{ kN/m}^3}$
Směrodatná odchylka	$\sigma_G = \mathbf{0,81 \text{ kN/m}^3}$
Variační koeficient	$V_G = \sigma_G / \mu_G = 0,81 / 23,56 = \mathbf{0,03}$
Základní součinitele zatížení pro vlastní tíhu jsou:	
Dominantní zatížení	$\gamma_{G,a} = 1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot V_G = 1 - (-0,7) \cdot 3,8 \cdot 0,03 = \mathbf{1,09}$
Vedlejší zatížení	$\gamma_{G,b} = 1 - \alpha_E \cdot \beta \cdot V_G = 1 - (-0,28) \cdot 3,8 \cdot 0,03 = \mathbf{0,99}$
Při uvážení součinitele modelových nejistot $\gamma_{sd}$ :	
Dominantní zatížení	$\gamma_{G,a} = 1,09 \cdot 1,05 = \mathbf{1,15}$
Vedlejší zatížení	$\gamma_{G,b} = 0,99 \cdot 1,05 = \mathbf{1,04}$

### 7.5.4 Zatížení dopravou

Dílčí součinitel zatížení dopravou byl stanoven podle doporučení ČSN EN 1990, kde  $\gamma_Q = 1,35$ .

### 7.5.5 Přehled aktualizovaných hodnot dílčích součinitelů

V Tab. 12 jsou zobrazeny aktualizované dílčí součinitelé použité ve výpočtu zatížitelnosti.

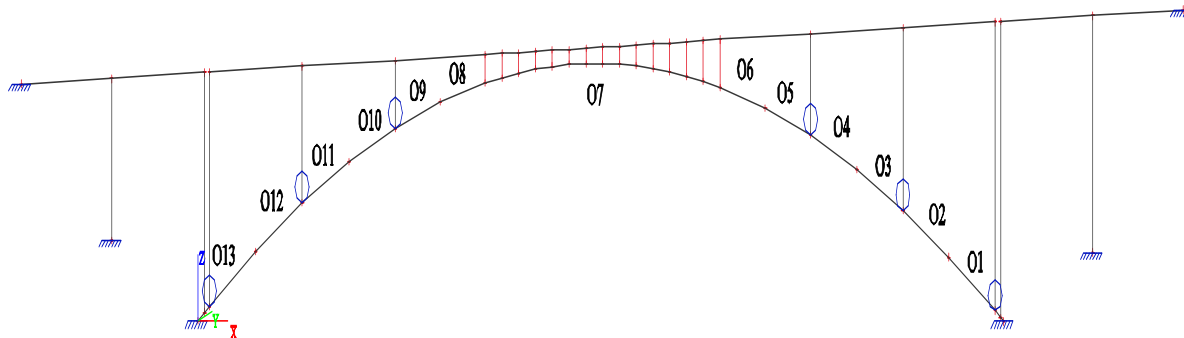
Tab. 12: Dílčí součinitelé pro jednotlivé parametry odolnosti a zatížení

Charakteristika vstupních dat	Zatížení		Odolnost	
	Stálé $\gamma_G$	Užitné $\gamma_Q$	Beton $\gamma_c$	Výztuž $\gamma_s$
Odolnost i zatížení podle ČSN EN pro navrhování, geometrie podle projektu	1,35	1,35	1,5	1,15
Upřesnění podle zbytkové životnosti a měření geometrie	<b>1,19</b>	<b>1,35</b>	<b>1,26</b>	<b>1,14</b>
Experimentální zkoušky	<b>1,15</b>	<b>1,35</b>	<b>1,13</b>	<b>1,12</b>

## 7.6 Výpočtový model

### 7.6.1 Popis modelu a statického působení

Pro výpočet byl vytvořen prutový model nosné konstrukce mostu (Obr. 21). Nosná konstrukce je rozdělena na tři dilatační celky. Krajní celky tvoří rámy o dvou polích. Ve střední části je mostovka podepřena železobetonovým plnostěnným deskovým obloukem a rámovými stojkami. Aby se modelovala proměnlivost tloušťky desky oblouku, je oblouk rozdělen na 7 průřezů o různé tloušťce. Mostovka staticky působí z obou stran oblouku jako spojitý rám o třech polích a ve vrcholu oblouku je spojena vrubovým kloubem. Oblouk je vetknutý do masivních základových bloků. V modelu bylo počítáno se zatížením stálým (vlastní tíha nosné konstrukce), nahodilým dlouhodobým (vlastní tíha vozovky, říms a chodníků). Zatížením nahodilým od dopravy s uvažováním modelů pro výpočet zatížitelnosti dle ČSN EN 73 6222. Vnitřní síly použité při výpočtu zatížitelnosti se uvažovaly pouze mostního oblouku a byly zjišťovány na prostorovém modelu pomocí programu SICA ENGINEER 18.1.57 (studentská verze).



Obr. 21: Schéma výpočetního modelu

## 7.6.2 Materiálové charakteristiky

Dle diagnostického průzkumu byla stanovena třída betonu a určen typ výztuže s charakteristickou mezí kluzu.

Třída betonu ..... C 50/60;

Výztuž ..... ROXOR s mezí kluzu  $f_y = 380$  MPa.

## 7.6.3 Zatížení konstrukce

### 7.6.3.1 Stálé zatížení

#### ZS11 Vlastní tíha

Vlastní tíha ŽB prvků byla vygenerována přímo výpočetním programem SCIA ENGINEER 18 na základě zadané průřezové plochy a měrné hmotnosti betonu.

Měrná hmotnost betonu byla uvažována hodnotou **2500 kg/m<sup>3</sup>**.

**Součinitelé zatížení:** příznivý účinek  $\gamma_{G.inf} = 1,00$ ; nepříznivý účinek  $\gamma_{G.sup} = 1,35$ ;

**Redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení:**  $\xi = 0,85$ .

#### ZS12 Ostatní stálé

##### Chodník

charakteristické zatížení

Železobetonová římsa

$$2 \cdot 25 \cdot 0,123 = 6,2 \text{ [kN/m]}$$

Železobetonové zábradlí

$$2 \cdot 25 \cdot (0,035 + 0,5 \cdot 0,12) = 4,8 \text{ [kN/m]}$$

Chodníkové souvrství

$$2 \cdot 23 \cdot 0,22 \cdot 0,75 = 7,6 \text{ [kN/m]}$$

Žulový obrubník

$$2 \cdot 26 \cdot (0,25 \cdot 0,32) = 4,2 \text{ [kN/m]}$$

Σ Celkem

$$\dots\dots\dots 22,8 \text{ [kN/m]}$$

## Vozovka

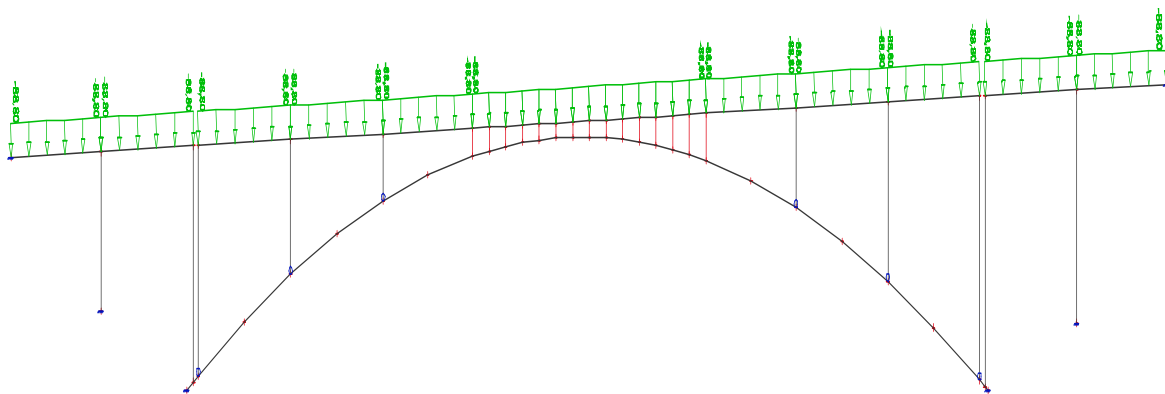
Tloušťka vozovky a spádového betonu byla zjištěna z diagnostického průzkumu, šířka vozovky mezi zvýšenými obrubami je rovna 10 m:

Průměrná tl. vozovky = 0,30 m .....  $22 \cdot 0,30 \cdot 10 = 66,0$  [kN/m]

**Součinitelé zatížení:** příznivý účinek  $\gamma_{G.inf} = 1,00$ ; nepříznivý účinek  $\gamma_{G.sup} = 1,35$ ;

**Redukční součinitel pro nepříznivá zatížení:**  $\xi = 0,85$ .

Celková hodnota ostatního stálého zatížení působící na most je 88,8 kN/m (Obr. 22).



Obr. 22: Schéma zatížení ZS12 – chodník + vozovka (88,8 kN/m)



### 7.6.3.2 Nahodilé zatížení – Zatížitelnosti dle ČSN 73 6222

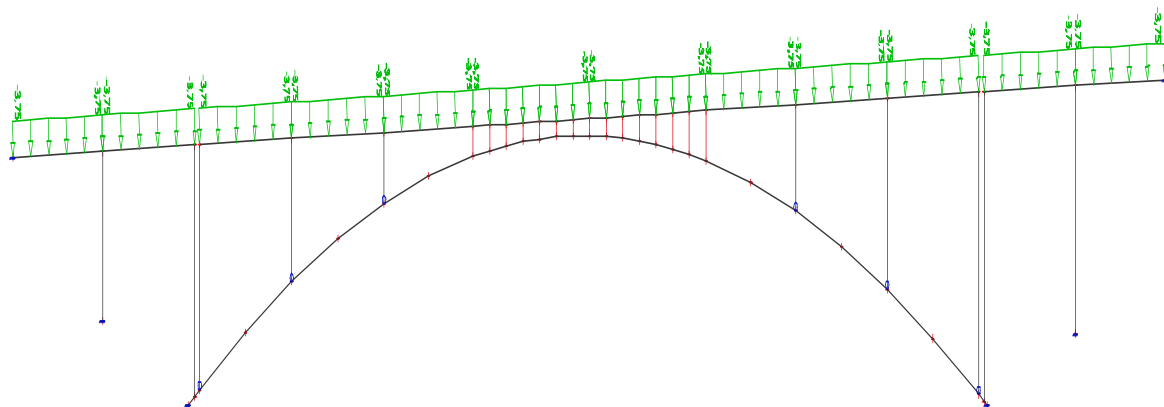
#### ZS21 Rovnoměrné zatížení chodníku

Rovnoměrné zatížení chodníku bylo uvažováno dle ČSN 73 6222 hodnotou 2,5 kN/m<sup>2</sup>. Šířka chodníku je 0,75 m. Na mostě jsou 2 chodníky, proto je zatížení v podélném směru modelováno jako liniové zatížení o velikosti 3,75 kN/m (Obr. 23).

**Součinitelé zatížení:** příznivý účinek  $\gamma_{G.inf} = 1,00$ ; nepříznivý účinek  $\gamma_{G.sup} = 1,35$ ;

**Kombinační součinitel:**  $\psi_{0,1} = 0,75$ ;

**Dynamický součinitel:**  $\delta = 1,00$ .



Obr. 23: Schéma rovnoměrného zatížení chodníků (3,75 kN/m)

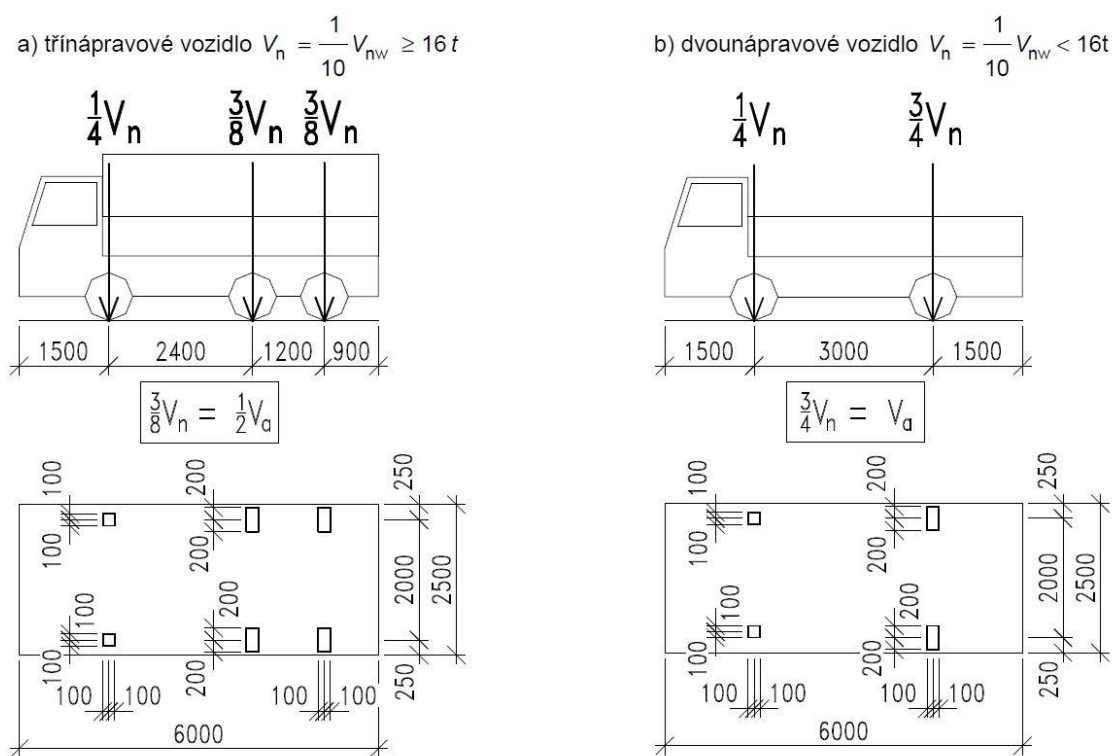
### 7.6.3.3 Schémata zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti

Normální zatížitelnost byla stanovena dle odstavce 7.1 normy ČSN 73 6222. Zatěžovací schéma normální zatížitelnosti vychází z modelu zatížení 1 (LM1) definovaného v ČSN EN 1991-2 (Obr. 25), včetně šířky a číslování zatěžovacích pruhů  $w_i$ .

