



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

## NÁVRH BETONOVÉHO MOSTU K ROZVODNĚ ČEZ

DESIGN OF A CONCRETE BRIDGE TO THE ČEZ SUBSTATION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Erik Pohůnek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

BRNO 2024

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí  
Student: **Erik Pohůnek**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.**  
Akademický rok: 2023/24  
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Návrh betonového mostu k rozvodně ČEZ

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh mostu zpracujte na základě předaných podkladů, tj. situace, příčný a podélný řez a geotechnické poměry. Příčné uspořádání převáděné komunikace zachovejte. Ostatní úpravy lze provádět podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

### Cíle a výstupy bakalářské práce:

Cílem práce je pro zadaný most podrobně navrhnout všechny části jeho nosné konstrukce. Pro zadaný problém navrhnout dvě až tři studie řešení a zhodnotit je. Vypracovat podrobný statický výpočet nosné konstrukce vybrané studie mostu podle mezních stavů.

Zpracovat v rámci výkresové dokumentace dispoziční výkresy, výkresy výztuže počítaných částí konstrukce a minimálně jeden detail, vizualizaci.

### Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní a technickou zprávu)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a studie řešení

P2. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím práce – výkresy přehledné, podrobné a detaily, stavební postup a vizualizace).

P3. Statický výpočet (podrobný statický výpočet nosné konstrukce metodou mezních stavů podle platných předpisů a norem v rozsahu určeném vedoucím práce)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě .

## **Seznam doporučené literatury a podklady:**

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez.

Základní normy:

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím práce.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2023

L. S.

---

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.  
vedoucí ústavu

---

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.  
vedoucí práce

---

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.  
děkan

## ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je návrh železobetonového mostu na základě předaných podkladů. Cílem je návrh a zhodnocení dvou variant, z nichž je nejvhodnější varianta vybrána a podrobně zpracována. Vybraná nosná konstrukce je navržena jako železobetonový monolitický rám. Vnitřní síly od působícího zatížení jsou vypočítány pomocí programu Scia Engineer 20.0. Nosná konstrukce je posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Dimenzování a posouzení jednotlivých částí nosné konstrukce je provedeno dle platných Eurokódů

## KLÍČOVÁ SLOVA

Železobetonový most, zatížení, železobetonový monolitický rám, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti, Eurokód

## ABSTRACT

The subject of this bachelor's thesis is the design of a reinforced concrete bridge based on the submitted documents. The goal is the design and evaluation of two variants, from which the most suitable variant is selected and processed in detail. The selected supporting structure is designed as a reinforced concrete monolithic frame. The internal forces from the applied load are calculated using the Scia Engineer 20.0 program. The load-bearing structure is assessed for the limit state of load-bearing capacity and the limit state of usability. Dimensioning and assessment of individual parts of the supporting structure is carried out according to valid Eurocodes

## KEYWORDS

Reinforced concrete bridge, load, reinforced concrete monolithic frame, ultimate limit state, serviceability state, Eurocode

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POHŮNEK, Erik. *Návrh betonového mostu k rozvodně ČEZ*. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané práce s názvem *Návrh betonového mostu k rozvodně ČEZ* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2024

---

Erik Pohůnek

autor

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh betonového mostu k rozvodně ČEZ* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2024

---

Erik Pohůnek

autor

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji svému vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Miloši Zichovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, ochotu, cenné rady a čas, který mi věnoval v průběhu konzultací bakalářské práce.

## Obsah

1. Úvod .....	11
2. Studie návrhu přemostění .....	11
2.1 Studie návrhu č.1 .....	12
2.1 Studie návrhu č.2 .....	13
3. Základní údaje o stavbě .....	14
3.1 Základní údaje navrženého mostu .....	14
3.2 Popis navrženého řešení .....	14
3.2.1 Základy mostních podpěr a křídel .....	14
3.2.2 Mostní podpěry a křídla .....	15
3.2.3 Nosná konstrukce .....	15
3.2.4 Mostní svršek .....	15
3.2.5 Odvodnění mostu .....	15
3.2.6 Mostní vybavení .....	15
3.2.7 Cizí zařízení .....	15
3.2.8 Území pod mostem .....	15
4. Terénní úpravy .....	16
5. Dopravní řešení .....	16
6. Popis vlivů stavby na životní prostředí a jeho ochrana .....	16
7. Postup výstavby .....	16
8. Hlavní nosná konstrukce mostu .....	17
8.1 Geometrie hlavní nosné konstrukce mostu .....	17
8.1.1 Příčné řešení mostu .....	17
8.1.2 Podélné řešení mostu .....	18
8.2 Pružné vetknutí .....	19
8.3 Zatížení působící na nosnou konstrukci .....	19
8.3.1 Stálé zatížení .....	19
8.3.2 Proměnné zatížení .....	20
8.4 Výpočtové modely rámového mostu .....	23
8.4.1 Prutový model .....	24
8.4.2 Deskostěnový model .....	25
8.5 Výsledné vnitřní síly na konstrukci .....	26
8.6 Posouzení na mezní stavy .....	26
8.6.1 Vstupní údaje použitých materiálů .....	26
8.6.2 Mezní stav únosnosti .....	27

8.6.3 Mezní stav použitelnosti .....	27
9. Závěr .....	28
10. Seznam obrázků.....	29
11. Seznam tabulek .....	29
12. Seznam použité literatury .....	30
13. Seznam příloh .....	31

## 1. Úvod

Úkolem této bakalářské práce je návrh železobetonového mostu k rozvodně ČEZ. Geometrie mostu byla získána z podkladů předložených vedoucím bakalářské práce. Jedná se o rámovou konstrukci železobetonového mostu, která slouží k převedení místní komunikace nad místním potokem. Předmětem dokumentace je nahrazení stávající nevyhovující konstrukce mostu za nově navržený most jako železobetonový rám.

Most se nachází ve městě Šumperk na severu Moravy v Olomouckém kraji. Přesnější lokalizací umístění objektu je ulice Příčná.

Pro daný mostní objekt jsou zpracovány navíc dvě varianty přemostění. Vybrána byla varianta, která odpovídá podkladům předloženým k bakalářské práci. Tato varianta je podrobněji zpracována.

Pro vybranou variantu nosné konstrukce jsou zhotoveny výkresy tvaru konstrukce, vizualizace a statický výpočet.

Pro návrh a dimenzování konstrukce mostu jsou vytvořeny dva statické modely. Jedná se o prutový a deskostěnový model. Prutový model je vytvořen pouze za účelem kontroly a porovnání výsledků s deskostěnovým modelem. Pro zpřesnění výsledků na konstrukci od jednotlivých zatěžovacích stavů byl vybrán deskostěnový model. Oba modely byly zatíženy dle současné platné normy ČSN EN 1991-2. Návrh a posouzení rámové konstrukce je proveden v samostatné příloze P.3. Statický výpočet.

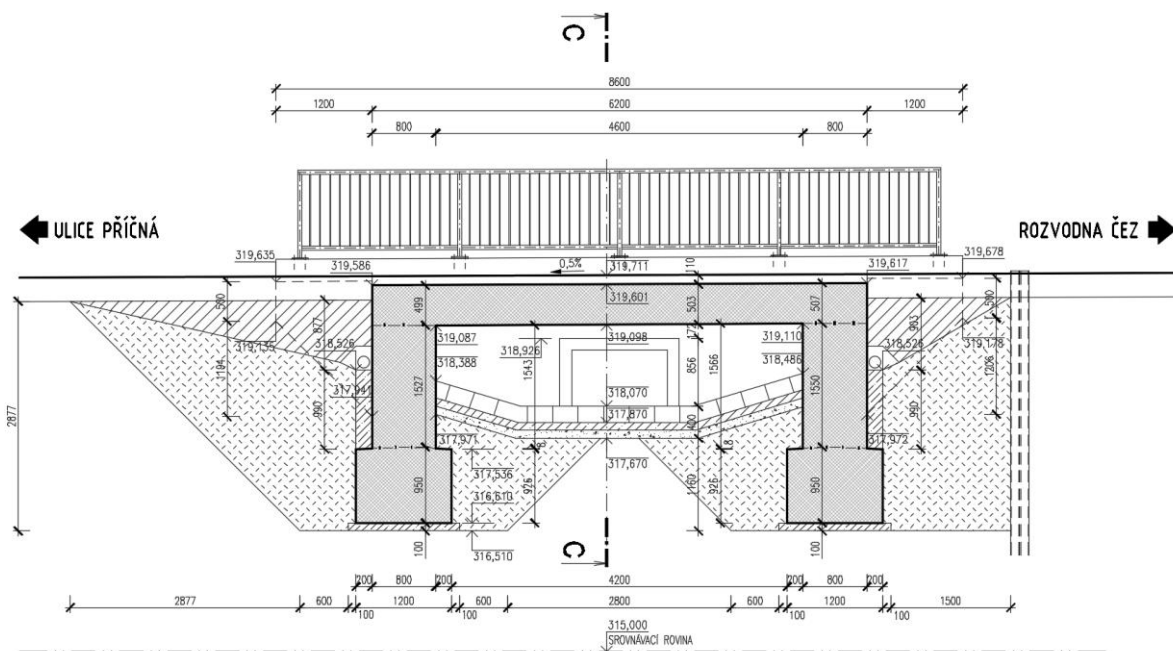
Součástí stavby mostu k rozvodně ČEZ je dále stavba opěrné zdi související se zatrubněním místního potoku ve vyšetřované lokalitě. Objekt opěrné zdi není předmětem této bakalářské práce.

