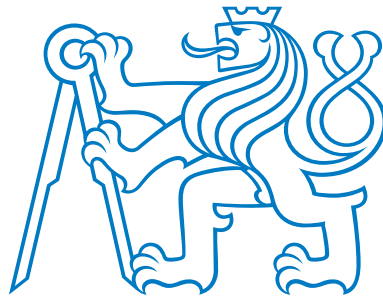


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



DIPLOMOVÝ SEMINÁŘ

**Návrh silničního mostu přes údolí řeky Gottleuba v Pirně**

**Design of the road bridge over Gottleuba Valley in Pirna**

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: **prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.**

**Bc. František Vítek**

Praha 2020



## **Abstrakt**

Cílem diplomového semináře je navrhnout a zhodnotit tři varianty přemostění údolí řeky Gottleuba, tvořícího součást obchvatu Pirny v Německu. Směrové řešení je odvozeno od existující projektové dokumentace navrženého mostu. Navržené varianty jsou popsány a je k nim přiložena základní výkresová dokumentace – typické příčné řezy a podélný řez. V navazující diplomové práci dojde ke stanovení zatížení a tvorbě výpočetního modelu pro zvolenou variantu. Na základě stanovení vnitřních sil zohledňujících postup výstavby – letmou betonáž bude navržena předpínací výztuž, konstrukce bude posouzena a bude zpracována detailnější výkresová dokumentace.

## **Klíčová slova**

*silniční most, betonový most, předpjatý beton, letmá betonáž, Sasko*





## **Abstract**

The purpose of the diploma seminar is to design and assess three variant solutions of the design of the road bridge over Gottleuba Valley. The bridge forms a part of the bypass of Pirna, Germany. The vertical and horizontal alignment is based on the planning stage documentation of the actual bridge. The variant solutions are described in the text and they are accompanied by basic construction drawings, which contains drawings of typical cross-section and the longitudinal section. The final solution has been chosen and it will be assessed in detail in the following master's thesis. Loads will be imposed on the structural model and the design of prestressed reinforcement to conform internal forces. The construction process, the free cantilever method, will be taken into account in order to carry out ultimate states assessment. Finally, thorough construction drawings documentation will be made.

## **Keywords**

*road bridge, concrete bridge, prestressed concrete, free cantilever method, Saxony*



# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>8</b>
<b>2 Rešerše</b>	<b>8</b>
<b>3 Zadávací podmínky</b>	<b>10</b>
3.1 Územní podmínky . . . . .	10
3.2 Popis souvisejícího úseku . . . . .	11
3.3 Směrové a výškové podmínky . . . . .	11
3.4 Omezující podmínky . . . . .	12
<b>4 Varianty</b>	<b>13</b>
4.1 Popis společný pro všechny varianty . . . . .	13
4.1.1 Založení . . . . .	13
4.1.2 Spodní stavba . . . . .	13
4.1.3 Vozovka . . . . .	13
4.1.4 Odvodnění . . . . .	13
4.1.5 Svodidla . . . . .	13
4.1.6 Chodníky . . . . .	14
4.1.7 Protihluková stěna . . . . .	14
4.2 Varianta 1 – komorový nosník s náběhy . . . . .	14
4.2.1 Rozměry . . . . .	14
4.3 Varianta 2 – komorový nosník přímopásový . . . . .	15
4.3.1 Rozměry . . . . .	15
4.4 Varianta 3 – most extradosed . . . . .	16
4.4.1 Rozměry . . . . .	16
<b>5 Zhodnocení variant a závěr</b>	<b>17</b>

# 1 Úvod

Tato práce obsahuje návrh tří různých variant přemostění údolí říčky Gottleuba u Pirny ve Svobodném státě Sasko (*Freistaat Sachsen*) ve Spolkové republice Německo. Most tvoří součást spolkové silnice B172 v úseku obchvatu Pirny. Předmětem diplomového semináře bylo vypracovat tři varianty přemostění údolí – během této práce jsem vycházel z existující dokumentace mostu – na rozdíl od skutečné prováděcí dokumentace, která počítá s ocelovou konstrukcí, byly navrženy konstrukce z předpjatého betonu. K dispozici byly pouze uzavřené PDF výkresy, což mělo nepatrný vliv na přesnost vypracování, ale pro potřeby této práce stačilo převzít směrové a výškové vedení převáděné komunikace.