**Součinitelé zatížení:** příznivý účinek  $\gamma_{G,inf} = 1,00$ ; nepříznivý účinek  $\gamma_{G,sup} = 1,35$ ;

**Kombinační součinitel:**  $\psi_{0,1} = 0,75$ ;

**Dynamický součinitel:**  $\delta = 1,15$  – pro tři a více zatěžovacích pruhů viz kapitola 8 ČSN 73 6222.

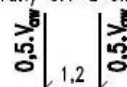


Obr. 24: Schéma vozidel pro stanovení normální zatížitelnosti [1.14]

TYP ZATÍŽENÍ

DVOUNÁPRAVA : Zat.pruhy č.1 a č.2

"1" - TĚŽKÉ



$$V_{aw} = 100v_n = 2 \times 50v_n$$

(na jedno kolo  $25v_n$ )



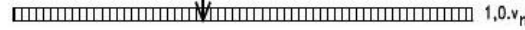
JEDNODUCHÁ NÁPRAVA : Zat.pruhy č.3 a č.4

"2" - STŘEDNÍ



$$V_{qjw} = 50v_n$$

(na jedno kolo  $25v_n$ )

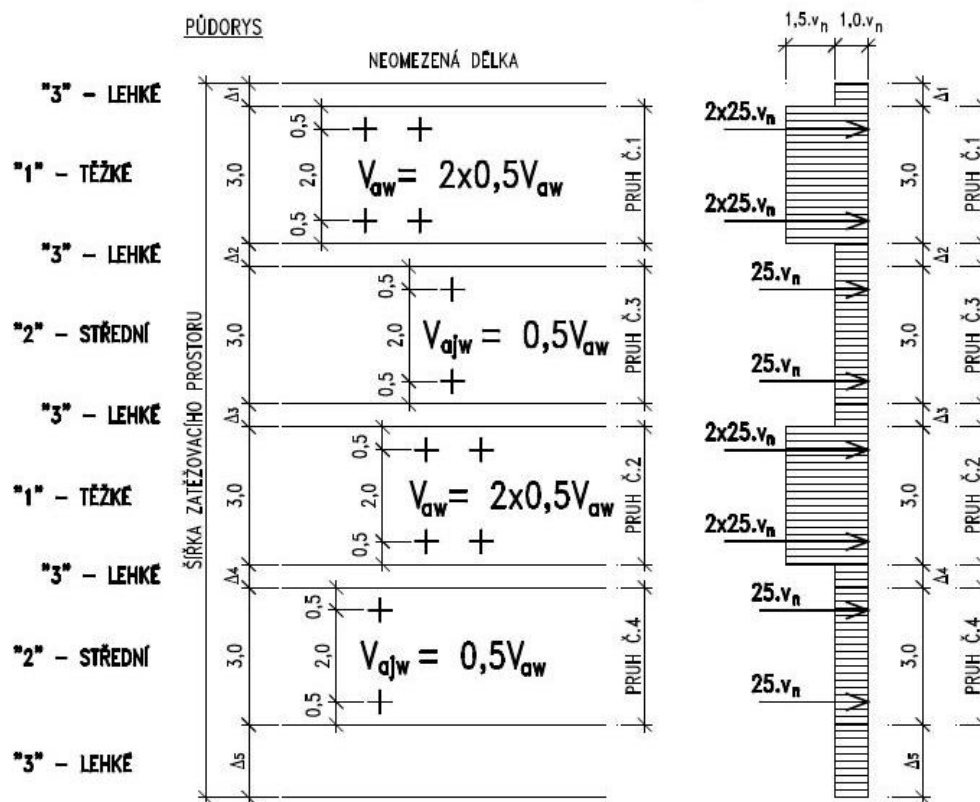


ZBÝVAJÍCÍ PLOCHA ZAT.PROSTORU

"3" - LEHKÉ



PŮDORYS



Obr. 25: Normální zatížitelnost dle ČSN 73 6222 [1.14]

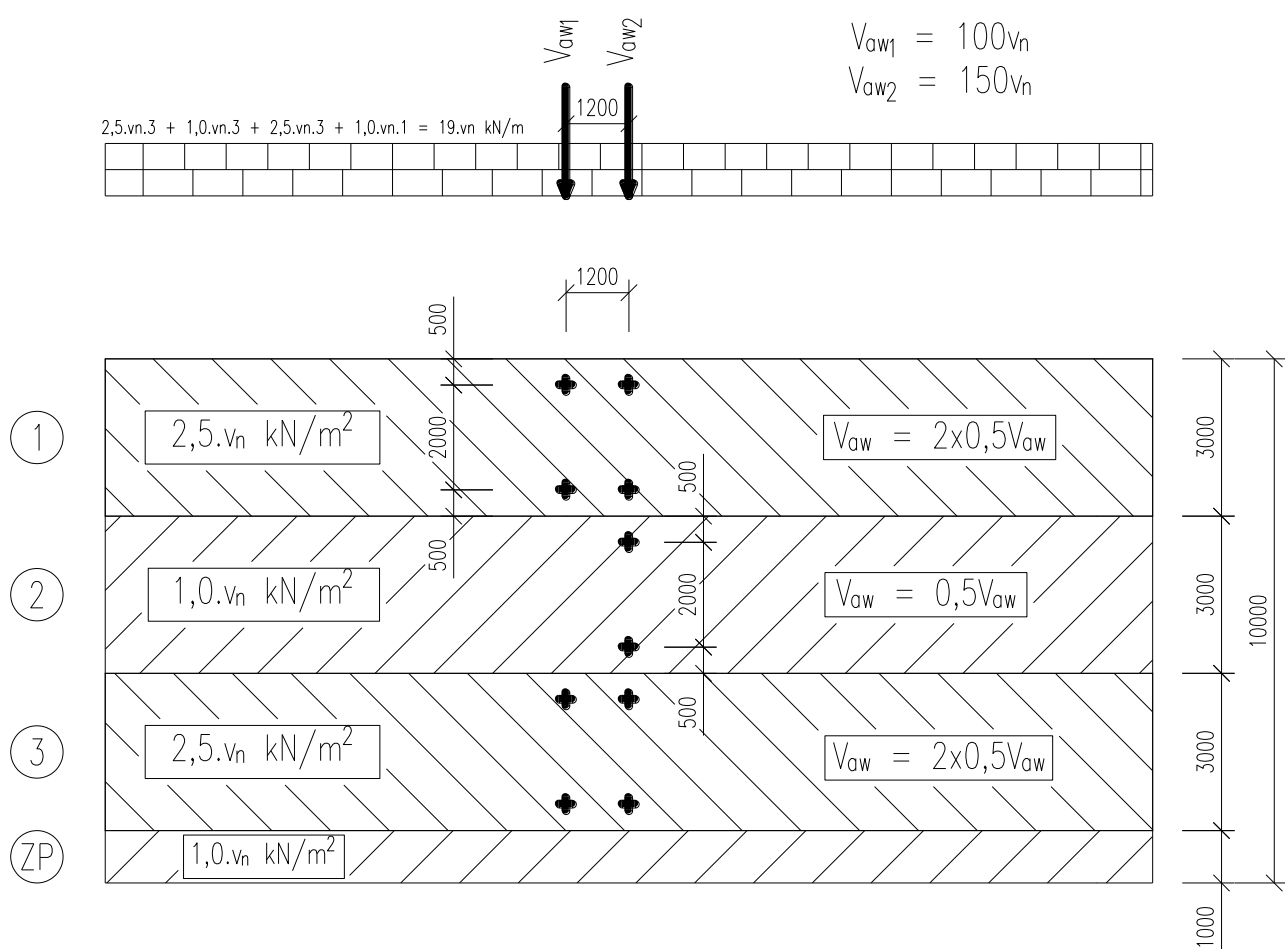
Vzdálenost mezi zvýšenými obrubami činí 10 m, z toho vychází 3 zatěžovací pruhy o šířce  $w = 3$  m a jeden zatěžovací pruh o šířce 1 m. Pro předpoklad vyšší zatížitelnosti ( $>16$  t, Obr. 24) se na mostě umístili dva těžké zatěžovací pruhy č. 1 a č. 2 a jeden střední zatěžovací pruh č. 3. Zatěžovací schéma použité pro výpočet normální zatížitelnosti je na Obr. 26.

### ZS31 Rovnoměrné zatížení

Na mostě bylo uvažované rovnoměrné jednotkové zatížení  $2,5v_n$  v zatěžovacích pruzích 1 a 3 a rovnoměrné jednotkové zatížení  $1,0v_n$  v zatěžovacím pruhu 2 a na zbylé ploše mostu.

### ZS32 Pohyblivé zatížení dopravou

Model mostu byl zatížen sestavou pohyblivého zatížení (Obr. 26).



Obr. 26: Schéma použitého zatížení

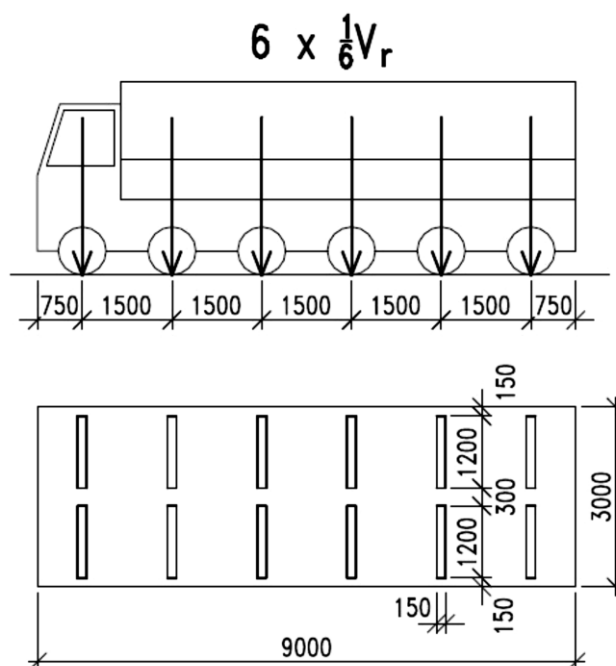
#### 7.6.3.4 Stanovení výhradní zatížitelnosti

Na základě předpokladu vyšší výhradní zatížitelnosti než 50 t, bylo použito schéma šestinápravového vozidla dle odstavce 7.2 normy ČSN 73 6222 (Obr. 27).

**Součinitelé zatížení:** příznivý účinek  $\gamma_{G.inf} = 0$ , nepříznivý účinek  $\gamma_{G.sup} = 1,35$ ;

**Kombinační součinitel:**  $\psi_{0,1} = 0,75$ ;

**Dynamický součinitel:**  $\delta = 1,25$  – zatížení celým vozidlem viz kapitola 8 ČSN 73 6222.



Obr. 27: Schéma šestinápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti  $V_r$  [1.14]

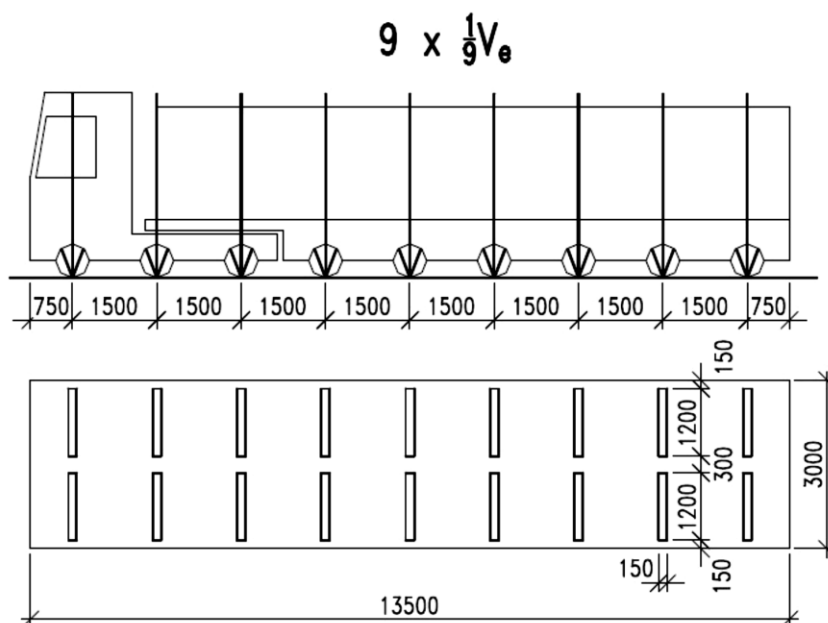
#### 7.6.3.5 Stanovení výjimečné zatížitelnosti

Výjimečná zatížitelnost byla stanovena od zatížení devítinápravovým vozidlem pohybující se v předepsané stopě (osa mostu) s největší přípustnou odchylkou  $\pm 0,5\text{m}$  a předepsanou rychlostí dle odstavce 7.3 normy ČSN 73 6222. Schéma vozidla je zobrazeno na Obr. 28.

**Součinitelé zatížení:** příznivý účinek  $\gamma_{G.inf} = 0$ , nepříznivý účinek  $\gamma_{G.sup} = 1,35$ ;

**Kombinační součinitel:**  $\psi_{0,1} = 0,75$ ;

**Dynamický součinitel:**  $\delta = 1,05$  – zatížení celou soupravou viz kapitola 8 ČSN 73 6222.



Obr. 28: Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti  $V_e$  [1.14]

### 7.6.3.6 Teplotní účinky

Rovnoměrné oteplení a ochlazení konstrukce bylo uvažováno dle normy ČSN EN 1991-1-5. Konstrukce je 3. typu (betonová nosná konstrukce). Oblast, kde se most nachází – Dolní Nerestce. Maximální hodnota vzduchu odečtená z mapy maximálních teplot ve stínu je  $40\text{ °C}$  a  $-34\text{ °C}$  pro minimální teplotu vzduchu odečtenou z mapy minimálních teplot ve stínu.