## 2. Studie návrhu přemostění

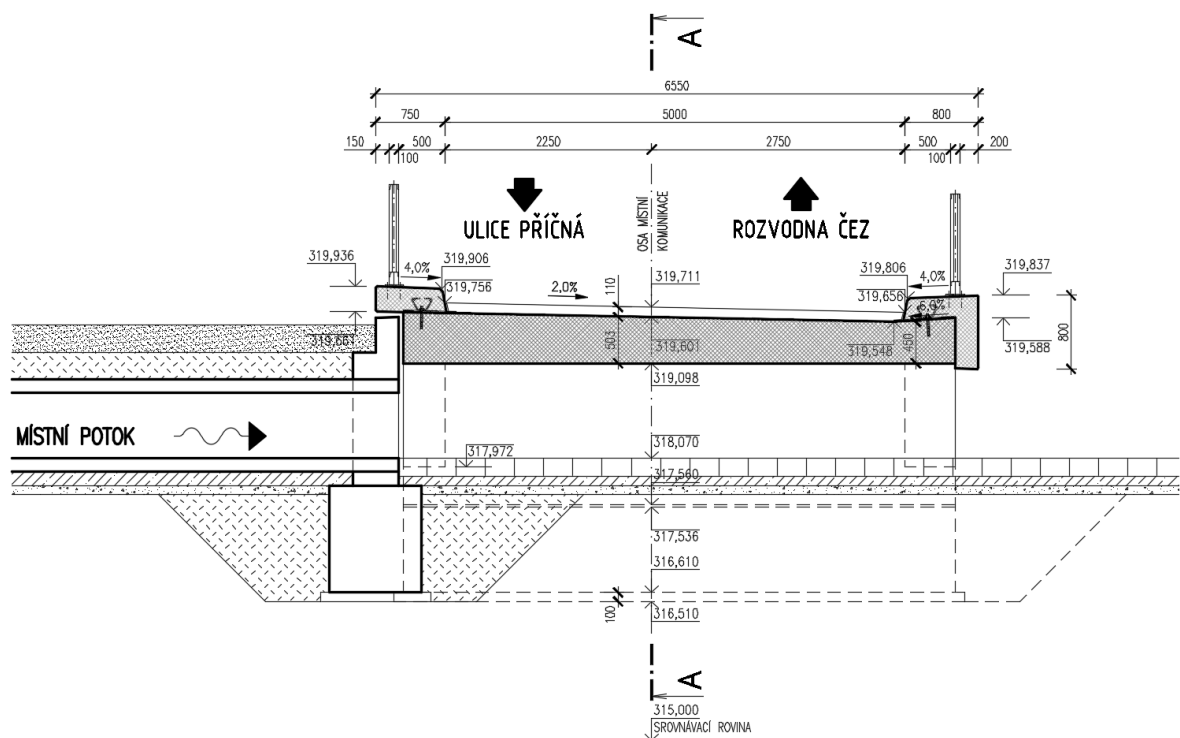
V rámci bakalářské práce byly zpracovány celkem dvě varianty konstrukce přemostění. V obou variantách byla dodržena celková délka mostu výška nivelety a podélný sklon 0,5 %.

Nejvhodnější variantou byla vyhodnocena studie návrhu č.1. Pro tuto variantu jsou dále podrobně zpracovány ostatní přílohy bakalářské práce.

## 2.1 Studie návrhu č.1



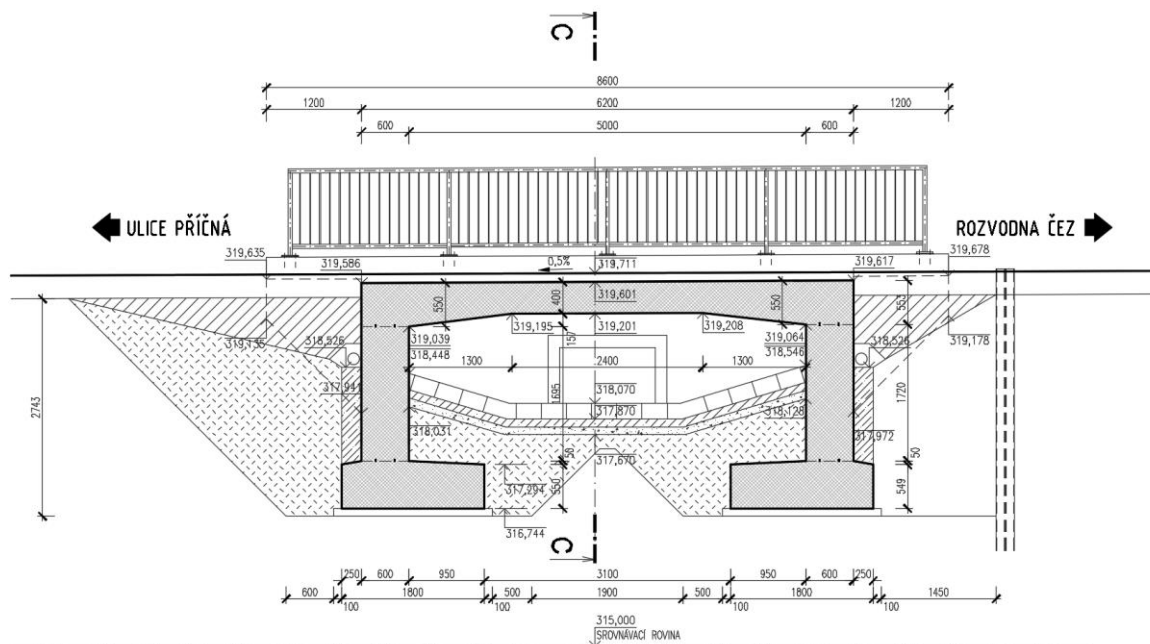
Obrázek 1: Podélný řez A-A studie návrhu č.1



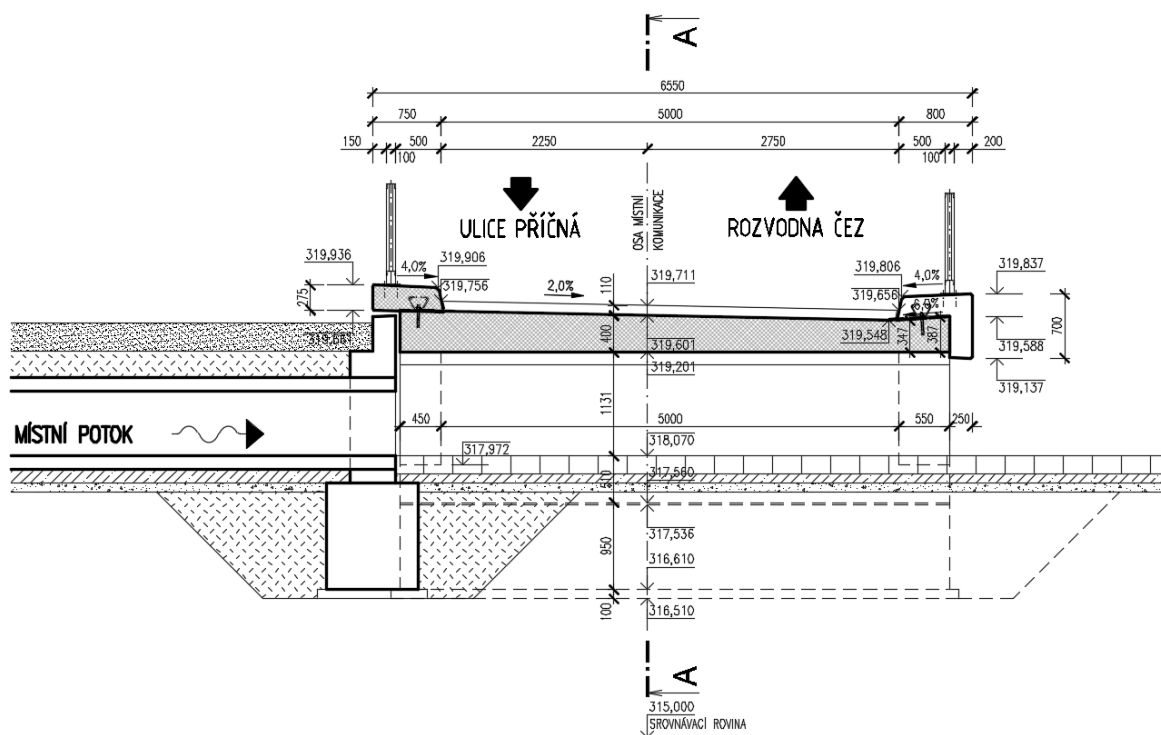
Obrázek 2: Příčný řez C-C studie návrhu č.1

Prvním návrhem byl návrh konstrukce dle předložených podkladů. Jedná se o monolitickou železobetonovou rámovou konstrukci. Hlavní výhodou, ke které bylo ve výběru variant přihlédnuto je rychlost výstavby vlivem jednoduchosti konstrukce. Podrobnější popis konstrukce je uveden v bodě 3. Základní údaje o stavbě.

## 2.1 Studie návrhu č.2



Obrázek 3: Podélný řez A-A studie návrhu č.2



Obrázek 4: Příčný řez C-C studie návrhu č.2

Druhou variantou byl návrh monolitické železobetonové rámové konstrukce. Oproti první variantě byly nosné prvky konstrukce nahrazeny prvky štíhlejších rozměrů. Ve spodní hraně nosné konstrukce mostovky byly navrženy v místě rámového rohu náběhy. Vlivem štíhlosti mostních opěr byl zvýšen průtočný profil mostu, což se později ukázalo, že vzhledem k hydrotechnickým poměrům v dané lokalitě není rozhodující pro výběr variant. Vzhledem

k jednoduchosti a rychlosti stavebních prací při realizaci mostní konstrukce, byla tato varianta zamítnuta.

### 3. Základní údaje o stavbě

Stavba mostu bude sloužit jako trvalá stavba pro převedení silniční a pěší dopravy přes vodní tok k objektu rozvodny ČEZ. Navržené řešení mostu vychází z prostorových možností lokality a z napojení na stávající dopravní infrastrukturu ve vyšetřované lokalitě.

Novostavba mostu je navržena jako monolitický železobetonový rám. Mostní objekt plynule navazuje na komunikaci před a za mostem. Rámové stojky jsou založeny za břehovými hranami. Na mostě jsou navrženy železobetonové římsy. Na římsách je uloženo ocelové zábradlí se svislou výplní výšky 1,1 m.

#### 3.1 Základní údaje navrženého mostu

Délka nosné konstrukce mostu:	6,20 m
Celková šířka:	6,55 m
Plocha mostu:	47,33 m
Délka přemostění:	4,60 m
Šířka mezi zábradlími:	6,00 m
Stavební výška:	0,56 – 0,663 m
Výška nad terénem:	1,03 m
Výška nad hladinou:	-
Hloubka vody:	-
Délka mostu:	8,60 m
Šířka mezi obrubami:	5,00 m
Plocha vozovky:	63,47 m
Volná šířka:	6,00 m
Šikmost:	90°
Označení šikmosti:	kolmá
Celkový počet polí:	1

#### 3.2 Popis navrženého řešení

##### 3.2.1 Základy mostních podpěr a křídel

Rámová konstrukce mostu je založena na plošných základech. Základ je vysoký 0,95 m. Šířka základu je 1,20 m a délka 6,00 m. Základy jsou navrženy jako železobetonové plošné z betonu C25/30 XC2, XA2. Vzhledem k tomu, že se jedná o konstrukci integrovaného mostu s nízkými opěrami, který je citlivý na jakékoliv deformace a rovněž na zatížení od teploty, je potřeba založení navrhnout pomocí pružinového modelu.

### 3.2.2 Mostní podpěry a křídla

Půdorysné rozměry rámových stojek jsou 0,80 x 6,00 m a jsou navrženy jako železobetonové tloušťky 800 mm z betonu C30/37 XC4, XF2, XD2. Navazující křídla jsou navrženy jako železobetonové z betonu C30/37 XC4, XF2, XD2. Na návodní straně mostu mají mostní křídla tloušťku 450 mm a na povodní straně mostu mají tloušťku 550 mm.

### 3.2.3 Nosná konstrukce

Rámová příčel je navržena jako železobetonová monolitická s vyspádováním do úžlabí se sklonem o hodnotě 2,0 % a 6,0 %. Tloušťka mostovky v nejnižším místě v úžlabí je 0,49 m. Největší tloušťka mostovky je 0,557 m. Materiálem je beton C30/37 XC4, XF2, XD2. Šířka nosné konstrukce mostovky je 6,0 m a je navržena tak, aby volná šířka mostu mezi římsami byla 5,0 m. V tomto průjezdném profilu je uvažován jeden jízdní pruh a s tím střídavý provoz zajištěn pomocí silničního dopravního značení.

### 3.2.4 Mostní svršek

Vozovka je navržena jako živičná z ACO.

#### Skladba konstrukce vozovky:

- Asfaltobetonová obrusná vrstva      ACO    40 mm
- Spojovací postřik                      PS-E   40 kg/m<sup>2</sup>
- Asfaltobetonová ložná vrstva        ACL    60 mm
- Asfaltový izolační pás                AIP    10 mm
- Asfaltový penetrační nátěr
- Železobetonová deska

Izolace je navržena celoplošně. Mostní římsy jsou navrženy železobetonové monolitické z betonu C30/37 XF4, XD3. Na návodní straně mostu je umístěna římsa o šířce 0,75 m a na povodní straně mostu je hodnota šířky římsy 0,8 m. Zálivky jsou navrženy z modifikovaného asfaltu.

### 3.2.5 Odvodnění mostu

Odvodnění je zajištěno podélným a příčným sklonem mostovky a vozovky na mostě. Příčný sklon je zvolen jako jednostranný o hodnotě 2,5 %. Podélný sklon má hodnotu 0,5 %.

### 3.2.6 Mostní vybavení

Zábradlí na mostě je ocelové se svislou výplní výšky 1,1 m, přičemž světlá vzdálenost výplně je 0,12 m. Kotvení zábradlí k mostní římsě je zajištěno pomocí chemických kotev přes kotevní desky.

### 3.2.7 Cizí zařízení

Na mostě nejsou žádná cizí zařízení. V blízkosti mostního objektu je umístěna čtečka karet pro zaměstnance rozvodny ČEZ a vstupní brána.

### 3.2.8 Území pod mostem

Pod mostem je navrženo opevnění vodního toku z lomového kamene tloušťky 200 mm kladeného do betonového lože tloušťky 100 mm z betonu C25/30 XF3. Pro navázání na stávající koryto vodního toku za mostem je použita kamenná rovnánina z lomového kamene. Přístup do koryta a pod most je zajištěn po břehu na povodní straně mostu.

## 4. Terénní úpravy

Bude provedena skrývka ornice v tloušťce 150 mm. Půda bude uložena v okolí staveniště a následně zpětně použita po dokončení stavby a pro uvedení pozemku do původního stavu. Přebytečný výkopek bude odvezen na skládku zeminy.

Úpravy svahů za mostem v místě koryta vodního toku jsou navrženy tak, aby nebyly ovlivněny hydrotechnické poměry toku.

## 5. Dopravní řešení

Návrh stavby je proveden s ohledem pro zajištění dopravy a přístupu k rozvodně ČEZ. Stavba bude užívána jako veřejně přístupná komunikace. Opatření pro přístupnost a užívání stavby osobami se sníženou schopností a pohybu nebo orientace není z hlediska charakteru stavby požadováno.

Vzhledem k tomu, že na mostě není předpokládán hustý provoz ale spíše občasný, je pěší a cyklistická doprava zajištěna v profilu vozovky mostu. Most neobsahuje chodníky pro pěší dopravu.