Maximální a minimální složky teploty pro konstrukci typu 3:

$$T_{e,\max} = T_{\max} + 1,5\text{ °C} = 40 + 1,5 = 41,5\text{ °C}$$

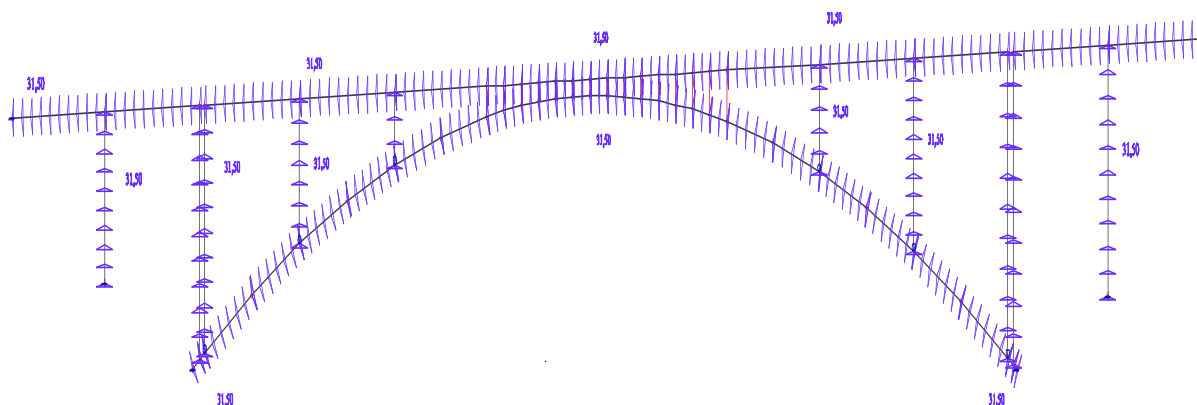
$$T_{e,\min} = T_{\min} + 8\text{ °C} = -34 + 8 = -26\text{ °C}$$

Základní teplota konstrukce  $T_0$  se uvažuje rovna  $10\text{ °C}$

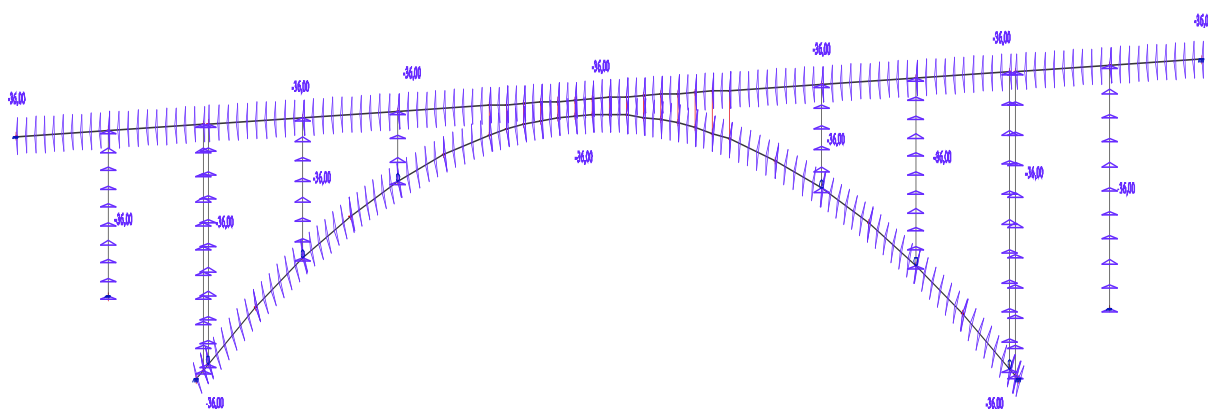
Rozsah rovnoměrného oteplení, resp. ochlazení:

$$T_{N,\text{exp}} = T_{e,\max} - T_0 = 41,5 - 10 = 31,5\text{ °C} - \text{rovnoměrné oteplení konstrukce (Obr. 29)}$$

$$T_{N,\text{con}} = T_0 - T_{e,\min} = 10 + 26 = 36\text{ °C} - \text{rovnoměrné ochlazení konstrukce (Obr. 30)}$$



Obr. 29: Schéma zatížení rovnoměrným oteplením konstrukce (31,50 °C)



Obr. 30: Schéma zatížení rovnoměrným ochlazením konstrukce (-36,00 °C)

## 7.7 Stanovení zatížitelnosti mostu v MSÚ (mezní stav únosnosti)

### 7.7.1 Princip stanovení zatížitelnosti

Vztahy pro kombinace zatížení ke stanovení zatížitelnosti mostu s ohledem na mezní stavy únosnosti byly stanoveny podle ČSN EN 1990:2004. Ohybový moment  $M_{ed}$  se stanoví jako největší hodnota ze vztahů:

$$M_{Ed,a} = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} + \gamma_V \cdot \psi_{0,1} \cdot M_{Vk,c} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i} \quad (6.10a)$$

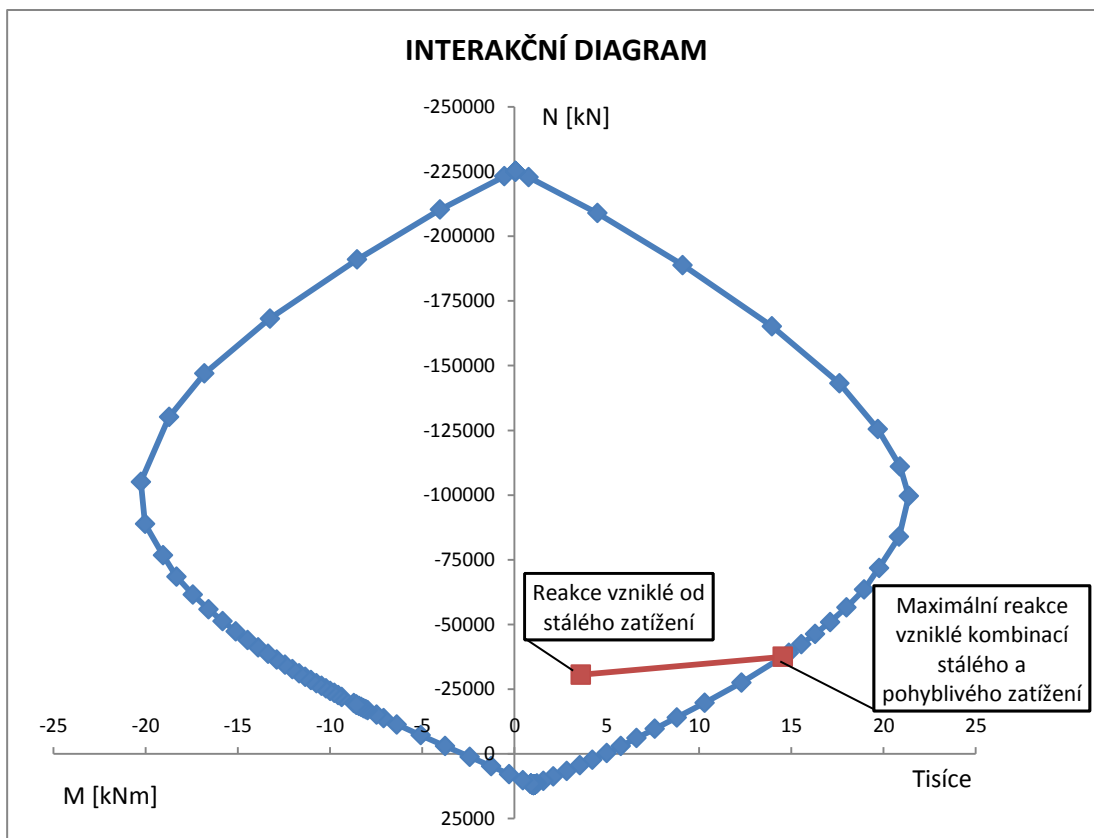
$$M_{Ed,b} = \sum_{j \geq 1} \xi \cdot \gamma_{G,j} \cdot M_{Gk,j} + \gamma_V \cdot M_{Vk,c} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i} \quad (6.10b)$$

Kde je

- $\gamma_{G,j}$  součinitel j-tého stálého zatížení;
- $\gamma_V$  součinitel uvažovaného proměnného zatížení dopravou pro stanovení zatížitelnosti mostu. Hodnota  $\gamma_V$  je rovna hodnotě  $\gamma_Q$  pro zatížení silniční dopravou a/nebo chodci podle ČSN EN 1990;
- $\gamma_{Q,i}$  součinitel i-tého proměnného zatížení;
- $M_{Gk,j}$  charakteristická hodnota ohybového momentu od j-tého zatížení stálého;
- $M_{Vk,c}$  charakteristická hodnota ohybového momentu od proměnného zatížení dopravou odpovídajícího hledané zatížitelnosti mostu (normální  $c = 1$ , výhradní  $c = 2$  nebo výjimečné  $c = 3$ ). V této veličině musí být zahrnut i vliv dynamických účinků zatížení dopravou;
- $M_{Qk,i}$  charakteristická hodnota ohybového momentu od i-tého (vedlejšího) proměnného zatížení;
- $\psi_{0,i}$  součinitel kombinace pro i-té proměnné (vedlejší) zatížení;
- $\psi_{0,1} = 0,75$  součinitel kombinace pro stanovení zatížitelnosti,
- $\xi = 0.85$  redukční součinitel pro stálá zatížení. [1.14]

Posouzení únosnosti vychází z limitní podmínky únosnosti železobetonového oblouku při kombinaci ohybového momentu a normálové síly. Zatížitelnost byla tedy stanovena pomocí interakčního diagramu. Do interakčního diagramu se dosadili reakce od stálých zatížení a k nim se přidávaly násobky sil vzniklých od pohyblivých zatížení až po dosažení únosnosti průřezu. Princip stanovení zatížitelnosti pomocí interakčního diagramu je znázorněn na Obr. 31.





Obr. 31: Stanovení zatížitelnosti pomocí interakčního diagramu

### 7.7.2 Zatížitelnost dle ČSN EN pro navrhování, geometrie podle projektu

V následující tabulce (Tab. 13) jsou uvedeny hodnoty vnitřních sil vyvolující maximální zatížení v jednotlivých průřezích mostního oblouku. Výsledky zatížitelnosti byly stanoveny dle ČSN EN bez úpravy dílčích součinitelů pro zatížení a odolnost.

Tab. 13: Rozhodující vnitřní síly a stanovená zatížitelnost podle ČSN

Kombinace zatěžovacích stavů	O1		O2		O3	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-13832,15	-3850,63	-13472,43	-966,45	-12862,07	1043,44
ZS12 - Ostatní stálé	-4226,40	-433,60	-4222,10	-433,60	-3986,06	201,21
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-178,48	-18,31	-178,30	-18,31	-168,33	8,50
ZS31 - Rovnoměrné oteplení					-1252,40	1905,45
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1319,60	-7436,01	1352,13	-4430,07		
Normální zatížitelnost	-1353,84	-2761,22	-1478,62	-1511,80	-247,16	552,80
Výhradní zatížitelnost	-5,59	-20,40	-7,94	-9,13	-1,57	6,68
Výjimečná zatížitelnost	-8,75	-27,30	-11,92	-13,30	-2,00	6,83
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

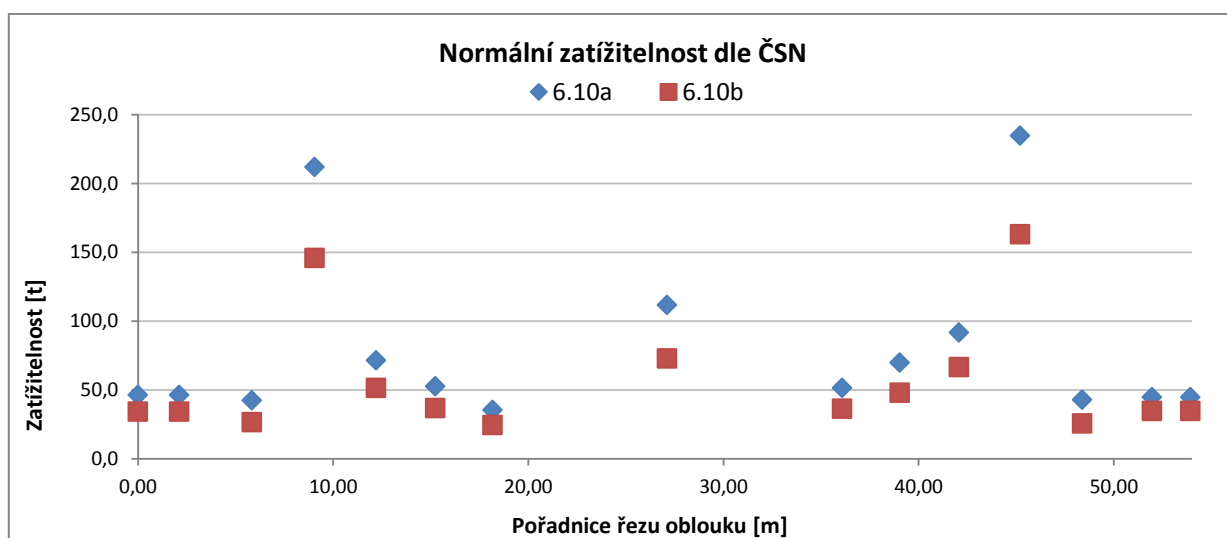
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,35
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	46,4 t		42,4 t		211,8 t	
6.10b	34,4 t		26,6 t		146,0 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	237,0 t		275,0 t		663,7 t	
6.10b	176,0 t		170,7 t		462,2 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	321,7 t		347,1 t		1185,2 t	
6.10b	238,1 t		215,9 t		825,4 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O4</b>		<b>O5</b>		<b>O6</b>	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-12656,86	1085,20	-12282,6	967,41	-12291,2	424,99
ZS12 - Ostatní stálé	-3984,92	310,01	-3817,38	310,01	-3815,82	450,96
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-168,28	13,09	-161,21	13,09	-161,14	19,04
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1459,46	714,34	1583,03	1793,26	1602,86	2565,35
Normální zatížitelnost	-1217,48	1593,53	-932,36	1593,57	-1256,61	1990,73
Výhradní zatížitelnost	-5,65	10,96	-4,12	10,96	-7,75	13,90
Výjimečná zatížitelnost	-6,63	10,19	-8,29	14,07	-10,25	18,69
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,35
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	71,4 t		52,7 t		35,5 t	
6.10b	51,5 t		36,9 t		24,5 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	407,7 t		298,7 t		206,2 t	

6.10b	288,0 t		206,2 t		142,2 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	821,2 t		440,2 t		270,9 t	
6.10b	584,1 t		311,1 t		187,3 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O7</b>		<b>O8</b>		<b>O9</b>	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-10975,24	-310,35	-12229,27	1035,28	-12330,27	1641,56
ZS12 - Ostatní stálé	-2851,11	-100,94	-3969,27	516,98	-3970,74	377,33
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-120,40	-4,26	-167,62	21,83	-167,68	15,93
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	6781,58	1338,19	1543,15	2536,33	1523,55	1712,01
Normální zatížitelnost	839,39	304,86	-731,28	1138,15	-438,13	993,33
Výhradní zatížitelnost	8,15	3,21	-7,56	12,69	-4,33	11,23
Výjimečná zatížitelnost	7,12	3,53	-11,12	14,85	-6,96	13,09
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,00	1,00	1,35	1,00	1,35
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	111,6 t		51,5 t		69,9 t	
6.10b	73,0 t		36,5 t		48,1 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	456,5 t		189,6 t		248,9 t	
6.10b	300,4 t		133,3 t		176,0 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	804,2 t		304,8 t		402,1 t	
6.10b	533,3 t		215,9 t		285,7 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O10</b>		<b>O11</b>		<b>O12</b>	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-12707,54	1686,66	-12921,10	1260,49	-13576,89	-1870,06
ZS12 - Ostatní stálé	-4130,82	377,33	-4132,53	195,07	-4366,18	-512,40
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-174,44	15,93	-174,52	8,24	-184,38	-21,64
ZS31 - Rovnoměrné oteplení			-1256,64	1964,45		
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1461,78	601,78			1360,52	-4422,20