## 6. Popis vlivů stavby na životní prostředí a jeho ochrana

Při provozu se nepředpokládá zvýšení znečištění ovzduší exhalacemi nebo výfukovými plyny.

Po dokončení stavebních prací budou v řešeném území vozidla vyjíždějící ze staveniště uvedena do stavu, aby nedocházelo ke znečištění okolních komunikací vlivem výstavby mostu.

V průběhu stavebních prací nebudou prováděny žádné zemní práce, které by narušily hydrotechnické a odtokové poměry vodního toku.

Odpady vzniklé samotnou výstavbou nebo demolicí stávající konstrukce budou ekologicky likvidovány a odvezeny na patřičné skládky odpadu materiálů.

## 7. Postup výstavby

Stavební práce jsou rozděleny do jednotlivých fází výstavby. Celková doba výstavby je naplánována na 9 měsíců.

### Fáze 1:

V první fázi výstavby bude provedena příprava staveniště, sejmutí orné půdy a její uložení na bezpečné místo v okolí mostu. Později dojde k samotnému odstranění stávající konstrukce mostu a odvezení vzniklých odpadů a stavební suti na patřičné skládky. Po odstranění konstrukce bude provedeno začistění a prohloubení stavební jámy pro nově navrženou konstrukci.

### Fáze 2:

Ve druhé fázi výstavby dojde ke zhotovení podkladního betonu pro základy mostních podpěr. Dále bude provedeno bednění, armování a betonáž plošných základů.

### Fáze 3:

Ve třetí fázi bude zhotoveno bednění a vyztužení rámových stojek a mostních křídel. Následně budou tyto prvky vybetonovány.

#### **Fáze 4:**

Čtvrtá fáze bude spočívat ve zhotovení odvodnění spodní stavby, izolace základů, rubu opěr a křídel. Po dokončení izolace budou postupně stavební jámy zasypávány a hutněny.

#### **Fáze 5:**

V páté fázi dojde ke zhotovení konstrukce rámové příčle a její izolaci.

#### **Fáze 6:**

V předposlední fázi budou na nově vzniklé nosné konstrukci zhotoveny mostní římsy a vozovka v požadovaném spádu a tloušťce.

#### **Fáze 7:**

V poslední fázi bude provedeno osazení mostního zábradlí na římsy, úprava koryta vodního toku a uvedení okolí stavby do původního stavu včetně srovnání terénu, ohumusování a následného vysetí travního porostu. Poslední nezbytnou součástí před uvedením mostu do provozu je osazení dopravního značení a značení s evidenčním číslem mostu.

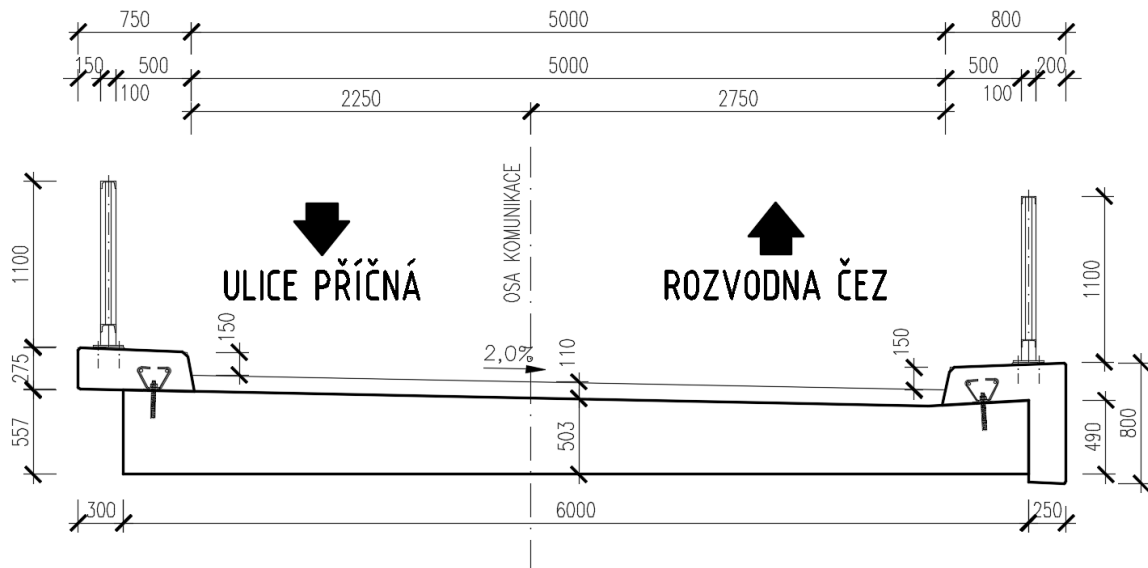
## **8. Hlavní nosná konstrukce mostu**

### **8.1 Geometrie hlavní nosné konstrukce mostu**

#### **8.1.1 Příčné řešení mostu**

Konstrukce mostovky je navržena jako železobetonová monolitická s vyspádováním do úžlabí se sklonem o hodnotě 2,0 % a 6,0 %. Tloušťka mostovky v nejnižším místě v úžlabí je 0,49 m. Největší tloušťka mostovky je 0,557 m.

Šířka nosné konstrukce mostovky je 6,0 m a je navržena tak, aby volná šířka mostu mezi římsami byla 5,0 m. V tomto průjezdném profilu je uvažován jeden jízdní pruh a s tím střídavý provoz zajištěn pomocí silničního dopravního značení. Na mostovce se nachází vozovka o celkové tloušťce 0,11 m. Po stranách mostovky jsou osazeny železobetonové římsy, které mají jednostranný sklon směrem k vozovce o hodnotě 4 %.

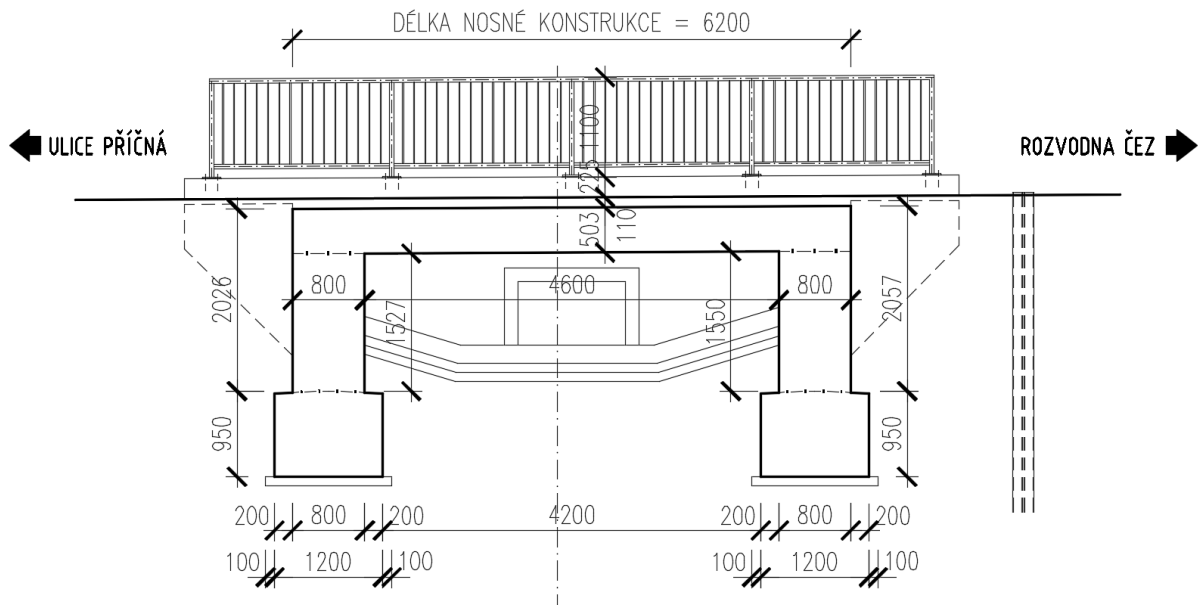


Obrázek 5: Příčný řez mostovky

### 8.1.2 Podélné řešení mostu

Konstrukce mostovky v podélném směru je navržena ve sklonu o hodnotě 0,5 %. Délka nosné konstrukce je 6,20 m. Délka přemostění navrženého mostu je 4,60 m.

Rámové stojky jsou železobetonové monolitické o výšce 1,566 m. Půdorysné rozměry rámových stоек jsou 0,80 x 6,00 m. Výška rámové stojky byla měřena od horní hrany základu po spodní hranu nosné konstrukce.

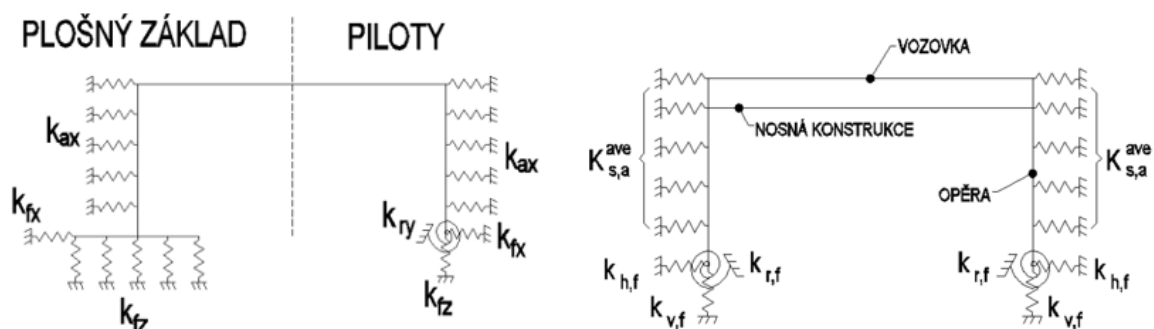


Obrázek 6: Podélný řez nosné rámové konstrukce

## 8.2 Pružné vetknutí

Tuhosti náhradních pružin jsou definovány podle vztahů, které byly stanoveny na základě parametrické studie. Při výpočtu jsou zohledněny různé parametry. Jedná se například o rozměry konstrukce, vlastnosti zeminy v podloží, zatížení, úroveň hladiny podzemní vody a posun konstrukce od zatížení.

Výpočet stanovení tuhosti zemních pružin byl proveden dle postupu v TP 261 – Integrované mosty. [1]



Obrázek 7: Model pružného podepření integrovaného mostu

## 8.3 Zatížení působící na nosnou konstrukci

V samostatné příloze P.3 Statický výpočet bylo uvažováno zatížení stálé, zatížení od dopravy a zatížení od účinků teplot. Zatížení během provádění stavebních prací a ostatní mimořádná zatížení v bakalářské práci nebyla uvažována.

### 8.3.1 Stálé zatížení

Mezi stálé zatížení nosné rámové konstrukce mostu patří vlastní tíha konstrukce. Dále je uvažováno ostatní stálé zatížení od mostních říms, vozovky, izolace a záchytných prvků, které jsou součástí mostu. Zatížení zemním tlakem působící na opěry je také definováno jako stálé zatížení.

#### 8.3.1.1 Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce rámového mostu je automaticky spočítána pomocí výpočetního programu SCIA Engineer. Program vlastní tíhu počítá na základě přiřazených průřezů a charakteristik zadaného materiálu. Dle programu je počítáno s jednotkovou hmotností železobetonu  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

#### 8.3.1.2 Ostatní stálé zatížení

Mezi ostatní stálé zatížení na rámové konstrukci mostu patří mostní římsy, vozovka, izolace nosné konstrukce a záchytné prvky. Jednotlivé prvky byly vykresleny v programu AutoCad a zjištěna tak jejich plocha, která byla použita ve výpočtech zatížení, které jsou uvedeny v samostatné příloze P.3 Statický výpočet.

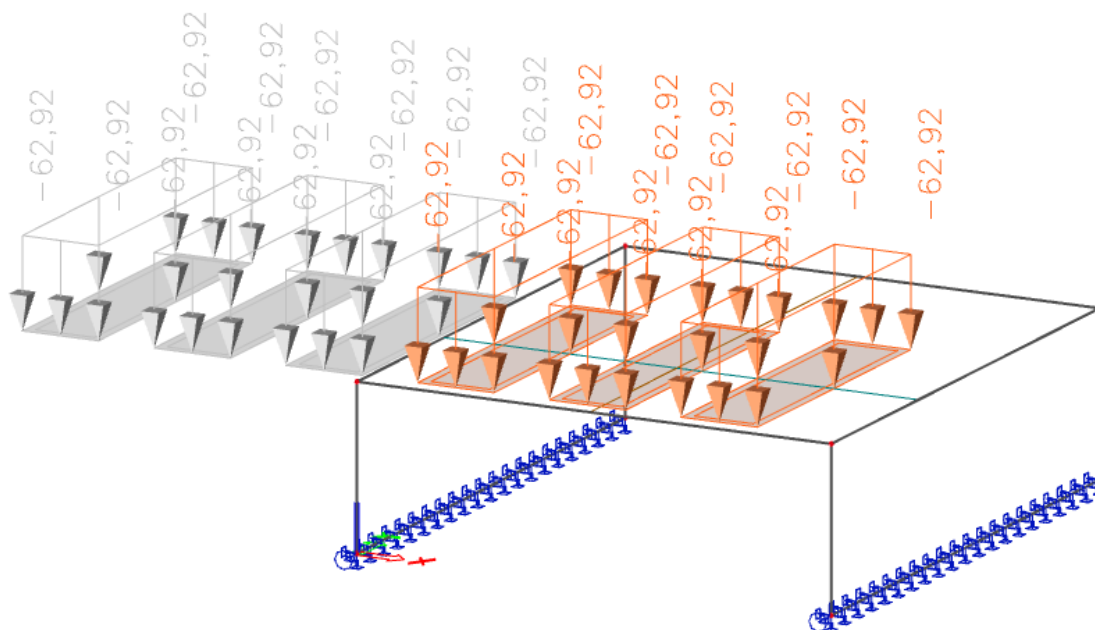
#### 8.3.1.3 Zatížení zemním tlakem

Vybudovaná rámová konstrukce jednopolevého mostu bude po zhotovení zasypána štěrkopískem. Zásypový materiál bude zhutněn. Při výpočtu tlaku z vnější strany od zeminy je uvažováno s klidovým zemním tlakem a výškou 2,07 m. Opěra z vnitřní strany bude přisypána do malé výšky, proto je zemní tlak z vnitřní strany rámové stojky zanedbán.



### 8.3.2.3 Zatížení dopravou od LM3 – zvláštní vozidlo

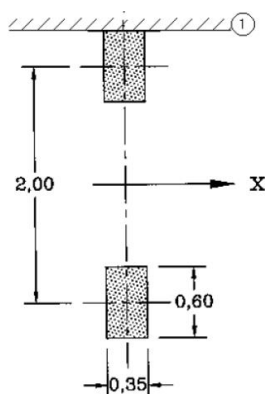
Zatížení zvláštním vozidlem odpovídá sestavě zatížení s označením 900/150. Jedná se celkem o 6 náprav po 150 kN. Celková tíha vozidla je 900 kN.



Obrázek 10: Rozmístění zatížení dopravou od LM3 - zvláštní vozidlo

### 8.3.2.4 Zatížení dopravou od LM2

Model zatížení LM2 je tvořen jednou nápravovou silou  $\beta_Q \cdot Q_{ak}$ , která působí v kterémkoliv místě na vozovce. Pro zjednodušení bylo uvažováno s dotykovou plochou kola jako u LM1 0,4 x 0,4 m.



Obrázek 11: Schéma modelu zatížení LM2

### 8.3.2.5 Zatížení od účinků teplot

Pro výpočet zatížení od teploty byly vstupní hodnoty maximálních a minimálních teplot zjištěny z obrázků z teplotních map (dle ČSN EN 1991-1-5 – zatížení konstrukcí teplotou).[2]

Vstupními hodnoty jsou myšleny minimální teplota vzduchu ve stínu, maximální teplota vzduchu ve stínu a výchozí teplota mostu. Zatížení teplotou je rozděleno na čtyři zatěžovací stavy, které byly postupně vloženy do kombinací. Jedná se o zatěžovací stavy rovnoměrného