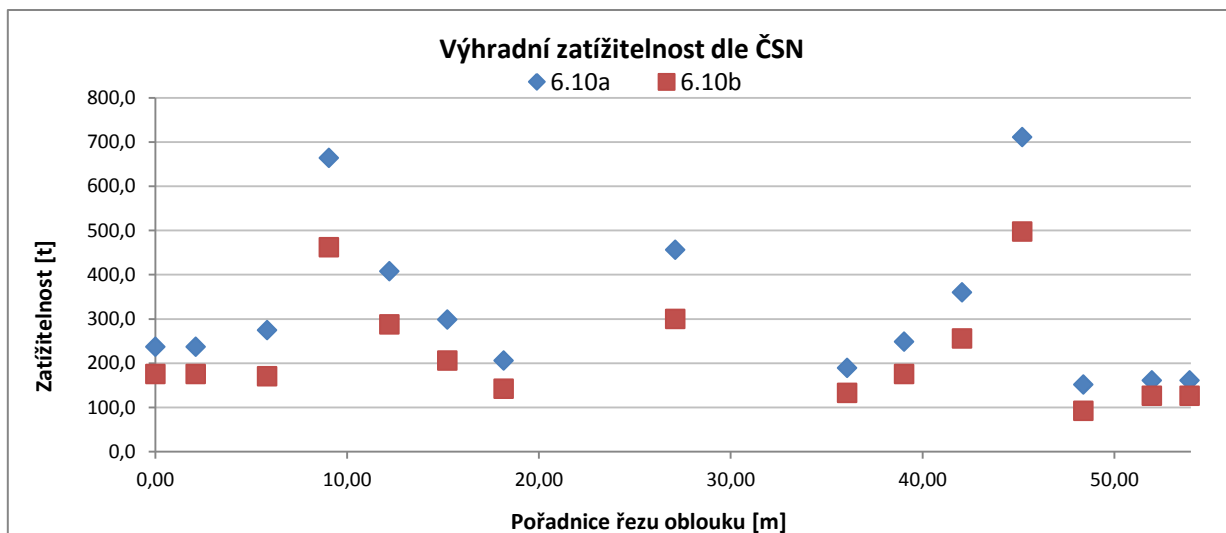
Normální zatížitelnost	-321,80	993,34	-199,55	481,09	-759,52	-927,18
Výhradní zatížitelnost	-5,69	11,23	-1,61	6,15	-7,12	-10,12
Výjimečná zatížitelnost	-8,47	13,09	-2,03	6,23	-10,60	-13,37
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,35
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	91,6 t		234,7 t		42,9 t	
6.10b	66,6 t		163,2 t		25,8 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	360,3 t		711,1 t		151,5 t	
6.10b	256,0 t		497,8 t		92,4 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	575,7 t		1278,3 t		215,7 t	
6.10b	412,7 t		888,9 t		133,3 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>013</b>					
	<b>N [kN]</b>	<b>My [kNm]</b>				
ZS11 - Vlastní tíha	-13943,24	-5882,43				
ZS12 - Ostatní stálé	-4371,69	-629,21				
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-184,62	-26,57				
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1335,17	-7175,72				
Normální zatížitelnost	-660,89	-1926,34				
Výhradní zatížitelnost	-5,67	-21,28				
Výjimečná zatížitelnost	-8,92	-28,70				
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75				
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,35				
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35				
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85				
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15				
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25				
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05				

Normální zatížitelnost	
6.10a	44,7 t
6.10b	34,8 t
Výhradní zatížitelnost	
6.10a	161,2 t
6.10b	126,2 t
Výjimečná zatížitelnost	
6.10a	215,9 t
6.10b	171,4 t

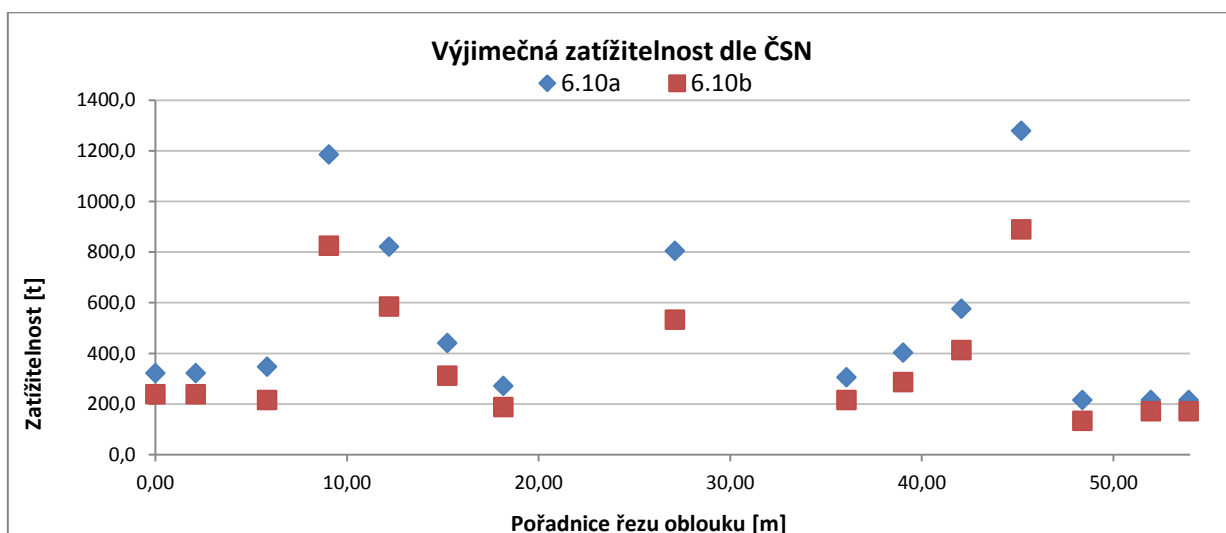
Grafické znázornění porovnání jednotlivých zatížitelností pro kombinaci 6.10a a 6.10b dle ČSN EN bez úpravy dílčích součinitelů je zobrazeno v níže uvedených grafech (Obr. 32 - Obr. 34).



Obr. 32: Porovnání normální zatížitelnosti dle ČSN stanovené podle 6.10a a 6.10b



Obr. 33: Porovnání výhradní zatížitelnosti dle ČSN stanovené podle 6.10a a 6.10b



Obr. 34: Porovnání výjimečné zatížitelnosti dle ČSN stanovené podle 6.10a a 6.10b

Porovnání výsledných zatížitelností pro kombinaci 6.10a a 6.10b dle ČSN EN bez úpravy dílčích součinitelů je uvedeno v Tab. 14.

Tab. 14: Výsledné hodnoty zatížitelnosti dle ČSN

Odolnost i zatížení podle ČSN EN pro navrhování, geometrie podle projektu	Zatížení		Odolnost		Kombinace	Zatížitelnost [t]		
	stálé $\gamma_G$	Užitné $\gamma_Q$	Beton $\gamma_c$	Výztuž $\gamma_s$		$V_n$	$V_r$	$V_e$
	1,35	1,35	1,5	1,15	6.10a	35,5	151,5	215,7
				6.10b	24,5	92,4	133,3	

### 7.7.3 Zatížitelnost stanovená s upřesněním zbytkové životnosti a měřením geometrie konstrukce

V následující tabulce (Tab. 15) jsou opět uvedeny hodnoty vnitřních sil vyvolujících maximální zatížení v jednotlivých průřezích mostního oblouku. Výsledky zatížitelností byly stanoveny úpravou dílčích součinitelů pro zatížení a odolnost na základě měření geometrie konstrukce a upřesnění zbytkové životnosti mostu.

Tab. 15: Rozhodující vnitřní síly a stanovená zatížitelnost podle měření geometrie

Kombinace zatěžovacích stavů	O1		O2		O3	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-13832,15	-3850,63	-13472,43	-966,45	-12862,07	1043,44
ZS12 - Ostatní stálé	-4226,40	-433,60	-4222,10	-433,60	-3986,06	201,21
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-178,48	-18,31	-178,30	-18,31	-168,33	8,50
ZS31 - Rovnoměrné oteplení					-1252,40	1905,45
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1319,60	-7436,01	1352,13	-4430,07		
Normální zatížitelnost	-1353,84	-2761,22	-1478,62	-1511,80	-247,16	552,80
Výhradní zatížitelnost	-5,59	-20,40	-7,94	-9,13	-1,57	6,68
Výjimečná zatížitelnost	-8,75	-27,30	-11,92	-13,30	-2,00	6,83
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,19	1,00	1,19	1,00	1,19
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	52,1 t		46,9 t		223,3 t	
6.10b	38,2 t		30,1 t		154,6 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	265,5 t		308,1 t		699,3 t	
6.10b	195,6 t		195,6 t		490,7 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	364,0 t		381,0 t		1248,7 t	
6.10b	266,7 t		241,3 t		873,0 t	
Kombinace zatěžovacích stavů	O4		O5		O6	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-12656,86	1085,20	-12282,6	967,41	-12291,2	424,99

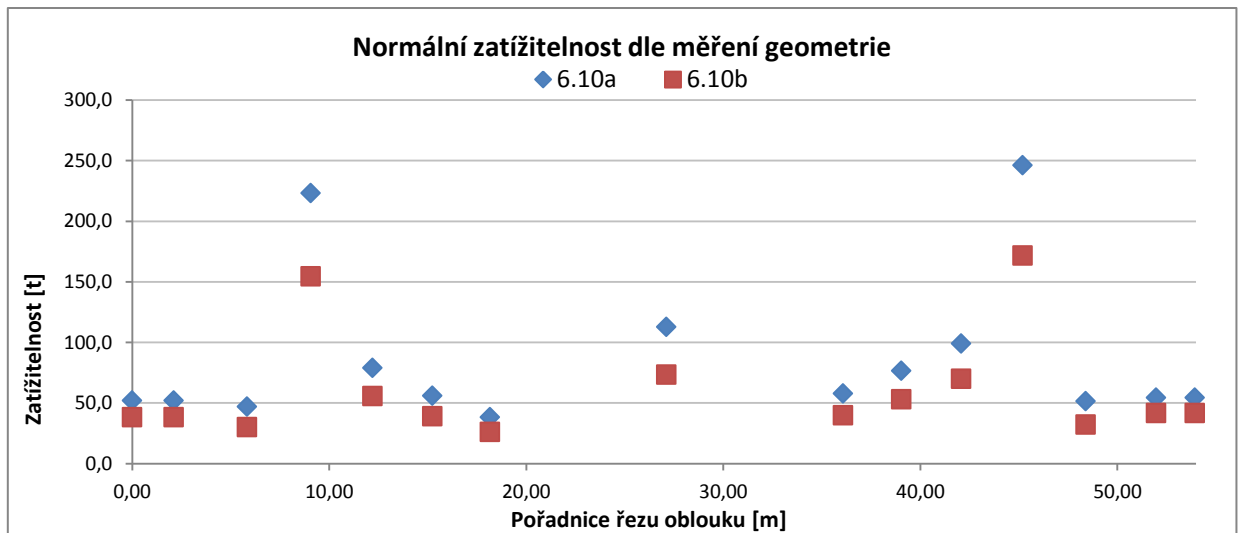
ZS12 - Ostatní stálé	-3984,92	310,01	-3817,38	310,01	-3815,82	450,96
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-168,28	13,09	-161,21	13,09	-161,14	19,04
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1459,46	714,34	1583,03	1793,26	1602,86	2565,35
Normální zatížitelnost	-1217,48	1593,53	-932,36	1593,57	-1256,61	1990,73
Výhradní zatížitelnost	-5,65	10,96	-4,12	10,96	-7,75	13,90
Výjimečná zatížitelnost	-6,63	10,19	-8,29	14,07	-10,25	18,69
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,19	1,00	1,19	1,00	1,19
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	79,0 t		56,1 t		38,4 t	
6.10b	55,8 t		39,1 t		26,2 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	431,4 t		317,6 t		220,4 t	
6.10b	302,2 t		218,7 t		151,1 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	872,0 t		474,1 t		292,1 t	
6.10b	615,9 t		323,8 t		200,0 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>07</b>		<b>08</b>		<b>09</b>	
	<b>N [kN]</b>	<b>My [kNm]</b>	<b>N [kN]</b>	<b>My [kNm]</b>	<b>N [kN]</b>	<b>My [kNm]</b>
ZS11 - Vlastní tíha	-10975,24	-310,35	-12229,27	1035,28	-12330,27	1641,56
ZS12 - Ostatní stálé	-2851,11	-100,94	-3969,27	516,98	-3970,74	377,33
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-120,40	-4,26	-167,62	21,83	-167,68	15,93
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	6781,58	1338,19	1543,15	2536,33	1523,55	1712,01
Normální zatížitelnost	839,39	304,86	-731,28	1138,15	-438,13	993,33
Výhradní zatížitelnost	8,15	3,21	-7,56	12,69	-4,33	11,23
Výjimečná zatížitelnost	7,12	3,53	-11,12	14,85	-6,96	13,09
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,00	1,00	1,19	1,00	1,19
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85



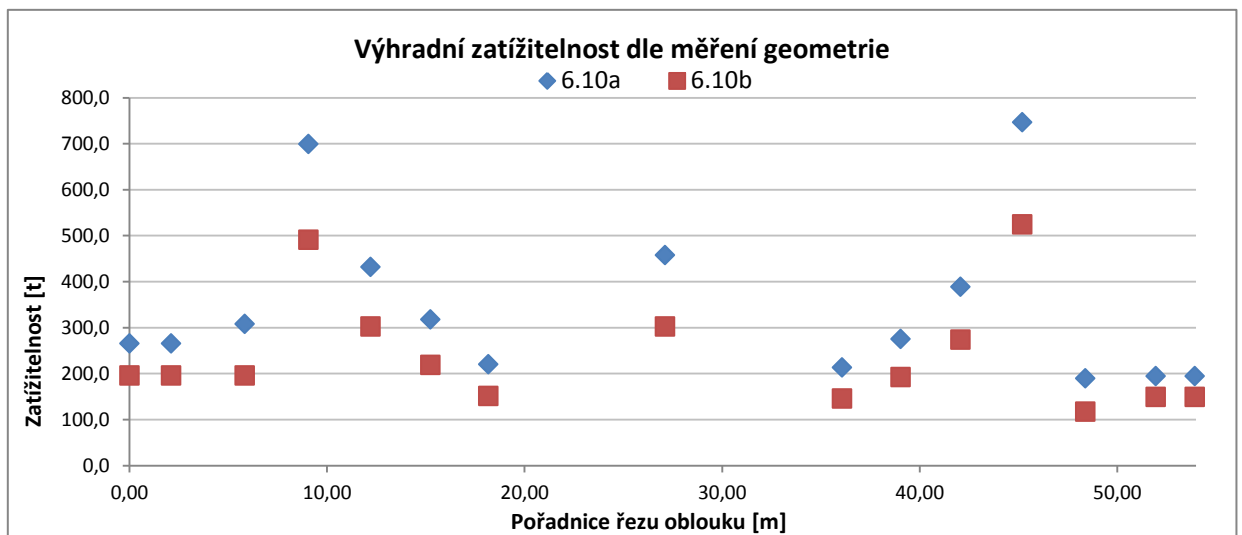
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	112,8 t		57,8 t		76,7 t	
6.10b	73,4 t		39,9 t		53,2 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	457,5 t		213,3 t		275,0 t	
6.10b	302,2 t		145,8 t		192,0 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	808,5 t		338,6 t		440,2 t	
6.10b	539,7 t		234,9 t		311,1 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O10</b>		<b>O11</b>		<b>O12</b>	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-12707,54	1686,66	-12921,10	1260,49	-13576,89	-1870,06
ZS12 - Ostatní stálé	-4130,82	377,33	-4132,53	195,07	-4366,18	-512,40
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-174,44	15,93	-174,52	8,24	-184,38	-21,64
ZS31 - Rovnoměrné oteplení			-1256,64	1964,45		
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1461,78	601,78			1360,52	-4422,20
Normální zatížitelnost	-321,80	993,34	-199,55	481,09	-759,52	-927,18
Výhradní zatížitelnost	-5,69	11,23	-1,61	6,15	-7,12	-10,12
Výjimečná zatížitelnost	-8,47	13,09	-2,03	6,23	-10,60	-13,37
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,19	1,00	1,19	1,00	1,19
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	99,1 t		246,2 t		51,5 t	
6.10b	70,0 t		171,8 t		32,2 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	388,7 t		746,7 t		189,6 t	
6.10b	273,8 t		524,4 t		117,3 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	626,5 t		1354,5 t		270,9 t	

6.10b	412,7 t	888,9 t	133,3 t
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O13</b>		
	N [kN]	My [kNm]	
ZS11 - Vlastní tíha	-13943,24	-5882,43	
ZS12 - Ostatní stálé	-4371,69	-629,21	
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-184,62	-26,57	
ZS31 - Rovnoměrné oteplení			
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1335,17	-7175,72	
Normální zatížitelnost	-660,89	-1926,34	
Výhradní zatížitelnost	-5,67	-21,28	
Výjimečná zatížitelnost	-8,92	-28,70	
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,19	
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	
Normální zatížitelnost			
6.10a	54,4 t		
6.10b	41,7 t		
Výhradní zatížitelnost			
6.10a	194,4 t		
6.10b	149,3 t		
Výjimečná zatížitelnost			
6.10a	262,4 t		
6.10b	203,2 t		

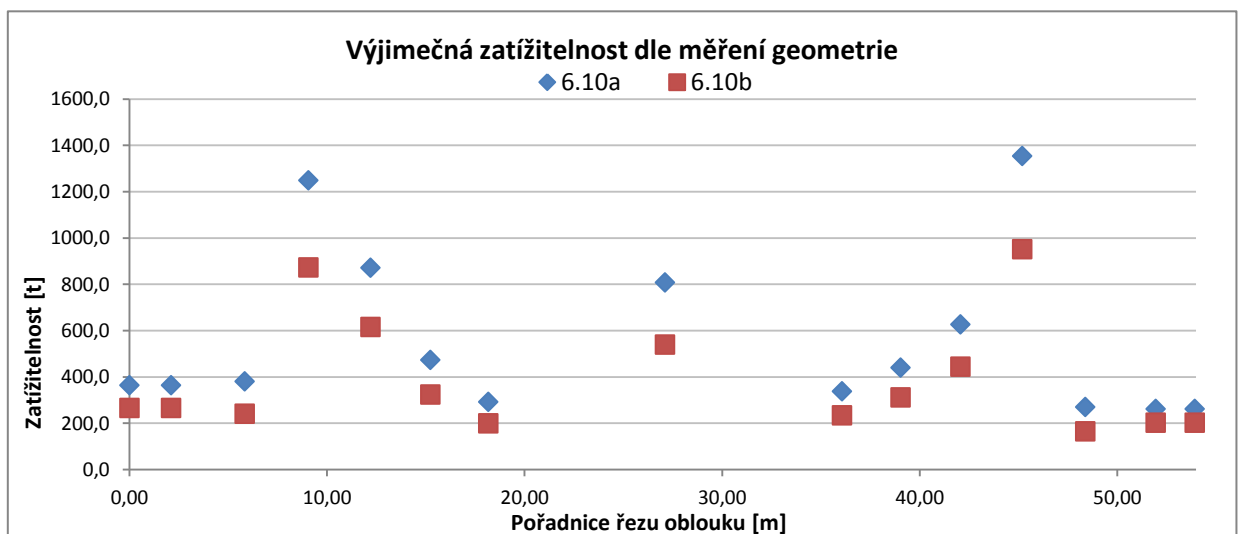
Grafické znázornění porovnání jednotlivých zatížitelností pro kombinaci 6.10a a 6.10b pro zatížitelnost stanovenou upřesněním zbytkové životnosti a měřením geometrie konstrukce je zobrazeno v grafech (Obr. 35 - Obr. 37).



Obr. 35: Porovnání normální zatížitelnosti dle měření geometrie stanovené podle 6.10a a 6.10b



Obr. 36: Porovnání výhradní zatížitelnosti dle měření geometrie stanovené podle 6.10a a 6.10b



Obr. 37: Porovnání výjimečné zatížitelnosti dle měření geometrie stanovené podle 6.10a a 6.10b

Porovnání výsledných zatížitelností pro kombinaci 6.10a a 6.10b pro zatížitelnost stanovenou upřesněním zbytkové životnosti a měřením geometrie konstrukce s úpravou dílčích součinitelů zatížení a odolnosti je uvedeno v Tab. 16.

Tab. 16: Výsledné hodnoty zatížitelnosti dle měření geometrie

Upřesnění podle měření geometrie na konstrukci	Zatížení		Odolnost		Kombinace	Zatížitelnost [t]		
	Stálé $\gamma_G$	Užitné $\gamma_Q$	Beton $\gamma_c$	Výztuž $\gamma_s$		$V_n$	$V_r$	$V_e$
	1,19	1,35	1,26	1,14	6.10a	<b>38,4</b>	<b>189,6</b>	<b>262,4</b>
				6.10b	<b>26,2</b>	<b>117,3</b>	<b>165,1</b>	

#### 7.7.4 Zatížitelnost stanovená s upřesněním dle experimentálních zkoušek

Vnitřní síly vyvolující maximální zatížení v jednotlivých průřezích mostního oblouku a výsledky zatížitelností stanovené úpravou dílčích součinitelů pro zatížení a odolnost na základě experimentálních zkoušek jsou uvedeny v Tab. 17.

Tab. 17: Rozhodující vnitřní síly a stanovená zatížitelnost dle experimentálních zkoušek

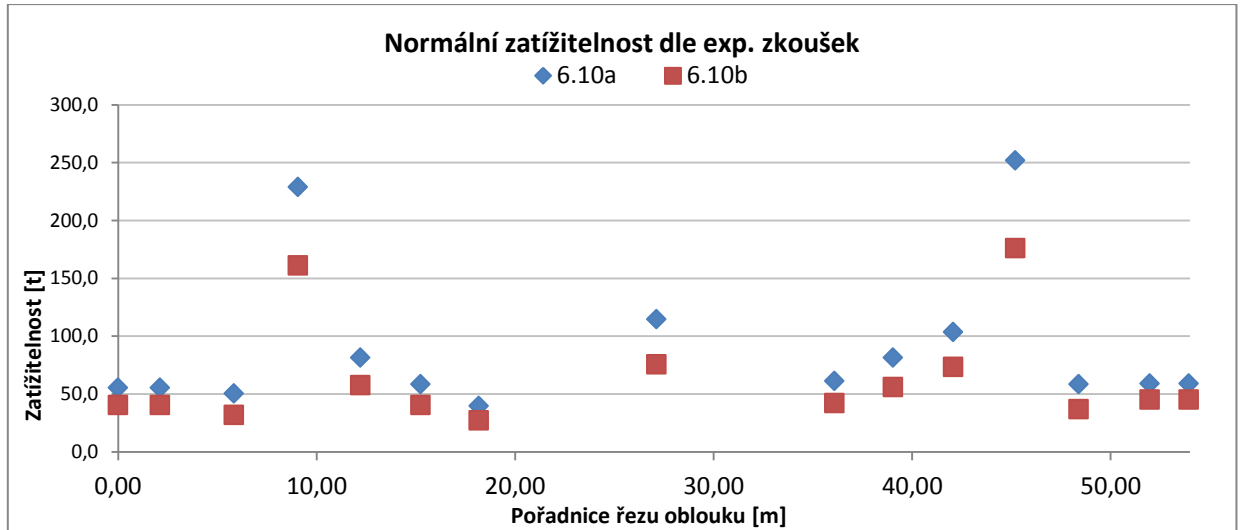
Kombinace zatěžovacích stavů	O1		O2		O3	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-13832,15	-3850,63	-13472,43	-966,45	-12862,07	1043,44
ZS12 - Ostatní stálé	-4226,40	-433,60	-4222,10	-433,60	-3986,06	201,21
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-178,48	-18,31	-178,30	-18,31	-168,33	8,50
ZS31 - Rovnoměrné oteplení					-1252,40	1905,45
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1319,60	-7436,01	1352,13	-4430,07		
Normální zatížitelnost	-1353,84	-2761,22	-1478,62	-1511,80	-247,16	552,80
Výhradní zatížitelnost	-5,59	-20,40	-7,94	-9,13	-1,57	6,68
Výjimečná zatížitelnost	-8,75	-27,30	-11,92	-13,30	-2,00	6,83
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,15
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a		55,5 t		50,4 t		229,0 t
6.10b		40,4 t		31,8 t		161,0 t

Výhradní zatížitelnost						
6.10a	282,1 t		327,1 t		720,6 t	
6.10b	206,2 t		206,2 t		504,9 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	385,2 t		406,3 t		1286,8 t	
6.10b	279,4 t		257,1 t		901,6 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O4</b>		<b>O5</b>		<b>O6</b>	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-12656,86	1085,20	-12282,6	967,41	-12291,2	424,99
ZS12 - Ostatní stálé	-3984,92	310,01	-3817,38	310,01	-3815,82	450,96
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-168,28	13,09	-161,21	13,09	-161,14	19,04
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1459,46	714,34	1583,03	1793,26	1602,86	2565,35
Normální zatížitelnost	-1217,48	1593,53	-932,36	1593,57	-1256,61	1990,73
Výhradní zatížitelnost	-5,65	10,96	-4,12	10,96	-7,75	13,90
Výjimečná zatížitelnost	-6,63	10,19	-8,29	14,07	-10,25	18,69
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,15	1,00	1,19	1,00	1,19
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	81,3 t		58,4 t		39,5 t	
6.10b	57,5 t		40,4 t		27,1 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	448,0 t		324,7 t		227,6 t	
6.10b	312,9 t		225,8 t		156,4 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	905,8 t		486,8 t		304,8 t	
6.10b	634,9 t		339,7 t		209,5 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O7</b>		<b>O8</b>		<b>O9</b>	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-10975,24	-310,35	-12229,27	1035,28	-12330,27	1641,56
ZS12 - Ostatní stálé	-2851,11	-100,94	-3969,27	516,98	-3970,74	377,33
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-120,40	-4,26	-167,62	21,83	-167,68	15,93

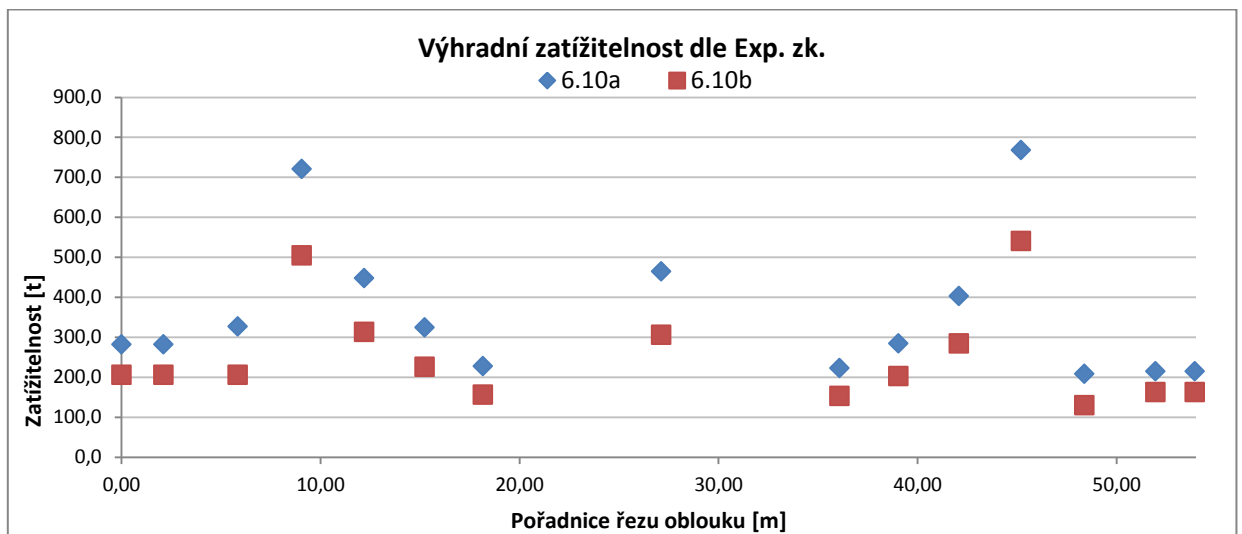
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	6781,58	1338,19	1543,15	2536,33	1523,55	1712,01
Normální zatížitelnost	839,39	304,86	-731,28	1138,15	-438,13	993,33
Výhradní zatížitelnost	8,15	3,21	-7,56	12,69	-4,33	11,23
Výjimečná zatížitelnost	7,12	3,53	-11,12	14,85	-6,96	13,09
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,00	1,00	1,15	1,00	1,15
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	114,5 t		61,3 t		81,3 t	
6.10b	75,6 t		42,1 t		55,8 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	464,6 t		222,8 t		284,4 t	
6.10b	305,8 t		152,9 t		202,7 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	829,6 t		355,6 t		457,1 t	
6.10b	546,0 t		247,6 t		323,8 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>O10</b>		<b>O11</b>		<b>O12</b>	
	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]	N [kN]	My [kNm]
ZS11 - Vlastní tíha	-12707,54	1686,66	-12921,10	1260,49	-13576,89	-1870,06
ZS12 - Ostatní stálé	-4130,82	377,33	-4132,53	195,07	-4366,18	-512,40
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-174,44	15,93	-174,52	8,24	-184,38	-21,64
ZS31 - Rovnoměrné oteplení			-1256,64	1964,45		
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1461,78	601,78			1360,52	-4422,20
Normální zatížitelnost	-321,80	993,34	-199,55	481,09	-759,52	-927,18
Výhradní zatížitelnost	-5,69	11,23	-1,61	6,15	-7,12	-10,12
Výjimečná zatížitelnost	-8,47	13,09	-2,03	6,23	-10,60	-13,37
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,15
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
Normální zatížitelnost						
6.10a	103,6 t		251,9 t		58,4 t	
6.10b	73,4 t		176,1 t		36,9 t	
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	403,0 t		768,0 t		208,6 t	
6.10b	284,4 t		540,4 t		129,8 t	
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	656,1 t		1396,8 t		296,3 t	
6.10b	460,3 t		977,8 t		187,3 t	
<b>Kombinace zatěžovacích stavů</b>	<b>013</b>					
		N [kN]	My [kNm]			
ZS11 - Vlastní tíha	-13943,24	-5882,43				
ZS12 - Ostatní stálé	-4371,69	-629,21				
ZS21 - Rovnoměrné zatížení chodníku	-184,62	-26,57				
ZS31 - Rovnoměrné oteplení						
ZS32 - Rovnoměrné ochlazení	1335,17	-7175,72				
Normální zatížitelnost	-660,89	-1926,34				
Výhradní zatížitelnost	-5,67	-21,28				
Výjimečná zatížitelnost	-8,92	-28,70				
Součinitel kombinace pro zatížitelnost	0,75	0,75				
Součinitel zatížení pro stálé zatížení	1,00	1,15				
Součinitel zatížení pro zatížení dopravou	1,35	1,35				
Redukční součinitel pro stálá zatížení	0,85	0,85				
Dynamický součinitel - normální zatížitelnost	1,15	1,15				
Dynamický součinitel - výhradní zatížitelnost	1,25	1,25				
Dynamický součinitel - výjimečná zatížitelnost	1,05	1,05				
Normální zatížitelnost						
6.10a	59,0 t					
6.10b	45,1 t					
Výhradní zatížitelnost						
6.10a	214,5 t					
6.10b	162,7 t					
Výjimečná zatížitelnost						
6.10a	289,9 t					
6.10b	219,0 t					

Grafické znázornění porovnání jednotlivých zatížitelností pro kombinaci 6.10a a 6.10b pro zatížitelnost stanovenou s upřesněním dle experimentálních zkoušek je zobrazeno v grafech (Obr. 38 - Obr. 40).