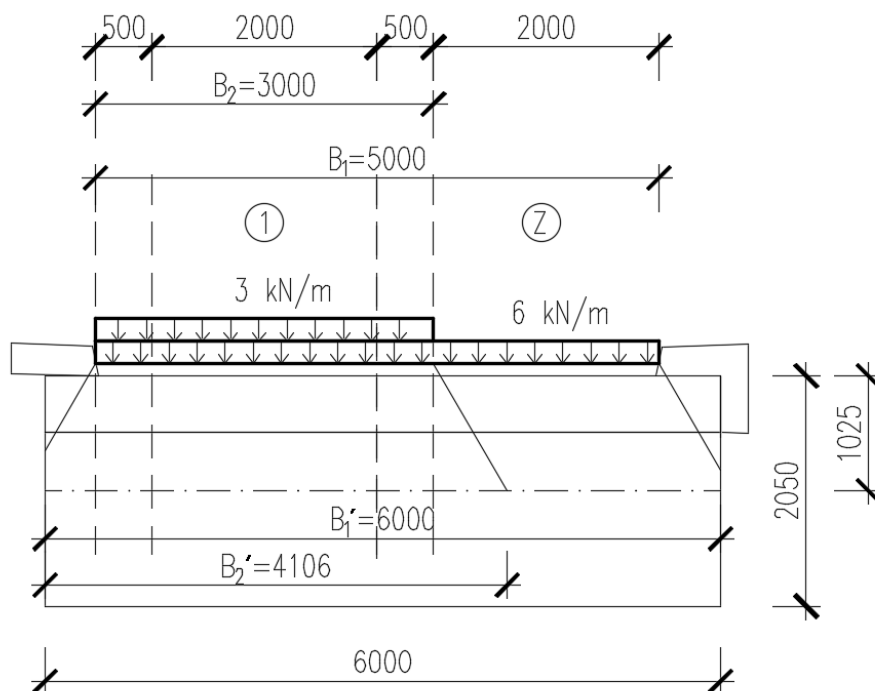
ochlazení konstrukce, rovnoměrného oteplení konstrukce, oteplení horního povrchu mostovky a ochlazení horního povrchu mostovku.

### 8.3.2.6 Přetížení za opěrou od LM1

Zatížení od přetížení za opěrou byl rozdělen na zatížení od UDL a na zatížení od TS.

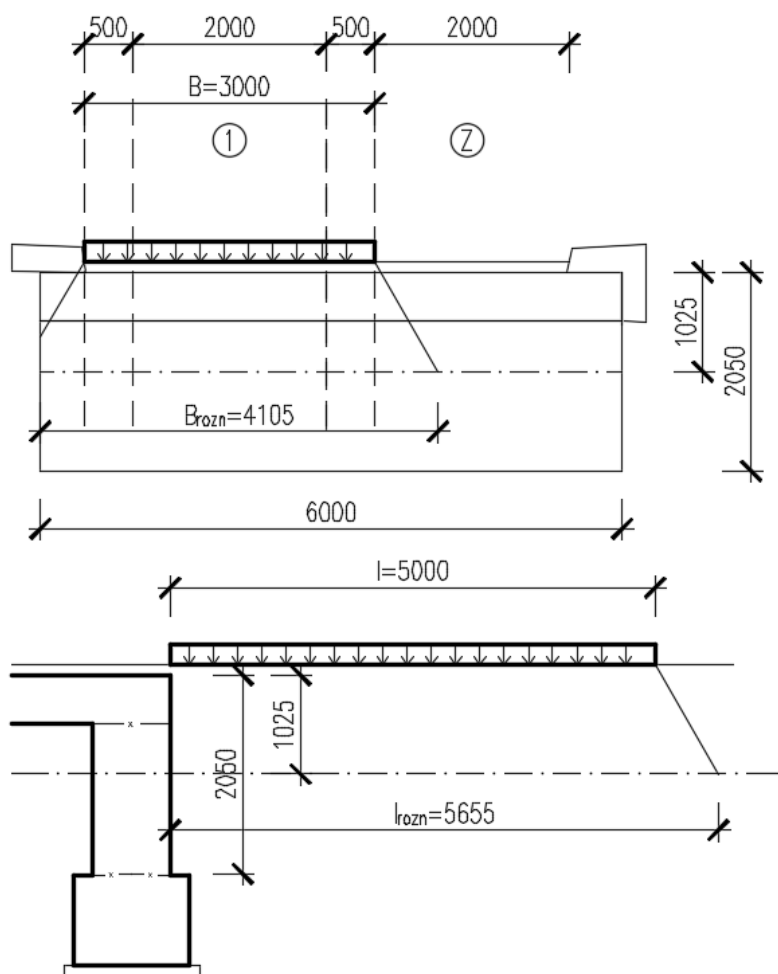
#### Přetížení za opěrou od LM1 – UDL

Hodnota přetížení za opěrou od LM1 byla vyšetřována v místě řezu mezi základem a opěrou



Obrázek 12: Roznos zatížení od přetížení za opěrou od LM1 – UDL

## Přítížení za opěrou od LM1 – TS



Obrázek 13: Roznos zatížení od přítížení za opěrou od LM1 - TS

Podrobný výpočet a rozmístění zatížení od přítížení za opěrou od LM1 je popsán v samostatné příloze P.3 Statický výpočet.

### 8.4 Výpočtové modely rámového mostu

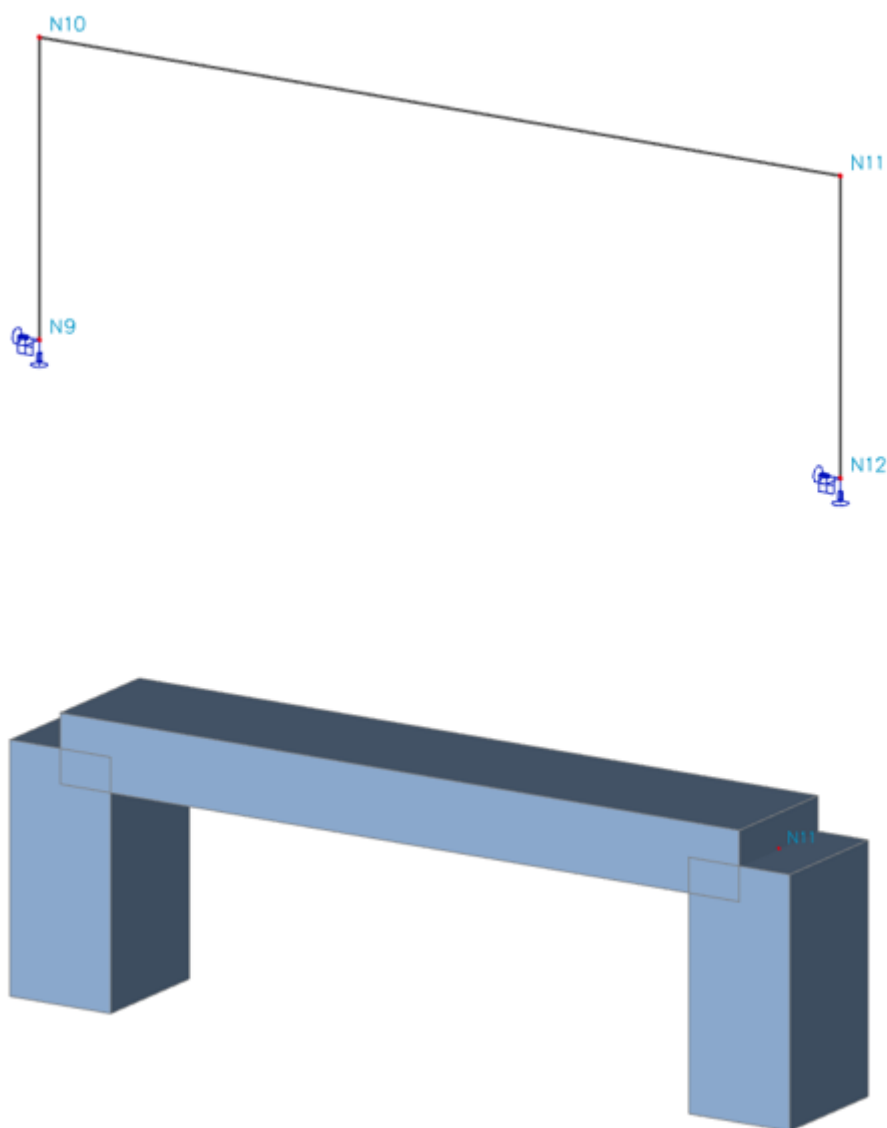
Statický výpočet je vypracován v souvislosti s modely vytvořené v programu SCIA Engineer 20.0. Nejprve byl vytvořen prutový model v rovině X,Z, kterému bylo přiřazeno podepření v podobě pružného vetknutí dle předchozího výpočtu tuhostí zemních pružin.

Dále pro porovnání výsledků a jejich zpřesnění došlo k vymodelování rámové konstrukce mostu pomocí deskostěnového modelu v rovině obecná X,Y,Z. Deskostěnovému modelu bylo také přiřazeno podepření v podobě pružného vetknutí pomocí zemních pružin.

### 8.4.1 Prutový model

Prutový model byl vytvořen pouze pro porovnání výsledků a ověření vnitřních sil vzniklých na rámové konstrukci s později vytvořeným deskostěnovým modelem. Byly porovnány výsledné hodnoty normálových sil, posouvajících sil a ohybových momentů od jednotlivých zatěžovacích stavů na rámové konstrukci.

Prutový model rámové konstrukce je sestaven pomocí dvou svislých prutových prvků a vodorovného prutového prvku. Opěry jsou vymodelovány v tloušťce 0,80 m na šířku 1,00 m. Vodorovná nosná konstrukce má výšku 0,50 m na šířku 1,00 m. Výška nosné konstrukce pro prutový model byla zjištěna zprůměrováním plochy skutečného průřezu (i s vyspádováním nosné konstrukce v příčném směru) nosné konstrukce v příčném řezu.

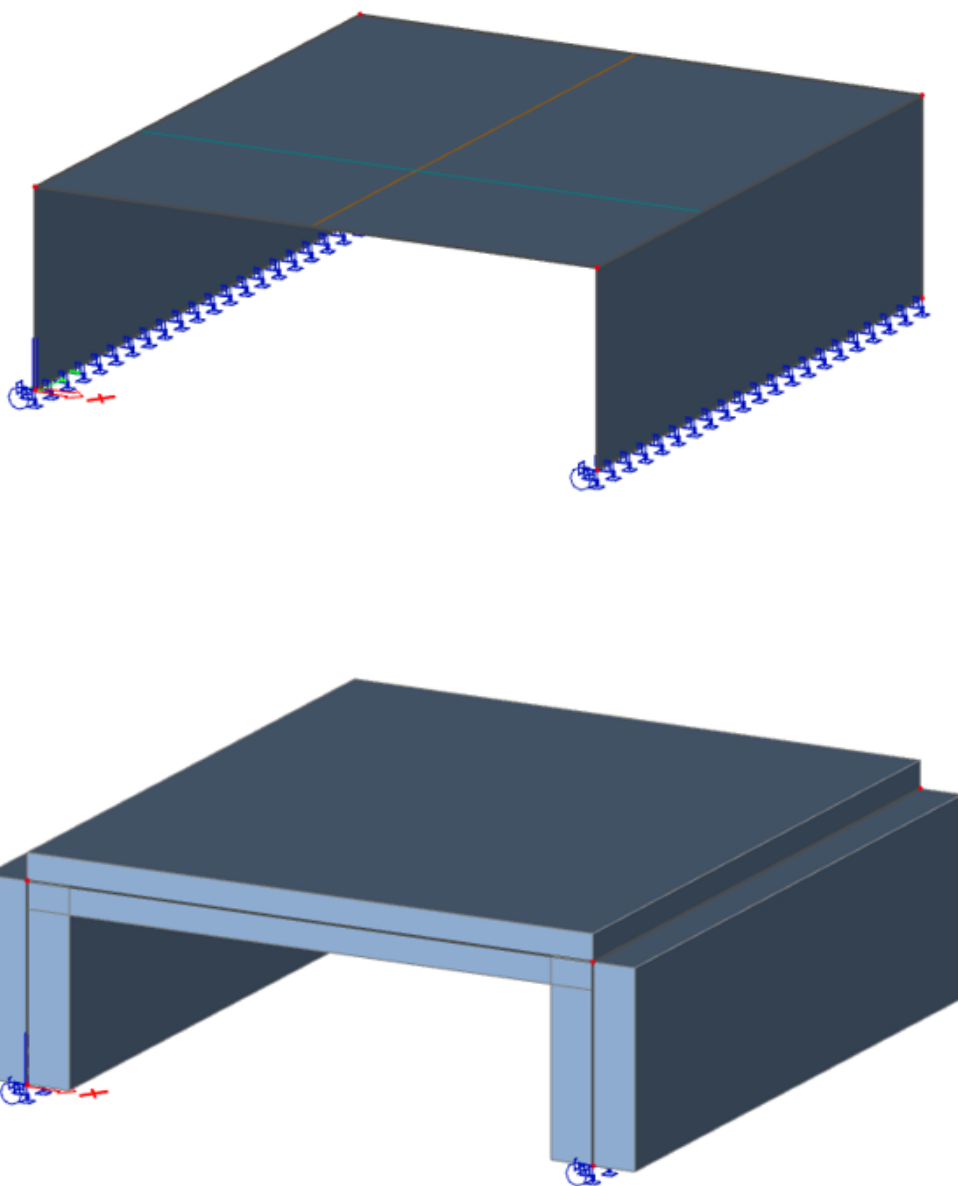


Obrázek 14: Geometrie prutového modelu

## 8.4.2 Deskostěnový model

Pro větší zpřesnění výsledků na konstrukci od jednotlivých zatěžovacích stavů byl vytvořen deskostěnový model, se kterým je dále ve statickém výpočtu uvažováno.

Deeskostěnový model je sestaven ze dvou svislých dílců typu stěna a vodorovného dílce typu deska. Opěry jsou vymodelovány v tloušťce 0,80 m s délkou 6,00 m. Vodorovná nosná konstrukce má výšku 0,50 m na šířku 6,00 m. Výška nosné konstrukce pro prutový model byla zjištěna zprůměrováním plochy skutečného průřezu stejným způsobem jako u prutového modelu. Materiál pro jednotlivé dílce byl opět přiřazen beton třídy C30/37. Podepření ve směru X, Z a  $R_y$  je zvoleno pružné, stejně jako u modelu prutového. Ostatní omezující podmínky jsou definované jako tuhé.



Obrázek 15: Geometrie deskostěnového modelu

## 8.5 Výsledné vnitřní síly na konstrukci

Výsledné vnitřní síly od jednotlivých kombinací byly odečítány pomocí řezů, ze kterých byly brány maximální hodnoty. V případě velké změny výsledků na krátké vzdálenosti řezu a u případných špiček v průběhu výsledného obrazce byly hodnoty zprůměrovány pomocí krátkého řezu v místě špičky.

Po sestavení tabulky výsledných vnitřních sil bylo zjištěno, že rozhodující kombinací pro návrh a posouzení výztuže v konstrukci je kombinace 6.10b – gr1a.

Tabulka výsledných vnitřních sil												
	Pata				Hlava				L/2			
	mxD+	mxD-	vx	nx	mxD+	mxD-	vx	nx	mxD+	mxD-	vx	nx
<b>Kombinace MSP</b>												
Charakteristická	104,3	56,43	-82,74	-221,4	164,86	-24,8	-236,9	-126,4	0	175,72	66,24	820,81
Častá	84,06	45,86	-60,22	-179,4	131,3	-23,16	-186,6	-104,7	0	138,4	49,61	679,7
Kvazistálá	66,94	37,74	-46,5	-95,27	78,89	-20,28	-91,92	-74,26	0	75,14	1,03	688,4
<b>Kombinace MSÚ</b>												
6.10a gr1a	143,56	79,47	-113,7	-247,7	196,5	29	-268,9	-158,3	0	209,3	65,7	-759,1
6.10b gr1a	153,54	83,04	-129,5	-285	222,25	31,04	-317,1	-165,9	0	242,41	88,61	-765,5
6.10b gr1b	127,27	71,69	-96,96	-183,3	157,9	-48,73	-208,9	-135,2	0	172,68	41,93	-736,7
6.10b gr5	140,7	76,97	-112,5	-242,5	192,16	38,42	-254,7	-151,3	0	186,73	-48,85	-751,7

Tabulka 1: Tabulka výsledných vnitřních sil

## 8.6 Posouzení na mezní stavy

Návrh a posouzení konstrukce byl proveden dle použité příslušné evropské normy Eurokódu ČSN EN 1991-1-1: Navrhování betonových konstrukcí.[2] Návrh a posouzení bylo provedeno ručním výpočtem.