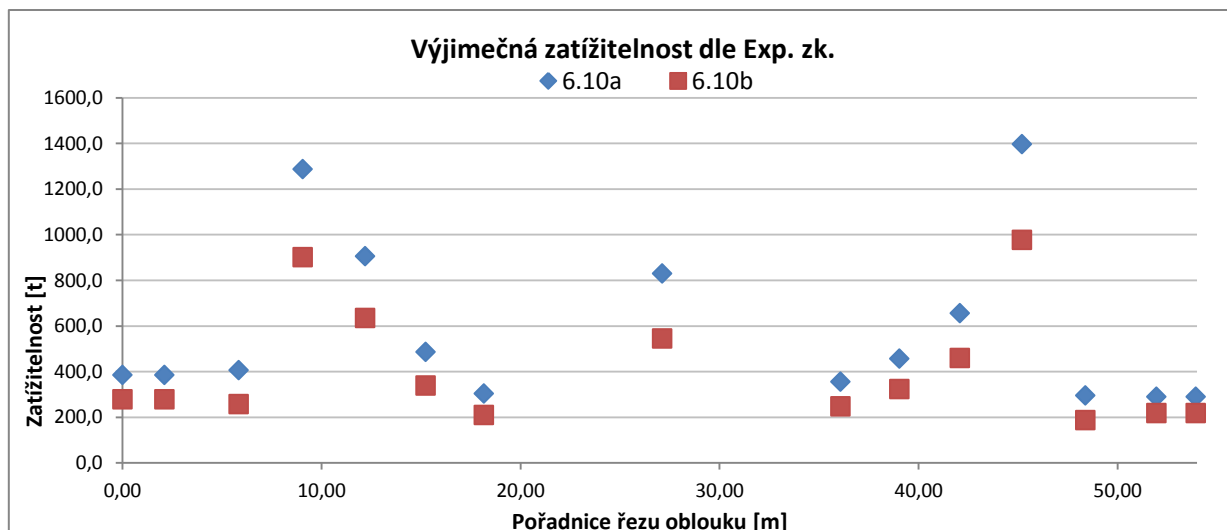


Obr. 38: Porovnání normální zatížitelnosti dle exp. zkoušek stanovené podle 6.10a a 6.10b



Obr. 39: Porovnání výhradní zatížitelnosti dle exp. zkoušek stanovené podle 6.10a a 6.10b





Obr. 40: Porovnání výjimečné zatížitelnosti dle exp. zkoušek stanovené podle 6.10a a 6.10b

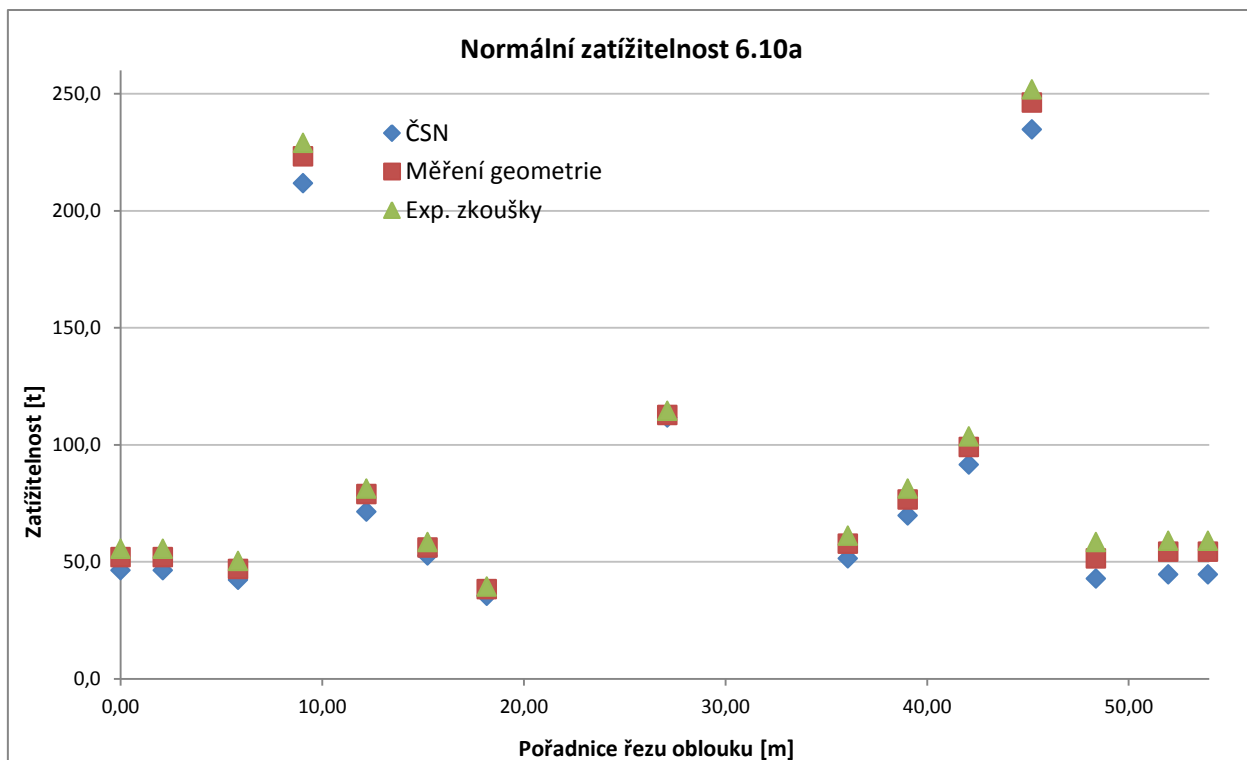
Porovnání výsledných zatížitelností pro kombinaci 6.10a a 6.10b pro zatížitelnost stanovenou pomocí upravených dílčích součinitelů zatížení a odolnosti na základě experimentálních zkoušek je uvedeno v Tab. 18.

Tab. 18: Výsledné hodnoty zatížitelnosti dle exp. zkoušek

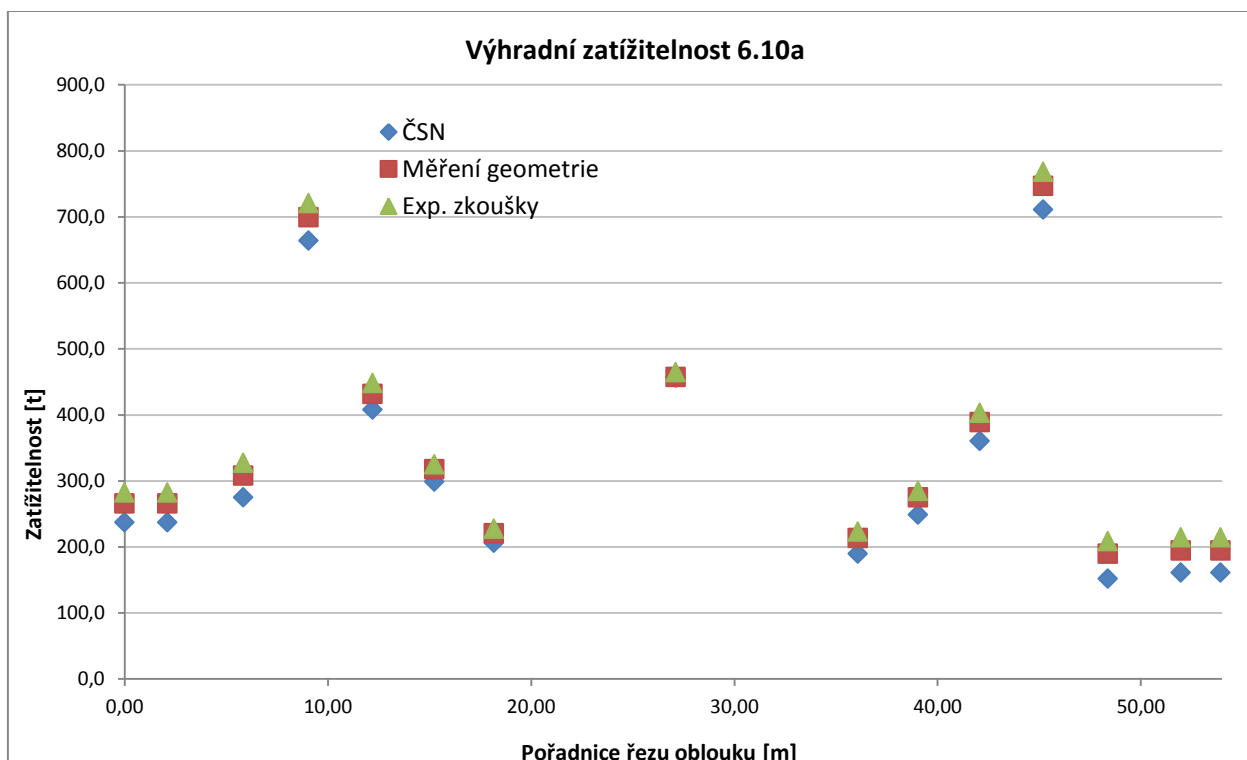
Zohlednění výsledků experimentálních zkoušek	Zatížení		Odolnost		Kombinace	Zatížitelnost [t]		
	Stálé $\gamma_G$	Užitné $\gamma_Q$	Beton $\gamma_c$	Výztuž $\gamma_s$		$V_n$	$V_r$	$V_e$
	1,15	1,35	1,13	1,12		6.10a	<b>39,5</b>	<b>208,6</b>
				6.10b	<b>27,1</b>	<b>129,8</b>	<b>187,3</b>	

## 7.8 Porovnání výsledků

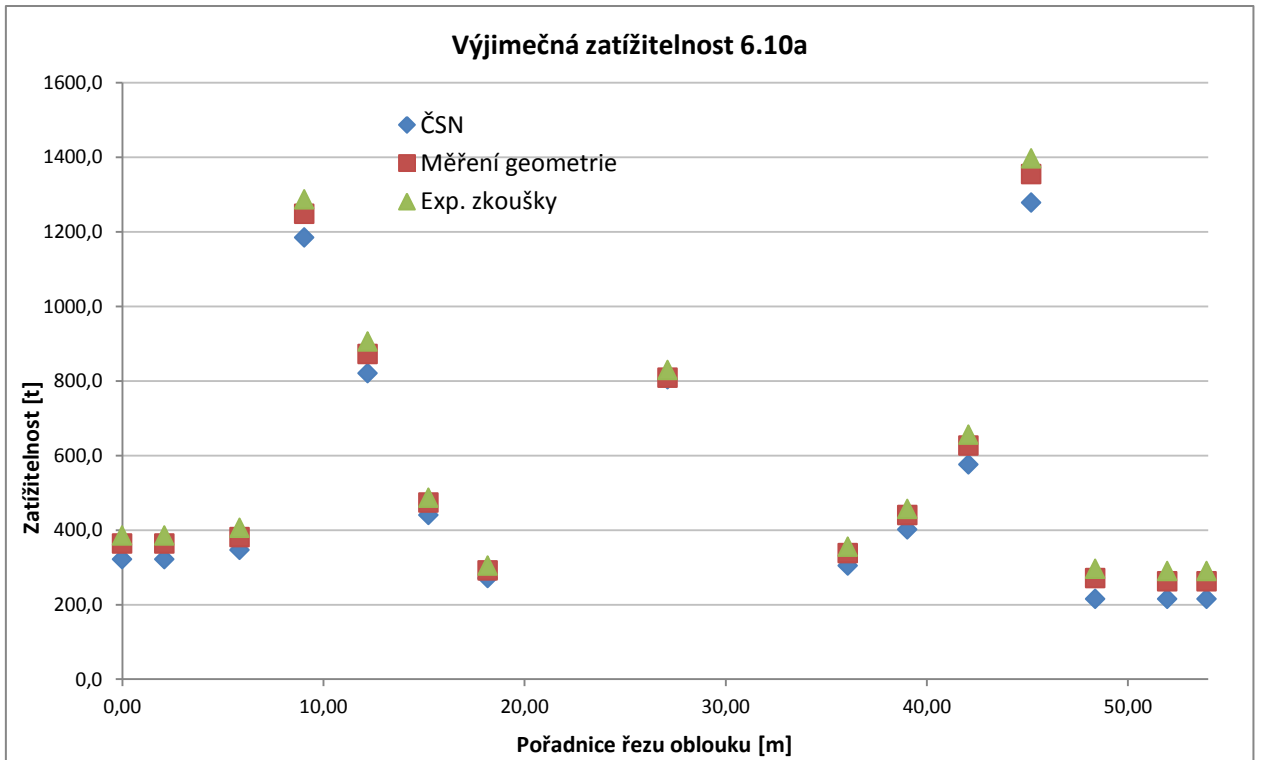
Porovnání výsledných hodnot odolnosti stanovených pro různé úrovně znalostí vstupních parametrů pro kombinaci 6.10a jsou graficky zobrazeny na grafech (Obr. 41 - Obr. 43) a pro kombinaci 6.10b na grafech (Obr. 44 - Obr. 46).