### 8.6.1 Vstupní údaje použitých materiálů

#### Beton C30/37

Charakteristická pevnost betonu v tlaku:  $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

Průměrná hodnota pevnosti v dostředném tahu:  $f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$

Střední hodnota modulu pružnosti betonu:  $E_{cm} = 32 \text{ GPa}$

Mezní součinitel přetvoření betonu:  $\epsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$

Dílčí součinitel vlastnosti materiálu:  $\gamma_c = 1,5$

Návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku:  $\alpha_{cc} = 0,9$

Návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku:  $\alpha_{ct} = 1,0$

Návrhová pevnost v tlaku:  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \alpha_{cc} = \frac{30}{1,5} \cdot 0,9 = 18 \text{ MPa}$

## Betonářská výztuž B 500B

Označení dle EN:	B 500B
Minimální mez kluzu:	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
Minimální pevnost v tahu:	$f_{tk} = 550 \text{ MPa}$
Návrhová hodnota modulu pružnosti oceli:	$E_s = 200 \text{ GPa}$
Mezní součinitel přetvoření betonu:	$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200} = 2,17\text{‰}$
Dílčí součinitel vlastnosti materiálu:	$\gamma_s = 1,15$
Návrhová hodnota meze kluzu oceli:	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$

### 8.6.2 Mezní stav únosnosti

Pro návrh výztuže do jednotlivých částí konstrukce bylo zatížení na modely vždy umístěno tak, aby vyvolalo největší účinek pro jednotlivé posuzované části rámu.

Pro návrh bylo uvažováno s maximálními ohybovými momenty, normálovými silami a posouvajícími silami.

Výztuž desky při spodním okraji byla navržena a posouzena na maximální ohybový moment v polovině rozpětí nosné konstrukce desky. Dále byl průřez vlivem působení normálových sil vzniklých zejména od teploty posouzen pomocí interakčního diagramu, aby byla sestavena křivka únosnosti pro působení ohybových momentu a normálových sil v konstrukci současně.

Horní výztuž desky v místě hlavy je dimenzována a posouzena na maximální ohybový moment a normálové síly v místě hlavy rámu. Ohybové momenty byly zvětšeny vlivem působení imperfekcí.

V místě líce stěny, vzniká také vysoký účinek posouvajících sil pro desku, které způsobují smykové trhliny. Pro výpočet dimenzování a posouzení smykové výztuže byla odečtena na stranu bezpečnou hodnota posouvající síly v hlavě rámu.

V patě stěny rámu je navržena a posouzena výztuž pomocí interakčního diagramu z důvodu současného působení ohybových momentů a normálových sil. Ohybové momenty byly rovněž zvětšeny o vliv působících imperfekcí.

### 8.6.3 Mezní stav použitelnosti

Ověření mezního stavu použitelnosti bylo provedeno na deskovém modelu. Konstrukce je posouzena z hlediska mezního stavu na omezení napětí, omezení šířky trhlin a minimálního stupně vyztužení. Podrobnější posouzení na mezní stav použitelnosti je proveden v samostatné příloze P.3 Statický výpočet.

## 9. Závěr

Cílem této bakalářské práce byl návrh jednopolového rámového mostu k rozvodně ČEZ ve městě Šumperk. Nejprve byl vytvořen alternativní návrh mostu. Dále byl podrobně zpracován návrh podle podkladů, které byly získány v zadání bakalářské práce.

Bakalářská práce je zaměřena na statický výpočet, ve kterém jsou podrobně popsány jednotlivé části nosné konstrukce. Rámová konstrukce byla dimenzována a posouzena na základě výsledků vnitřních sil vypočtených pomocí softwaru Scia Engineer 20.0, ve kterém byly v závislosti na zadaném zatížení vyhodnoceny celkové vnitřní síly na konstrukci. Byl zpracován prutový model a později také deskostěnový. Vzhledem k přesnosti a podrobnosti výsledků vnitřních sil na konstrukci bylo dále ve statickém výpočtu uvažováno s deskostěnovým modelem.

Nosná konstrukce byla navržena a posouzena na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti. Oba mezní stavy byly dle výpočtů splněny.

Další součástí této práce jsou vypracované podrobné výkresy tvaru a vizualizace.

Ruční výpočty byly zpracovány pomocí programu Microsoft Excel. Textové části byly zpracovány v programu Microsoft Word. Tvorba modelů včetně zatížení a zjištění výsledných hodnot vnitřních sil bylo provedeno v programu Scia Engineer 20.0. Pro vizualizace byl vytvořen 3D model v programu SketchUp, který byl později importován do programu Lumion, kde byly vytvořeny výsledné vizualizace.

## 10. Seznam obrázků

Obrázek 1: Podélný řez A-A studie návrhu č.1.....	12
Obrázek 2: Příčný řez C-C studie návrhu č.1.....	12
Obrázek 3: Podélný řez A-A studie návrhu č.2.....	13
Obrázek 4: Příčný řez C-C studie návrhu č.2.....	13
Obrázek 5: Příčný řez mostovky .....	18
Obrázek 6: Podélný řez nosné rámové konstrukce .....	18
Obrázek 7: Model pružného podepření integrovaného mostu.....	19
Obrázek 8: Rozmístění zatížení dopravou od LM1 – TS.....	20
Obrázek 9: Rozmístění zatížení dopravou od LM1 – UDL.....	20
Obrázek 10: Rozmístění zatížení dopravou od LM3 - zvláštní vozidlo .....	21
Obrázek 11: Schéma modelu zatážení LM2.....	21
Obrázek 12: Roznos zatížení od přitížení za opěrou od LM1 - UDL .....	22
Obrázek 13: Roznos zatížení od přitížení za opěrou od LM1 - TS .....	23
Obrázek 14: Geometrie prutového modelu .....	24
Obrázek 15: Geometrie deskostěnového modelu.....	25

## 11. Seznam tabulek

Tabulka 1: Tabulka výsledných vnitřních sil .....	26
---	----

## 12. Seznam použité literatury

- [1] Technické podmínky, TP 261 – integrované mosty, Ministerstvo dopravy, 2017, [webový zdroj, cit. 24.05.2024] odkaz na webovou stránku: [https://pjk.rsd.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_261\\_2017.pdf](https://pjk.rsd.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_261_2017.pdf)
- [2] ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1, Zatížení konstrukcí – část 1–5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou, ČNI, Praha, 2005
- [3] Ing. Radim Nečas, Ph.D., Ing. Jan Koláček, Ph.D., Ing. Josef Panáček, BL12, Betonové mosty I-Zásady navrhování VUT v Brně, FAST, Brno, 2014
- [4] Ing. Ivana Švaříčková, Ph.D., Tabulky do cvičení betonových konstrukcí, Brno, 2024
- [5] BL001 – Prvky betonových konstrukcí, Výukové texty, příklady a pomůcky, [webový zdroj, cit. 24.05.2024] odkaz na webovou stránku: [https://www.fce.vutbr.cz/BZK/pozar.m/BL001/BL001\\_vyukove\\_texty.pdf](https://www.fce.vutbr.cz/BZK/pozar.m/BL001/BL001_vyukove_texty.pdf)
- [6] Stavební software fine, Součinitel dotvarování, [webový zdroj, cit. 24.05.2024] odkaz na webovou stránku: <https://www.fine.cz/napoveda/finec/cs/soucinitel-dotvarovani-01/>
- [7] Ing. Jan Koláček, Ph.D., Podklady do cvičení BLA011 – Betonové mosty 1, [webový zdroj, cit. 24.05.2024] odkaz na webovou stránku: <https://www.fce.vutbr.cz/BZK/kolacek.j/BL12.html>
- [8] ČSN EN 1991-2 Eurokód 1, Zatížení konstrukcí: Zatížení mostů dopravou ČNI, Praha, 2005
- [9] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2, Navrhování betonových konstrukcí: Obecná pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha, 2006
- [10] ČSN EN 1992-2 Eurokód 2, Navrhování betonových konstrukcí: Betonové mosty – navrhování a konstrukční zásady, ČNI, Praha, 2007
- [11] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí, ČNI, Praha, 2004
- [12] Vzorové listy staveb pozemních komunikací VL4 – mosty, Ministerstvo dopravy, 2021, [webový zdroj, cit. 24.05.2024] odkaz na webovou stránku: [https://pjk.rsd.cz/data/USR\\_001\\_2\\_10\\_VL/VL4\\_2021\\_final.pdf](https://pjk.rsd.cz/data/USR_001_2_10_VL/VL4_2021_final.pdf)

## 13. Seznam příloh

### P.1 Podklady a studie

Podklady

P.1.1 Studie návrhu č. 1 M 1:50

P.1.2 Studie návrhu č. 2 M 1:50

### P.2 Přehledné a podrobné výkresy

P.2.1 Situační výkres širších vztahů -

P.2.2 Katastrální situační výkres M 1:100

P.2.3 Půdorys M 1:100

P.2.4 Podélný řez A-A M 1:50

P.2.5 Příčný řez B-B M 1:50

P.2.6 Příčný řez C-C M 1:50

P.2.7 Výkres výztuže M 1:20

P.2.8 Vizualizace -

### P.3 Statický výpočet

P.3 Statický výpočet