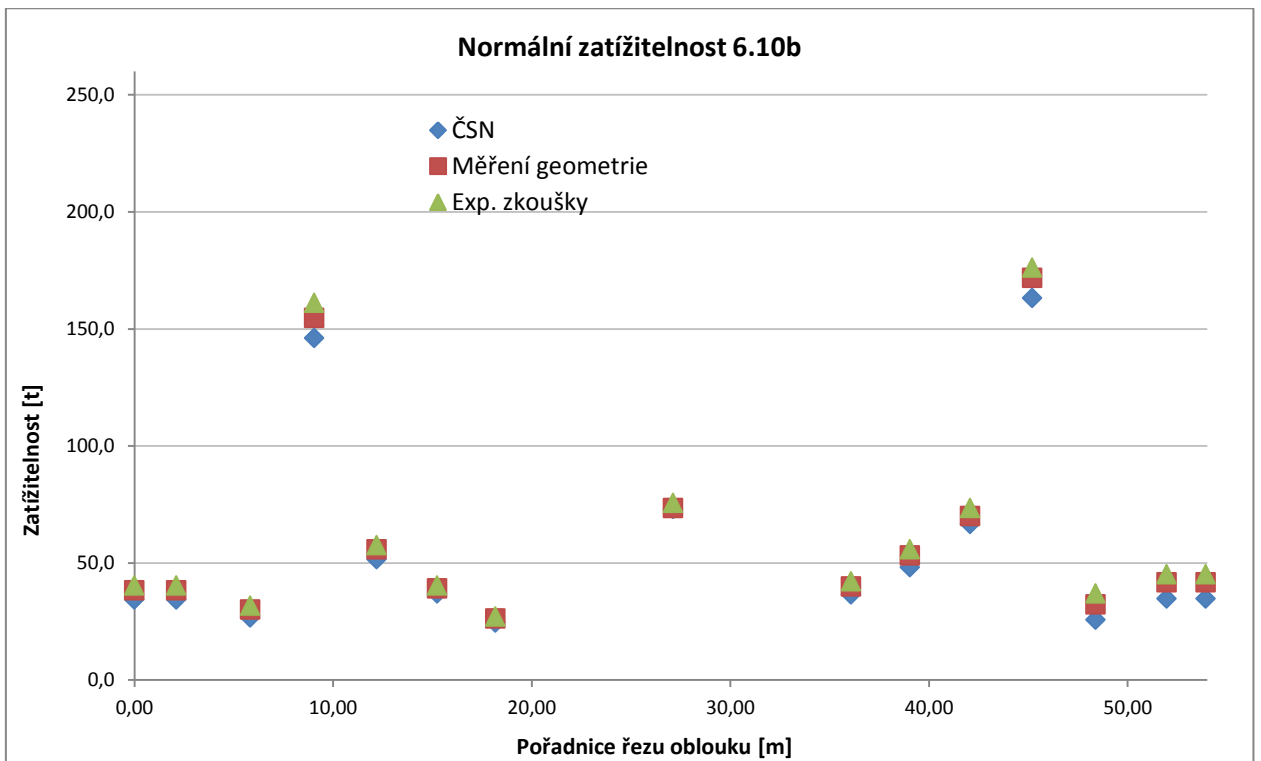
Obr. 41: Porovnání normální zatížitelnosti stanovené podle 6.10a



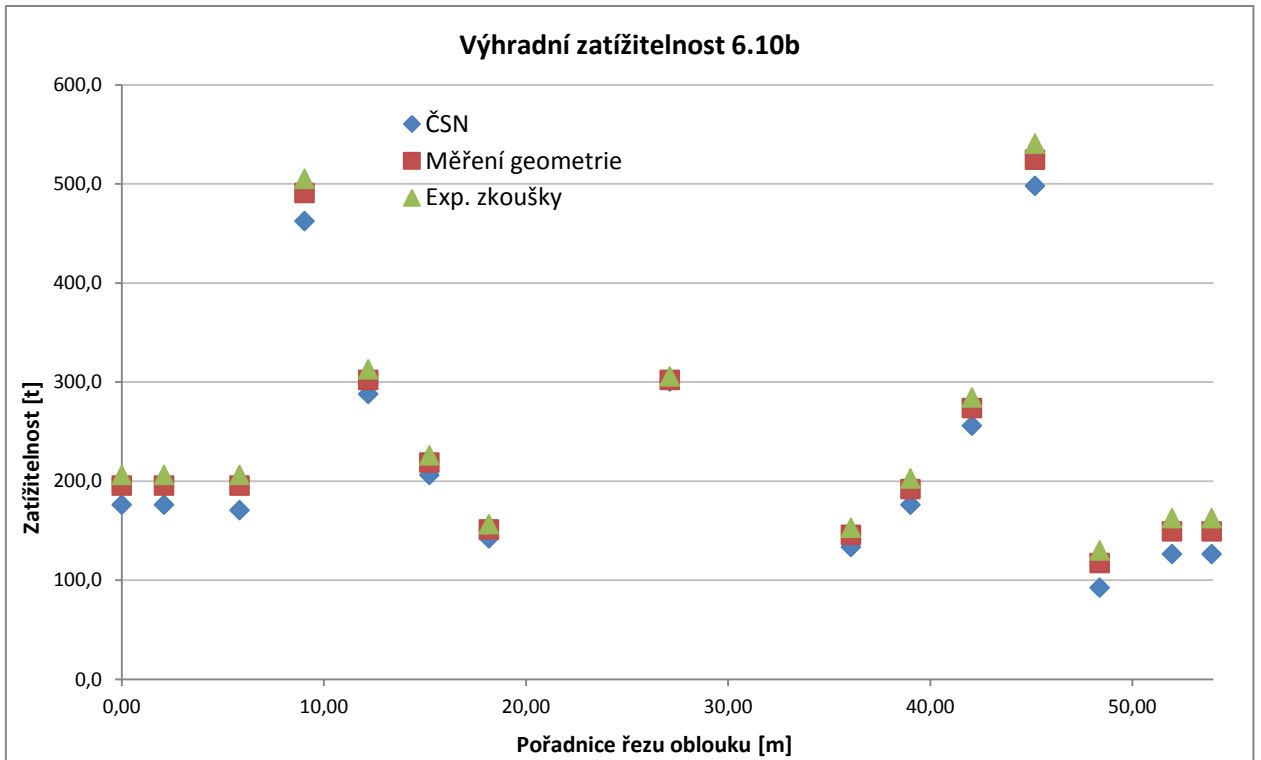
Obr. 42: Porovnání výhradní zatížitelnosti stanovené podle 6.10a



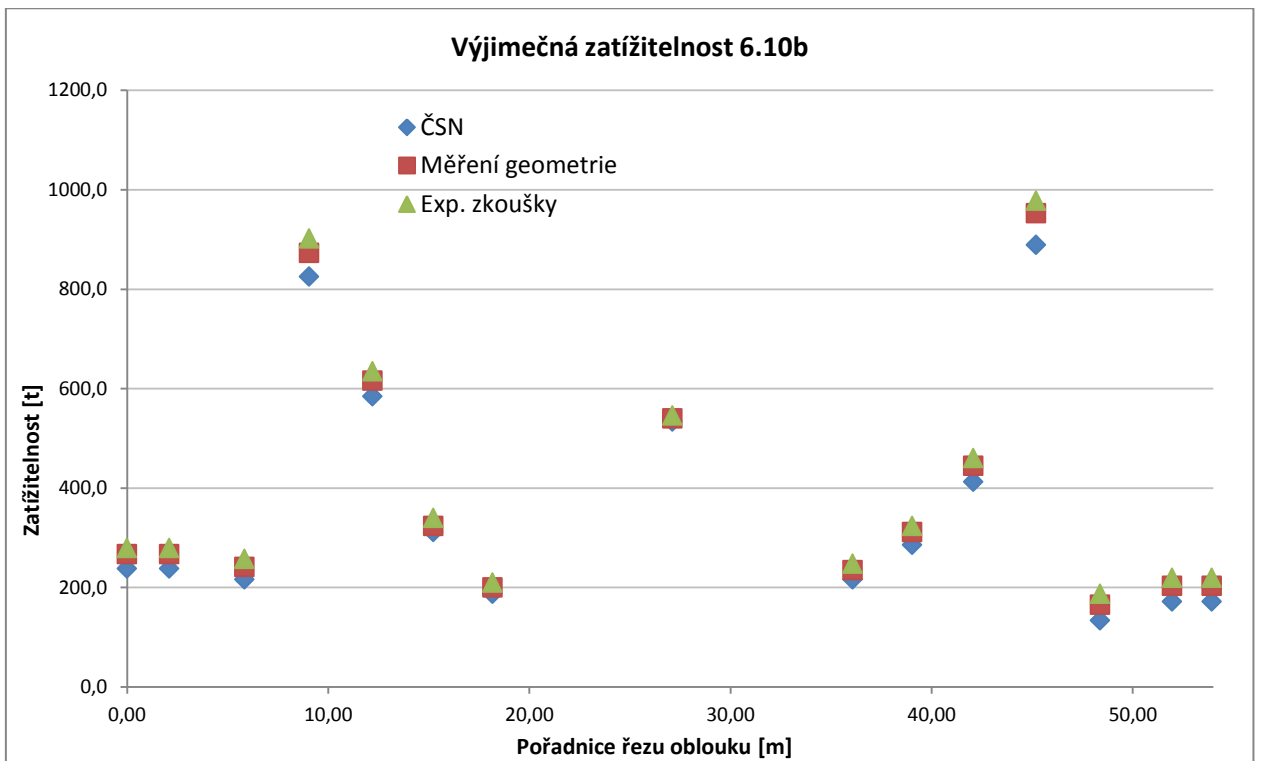
Obr. 43: Porovnání výjimečné zatížitelnosti stanovené podle 6.10a



Obr. 44: Porovnání normální zatížitelnosti stanovené podle 6.10b



Obr. 45: Porovnání výhradní zatížitelnosti stanovené podle 6.10b



Obr. 46: Porovnání výjimečné zatížitelnosti stanovené podle 6.10b

## 8 Závěr

V této práci byly popsány základní principy diagnostických průzkumů a možnosti úprav dílčích součinitelů materiálu a zatížení při ověřování existujících konstrukcí a stanovení jejich zatížitelnosti v návaznosti na výsledky diagnostických prací. Dále byly vysvětleny možnosti zavedení skutečných vlastností použitých materiálů a geometrie zjištěných diagnostickým průzkumem. Popsané principy byly aplikovány v praktické části při stanovení zatížitelnosti mostního oblouku.

Výsledky výpočtu zatížitelnosti s porovnáním jednotlivých úrovní v návaznosti na výsledky diagnostického průzkumu jsou zobrazeny v Tab. 19. Z uvedených výsledků vyplývá, že nejnižší zatížitelnost byla dosažena pro kombinaci zatížení 6.10b v průřezu O6 pro normální zatížitelnost a v průřezu O12 pro zatížitelnost výhradní a výjimečnou. Normální zatížitelnost vycházející z principů ČSN EN byla stanovena hodnotou 24,5 t. Úpravou dílčích součinitelů, po zjištění skutečných rozměrů konstrukce, se normální zatížitelnost zvedla na 26,2 t. Následně po provedení podrobnějšího průzkumu na jádrových vývrtech dosáhla normální zatížitelnost hodnoty 27,1 t. Obecně lze říct, že po každé úpravě dílčích součinitelů, se normální zatížitelnost průměrně zvedla o 9 %. Stejný procentní nárůst je patrný i u výhradní a výjimečné zatížitelnosti. Tento nárůst odolnosti mostního oblouku (namáhán tlakem a ohybem) je v porovnání s prostě ohýbanými nosníky menší. Důvodem je větší využití průřezu oblouku při přenášení zatížení a tím i menší procentní nárůst výsledné zatížitelnosti.

Tab. 19: Porovnání výsledků zatížitelnosti podle úrovně znalostí o konstrukci

Charakteristika vstupních dat	Zatížení		Odolnost		Kombinace	Zatížitelnost [t]		
	Stálé $\gamma_G$	Užitné $\gamma_Q$	Beton $\gamma_C$	Výztuž $\gamma_S$		$V_n$	$V_r$	$V_e$
ČSN EN pro navrhování, geometrie podle projektu	1,35	1,35	1,5	1,15	6.10a	<b>35,5</b>	<b>151,5</b>	<b>215,7</b>
					6.10b	<b>24,5</b>	<b>92,4</b>	<b>133,3</b>
Upřesnění podle zbytkové životnosti a měření geometrie na konstrukci	1,19	1,35	1,26	1,14	6.10a	<b>38,4</b>	<b>189,6</b>	<b>262,4</b>
					6.10b	<b>26,2</b>	<b>117,3</b>	<b>165,1</b>
Zohlednění výsledků experimentálních zkoušek	1,15	1,35	1,13	1,12	6.10a	<b>39,5</b>	<b>208,6</b>	<b>289,9</b>
					6.10b	<b>27,1</b>	<b>129,8</b>	<b>187,3</b>

## 9 Seznam použitých zdrojů

### 9.1 Literatura

- [1.1] TOMICA, Vladimír, Andrej SOKOLÍK a Štefan ZEMKO. *Údržba a rekonštrukcia mostov*. Bratislava: Alfa, 1992.
- [1.2] ČSN EN 14630. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Stanovení hloubky zasažení karbonatů v zatvrdlém betonu pomocí fenolftaleinové metody*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [1.3] ČSN EN 12504-2. *Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [1.4] ČSN 73 1373. *Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. ÚNMZ, 2011.
- [1.5] ČSN ISO 13822. *Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2014.
- [1.6] WITZANY, Jiří. *Průzkum a hodnocení stavebně technického stavu panelových domů*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2000. Regenerace panelových domů. ISBN 80-86364-20-8.
- [1.7] CHEN, Wai-Fah a Lian DUAN. *Bridge engineering handbook, second edition: Construction and maintenance*. 2014. ISBN 978-1-4398-5208-8.
- [1.8] ČSN 73 0038. *Hodnocení existujících konstrukcí – doplňující ustanovení pro navrhování*. ÚNMZ, 2014.
- [1.9] HOLICKÝ, Milan. *Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06523-5.
- [1.10] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. 1*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2004.
- [1.11] ČSN 73 1322. *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [1.12] ČSN EN 12504-1. *Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrty – odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2009.
- [1.13] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2009.
- [1.14] ČSN EN 73 6222. *Zatížitelnost mostů pozemních komunikací*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2013.
- [1.15] LITOŠ, Jiří, Pavel RYJÁČEK a ŘEHÁČEK. *I/4 Nerestce, most ev.č. 4-031 - komplexní expertní posouzení stavu: Diagnostický průzkum*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2016.
- [1.16] Pavel RYJÁČEK. *I/4 Nerestce, most ev.č. 4-031 - komplexní expertní posouzení stavu: Závěrečná zpráva*. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 2016.

## 9.2 Internetové zdroje

- [2.1] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLÉ a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí – přednášky* [online]. 2005 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BI52-Diagnostika%20stavebnich%20konstrukci/diagnostika\\_\\_stavebnich\\_\\_konstrukc\\_\\_-\\_\\_diagnostika\\_\\_stavebnich\\_\\_konstrukci.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BI52-Diagnostika%20stavebnich%20konstrukci/diagnostika__stavebnich__konstrukc__-__diagnostika__stavebnich__konstrukci.pdf).
- [2.2] STANISLAV, Štěpán. Možnosti umístění sond na konstrukci [obrázek]. In: *Využití ultrazvukové metody při diagnostice betonových konstrukcí* [online]. Brno, 2012, obr. 3, s. 13 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/17682>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Petr Cikrle.
- [2.3] CIKRLÉ, Petr. *Nedestruktivní metody zkoušení železobetonových konstrukcí* [online] Praha, 2014 [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://www.betonuniversity.cz/stahnout-soubor?id=1671>.
- [2.4] *Schmidtovo kladívko*. Ebeton [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/schmidtovo-kladivko>.
- [2.5] *Zkoušky povrchové přidrženosti, odtrhové zkoušky materiálů*. [online] [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/CI57/odtrhove%20zkousky,%20kotveni.pdf>. VUT v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebnictví.
- [2.6] CIKRLÉ, Petr, Dalibor KOCÁB a Ondřej POSPÍCHAL. ZKOUŠENÍ BETONU ULTRAZVUKOVOU IMPULSOVOU METODOU. *BETON TKS* [online]. 2013(3), 74-79 [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2013-3-74\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2013-3-74_0.pdf).
- [2.7] *Elektromagnetické indikátory výztuže* [online]. [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: [http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/2016/ESF\\_C5a\\_2016\\_Navod.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/2016/ESF_C5a_2016_Navod.pdf). Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavebního zkušebnictví.
- [2.8] Schmidtovo kladívko [online]. In: *Material testing equipment / Matest*. [cit. 2019-04-13] Dostupné z [http://www.matest.com/contents/products/4465\\_c383-10-schmidt-hammer.jpg](http://www.matest.com/contents/products/4465_c383-10-schmidt-hammer.jpg).
- [2.9] Concrete Radiography [online]. In: *Engineering & Inspections*. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z <http://www.eihawaii.com/wp-content/uploads/2016/07/Concrete-Inspection.jpg>.
- [2.10] Mapa okolí mostu. [online]. In: *Mapy.cz*. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=14.0658474&y=49.4970308&z=15>.
- [2.11] PELTÁN, David. Most u obce Nerestce. In: *IDNES.cz* [online]. 30. listopadu 2018 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: [https://1gr.cz/fotky/idnes/18/114/r7/MCB77b170\\_\\_mosty2.jpg](https://1gr.cz/fotky/idnes/18/114/r7/MCB77b170__mosty2.jpg).
- [2.12] KELLY, Barry a Paul MURPHY. Top of test specimen C1, test surface of C1 after 28 freeze-thaw cycles [foto]. In: *Prediction of Freeze-thaw Resistance of Concrete. Ecocem Next Generation Cements / Ecocem*. [online]. 2010, obr. 4.6 a 4.7, s. 35 [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: [https://www.ecocem.ie/wp-content/uploads/2016/08/ECL003\\_FYP\\_report\\_Freeze\\_thaw.pdf](https://www.ecocem.ie/wp-content/uploads/2016/08/ECL003_FYP_report_Freeze_thaw.pdf).

Bakalářská práce. SCHOOL OF ARCHITECTURE, LANDSCAPE AND CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY COLLEGE DUBLIN. Vedoucí práce Dr. Ciaran McNally.

- [2.13] MEDEIROS, M.H.F., J. Hoppe FILHO a P. HELENE. Colorimetric method being applied [foto]. In: Influence of the slice position on chloride migration tests for concrete in marine conditions. *Marine Structures* [online]. 2009, 22(2), obr. 4, s. 132 [cit. 2019-05-25]. DOI: 10.1016/j.marstruc.2008.09.003. ISSN 09518339. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095183390800049X>



## 10 Seznam obrázků

Obr. 1: Fenolftaleinová zkouška úrovně karbonatace betonu na jádrových vývrtech [1.15] .....	14
Obr. 2: Zjišťování chloridů v betonu [2.13] .....	15
Obr. 3: Povrch betonového vzorku před zkouškou mrazuvzdornosti (a) a po 28 zmrazovacích cyklech (b) [2.12] .....	15
Obr. 4: Odrazový tvrdoměr Proceq SilverSchmidt Type N [2.8] .....	16
Obr. 5: Možnost umístění sond na konstrukci [2.2] .....	18
Obr. 6: Odrazová metoda s jednou a dvěma sondami .....	18
Obr. 7: Odebrané a upravené jádrové vývrty pro zkoušku v tlaku [1.15] .....	21
Obr. 8: Odtrhová zkouška .....	22
Obr. 9: Princip měření pomocí sondy s feromagnetickým jádrem (A) a sondy s pulsně – indukční technologií (B) [2.7] .....	24
Obr. 10: Radiogram výztuže [2.9] .....	25
Obr. 11: Znázornění hustot pravděpodobností pro účinky zatížení a odolnost konstrukce uvažované jako náhodné veličiny, návrhových a charakteristických hodnot a dílčích součinitelů [1.8] .....	29
Obr. 12: Pohled na most [2.11] .....	36
Obr. 13: Mapa okolí mostu [2.10] .....	36
Obr. 14: Schéma půdorysu, pohledu a příčného řezu .....	39
Obr. 15: Hlavní podélná výztuž u spodního líce oblouku (O1, O2, O12, O13) [1.15] ....	41
Obr. 16: Hlavní podélná výztuž u spodního líce oblouku (O3-O6, O8-O11) [1.15] .....	41
Obr. 17: Hlavní podélná výztuž u spodního líce oblouku (O7) [1.15] .....	41
Obr. 18: Hlavní podélná výztuž u horního líce oblouku (O1, O13) [1.15] .....	42
Obr. 19: Hlavní podélná výztuž u horního líce oblouku (O2, O12) [1.15] .....	42
Obr. 20: Hlavní podélná výztuž u horního líce oblouku (O3-O6, O8-O11) [1.15] .....	42
Obr. 21: Schéma výpočetního modelu .....	47
Obr. 22: Schéma zatížení ZS12 – chodník + vozovka (88,8 kN/m) .....	48
Obr. 23: Schéma rovnoměrného zatížení chodníků (3,75 kN/m) .....	49
Obr. 24: Schéma vozidel pro stanovení normální zatížitelnosti [1.14] .....	50
Obr. 25: Normální zatížitelnost dle ČSN 73 6222 [1.14] .....	51
Obr. 26: Schéma použitého zatížení .....	52
Obr. 27: Schéma šestnápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti $V_r$ [1.14] .....	53
Obr. 28: Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti $V_e$ [1.14] .	54
Obr. 29: Schéma zatížení rovnoměrným oteplením konstrukce (31,50 °C) .....	55
Obr. 30: Schéma zatížení rovnoměrným ochlazením konstrukce (-36,00 °C) .....	55

Obr. 31: Stanovení zatížitelnosti pomocí interakčního diagramu .....	57
Obr. 32: Porovnání normální zatížitelnosti dle ČSN stanovené podle 6.10a a 6.10b..	61
Obr. 33: Porovnání výhradní zatížitelnosti dle ČSN stanovené podle 6.10a a 6.10b..	62
Obr. 34: Porovnání výjimečné zatížitelnosti dle ČSN stanovené podle 6.10a a 6.10b	62
Obr. 35: Porovnání normální zatížitelnosti dle měření geometrie stanovené podle 6.10a a 6.10b.....	67
Obr. 36: Porovnání výhradní zatížitelnosti dle měření geometrie stanovené podle 6.10a a 6.10b.....	67
Obr. 37: Porovnání výjimečné zatížitelnosti dle měření geometrie stanovené podle 6.10a a 6.10b.....	67
Obr. 38: Porovnání normální zatížitelnosti dle exp. zkoušek stanovené podle 6.10a a 6.10b.....	72
Obr. 39: Porovnání výhradní zatížitelnosti dle exp. zkoušek stanovené podle 6.10a a 6.10b .....	72
Obr. 40: Porovnání výjimečné zatížitelnosti dle exp. zkoušek stanovené podle 6.10a a 6.10b.....	73
Obr. 41: Porovnání normální zatížitelnosti stanovené podle 6.10a .....	74
Obr. 42: Porovnání výhradní zatížitelnosti stanovené podle 6.10a.....	74
Obr. 43: Porovnání výjimečné zatížitelnosti stanovené podle 6.10a .....	75
Obr. 44: Porovnání normální zatížitelnosti stanovené podle 6.10b.....	75
Obr. 45: Porovnání výhradní zatížitelnosti stanovené podle 6.10b .....	76
Obr. 46: Porovnání výjimečné zatížitelnosti stanovené podle 6.10b .....	76

## 11 Seznam tabulek

Tab. 1: Odhad kvality betonu na základě rychlosti šíření signálu [2.6].....	20
Tab. 2: Hloubka průniku radiografických metod [1.7] .....	25
Tab. 3: Součinitel $k_{n,G}$ pro stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení na základě počtu odebraných vzorků [1.8].....	26
Tab. 4: Součinitele $k_{n,X}$ pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty) [1.8] .	27
Tab. 5: Hodnoty $k_{d,n}$ pro návrhové hodnoty v mezních stavech únosní [1.10].....	28
Tab. 6: Vztah mezi $P_f$ a $\beta$ [1.9].....	30
Tab. 7: Směrné úrovně spolehlivosti podle ČSN EN 13822.....	30
Tab. 8: Směrné hodnoty indexu spolehlivosti $\beta$ podle ČSN EN 1990 (2002) .....	31
Tab. 9: Informativní hodnoty variačních koeficientů pro beton a betonářskou výztuž [1.8].....	33
Tab. 10 Naměřené pevnosti betonu v tlaku [1.15].....	40
Tab. 11: Výztuž změřená při horním a dolním líci oblouku použitá ve výpočtu [1.15] .....	40
Tab. 12: Dílčí součinitele pro jednotlivé parametry odolnosti a zatížení.....	46
Tab. 13: Rozhodující vnitřní síly a stanovená zatížitelnost podle ČSN.....	57
Tab. 14: Výsledné hodnoty zatížitelnosti dle ČSN.....	62
Tab. 15: Rozhodující vnitřní síly a stanovená zatížitelnost podle měření geometrie	63
Tab. 16: Výsledné hodnoty zatížitelnosti dle měření geometrie.....	68
Tab. 17: Rozhodující vnitřní síly a stanovená zatížitelnost dle experimentálních zkoušek.....	68
Tab. 18: Výsledné hodnoty zatížitelnosti dle exp. zkoušek .....	73
Tab. 19: Porovnání výsledků zatížitelnosti podle úrovně znalostí o konstrukci.....	77

## 12 Seznam použitých symbolů

$v_L$	rychlost šíření impulzů ultrazvukového vlnění [km/s]
$v_{L3}$	impulzová rychlost podélného UZ vlnění v trojrozměrném prostředí [km/s]
$k$	součinitel rozměrnosti
$k_{n,G}$	součinitel pro stanovení charakteristické hodnoty stálého zatížení
$k_{n,X}$	součinitel pro stanovení 5 % kvantilu
$f_c$	pevnost betonu [MPa]
$f_{ck}$	charakteristická pevnost betonu [MPa]
$f_{cd}$	návrhová pevnost betonu [MPa]
$f_{yk}$	charakteristická mez kluzu výztuže [MPa]
$f_{yd}$	návrhová mez kluzu výztuže [MPa]
$c_{yk}$	charakteristická hodnota krytí výztuže [mm]
$c_{yd}$	návrhová hodnota krytí výztuže [mm]
$F$	maximální zatížení při porušení [N]
$A_c$	průřezová plocha zkušebního tělesa [mm <sup>2</sup> ]
$A$	velikost plochy průřezu v místě roztržení [mm <sup>2</sup> ]
$m_G$	průměr stálé zatížení
$m_X$	průměr materiálové vlastnosti
$s_G$	směrodatná odchylka stálého zatížení
$s_X$	směrodatná odchylka materiálové vlastnosti
$G$	stálé zatížení
$G_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení
$n$	počet vzorků
$X$	materiálová vlastnost
$X_d$	návrhová hodnota vlastnosti materiálu
$X_k$	charakteristická hodnota vlastnosti materiálu
$E_{cu}$	hodnota dynamického modulu pružnosti [MPa]
$E$	účinek zatížení
$E_k$	charakteristický účinek zatížení
$E_d$	návrhový účinek zatížení
$R$	odolnost konstrukce
$R_k$	charakteristická odolnost
$R_d$	návrhová odolnost
$u_p$	p kvantil normalizované náhodné veličiny se stejným rozdělením jako má veličina X
$V_X$	variační koeficient materiálové vlastnosti
$V_G$	variační koeficient stálého zatížení
$V_R$	variační koeficient celkové odolnosti
$V_{geo}$	variační koeficient geometrických vlastností
$V_{Xc}$	variační koeficient pevnosti betonu

$V_{Xy}$	.....	variační koeficient vlastnosti betonářské výztuže
$V_{Rc}$	.....	variační koeficient celkové odolnosti betonu
$V_{Ry}$	.....	variační koeficient celkové odolnosti betonářské výztuže
$V_{\xi}$	.....	variační koeficient modelových nejistot
$V_n$	.....	normální zatížitelnost
$V_r$	.....	výhradní zatížitelnost
$V_e$	.....	výjimečná zatížitelnost
$P_f$	.....	pravděpodobnost poruchy
$M_{Gk,j}$	.....	charakteristická hodnota ohybového momentu od j-tého zatížení stálého
$M_{Vk,c}$	.....	charakteristická hodnota ohybového momentu od proměnného zatížení dopravou odpovídajícího hledané zatížitelnosti mostu
$M_{Qk,i}$	.....	charakteristická hodnota ohybového momentu od i-tého (vedlejšího) proměnného zatížení
$\rho$	.....	objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]
$\Phi$	.....	normovaná normální distribuční funkce
$\beta$	.....	index spolehlivosti
$\gamma_{Rd}$	.....	součinitel zahrnující nejistoty modelu odolnosti včetně geometrických odchylek
$\gamma_x$	.....	dílčí součinitel pro pevnosti materiálu
$\gamma_m$	.....	dílčí součinitel vlastnosti materiálu
$\gamma_Q$	.....	dílčí součinitel proměnného zatížení
$\gamma_G$	.....	dílčí součinitel stálého zatížení
$\gamma_{sd}$	.....	dílčí součinitel modelových nejistot
$\gamma_{G,inf}$	.....	dílčí součinitel stálého zatížení působícího příznivě
$\gamma_{G,sup}$	.....	dílčí součinitel stálého zatížení působícího nepříznivě
$\gamma_c$	.....	dílčí součinitel betonu
$\gamma_s$	.....	dílčí součinitel betonářské výztuže
$\gamma_V$	.....	součinitel uvažovaného proměnného zatížení dopravou pro stanovení zatížitelnosti mostu
$\kappa_u$	.....	zmenšovací součinitel
$\mu_G$	.....	průměr stálého zatížení
$\mu_x$	.....	průměr pevnosti nebo jiné vlastnosti materiálu
$\sigma_G$	.....	směrodatná odchylka stálého zatížení
$\alpha_R$	.....	součinitel citlivosti
$\alpha_G$	.....	součinitel citlivosti pro stálé zatížení
$\eta_d$	.....	návrhová hodnota převodního součinitele
$\delta$	.....	dynamický součinitel
$\psi_{0,1}$	.....	součinitel kombinace pro stanovení zatížitelnosti
$\xi$	.....	redukční součinitel pro stálá zatížení.