Všechny použité normy, jakož i další zdroje, jsou řádně ocitovány v sekci *Literatura*. Pro zpracování práce byly též využity znalosti a poznatky z předmětů *Betonové konstrukce* a *Betonové mosty* a také vlastní poznámky a podklady z těchto předmětů. Čerpal jsem i z poznatků nabytých během tvorby bakalářské práce.<sup>[12]</sup>

## 2 Rešerše

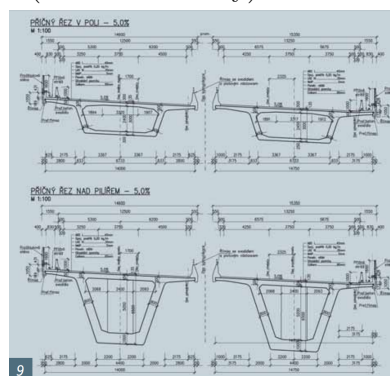
Při tvorbě variant bylo vycházeno z obdobných stojících konstrukcí. Jednalo se mj. o most u Velemyšlevsi,<sup>[4]</sup> Radotínský most,<sup>[7]</sup> dálniční most Kochertal v Německu,<sup>[8][5]</sup> most Sunniberg ve Švýcarsku,<sup>[1][5]</sup> Viaducto de Teror na Kanárských ostrovech<sup>[2]</sup> a mosty Odawara, Cukuhara, Sašikubo a Mijakodagawa v Japonsku.<sup>[1][2]</sup>

Detaily o mostních konstrukcích byly čerpány zejména z materiálů IABSE, článků v odborných časopisech a diplomové práce Konstantina Mermigase.

Obrázek 1: Rešerše existujících staveb (komorové mosty)



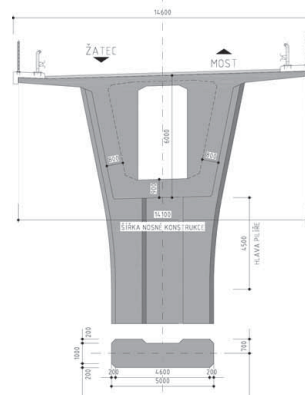
(a) Radotín – fotografie



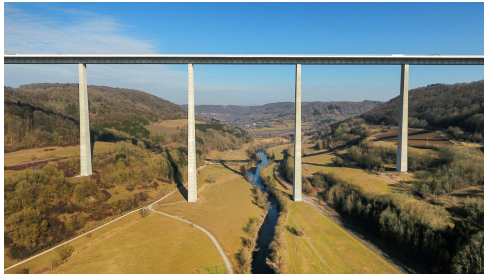
(b) Radotín – příčné řezy



(c) Velemyšleves – fotografie



(d) Velemyšleves – příčný řez

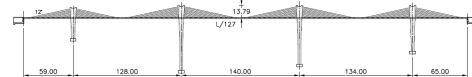


(e) Kochertal – fotografie

Obrázek 2: Rešerše existujících staveb (extradosed mosty)



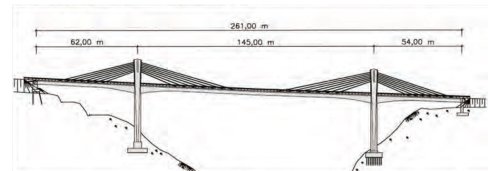
(a) Sunniberg – fotografie



(b) Sunniberg – podélný řez



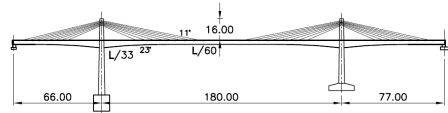
(c) Viaducto de Teror – fotografie



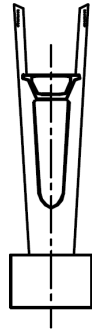
(d) Viaducto de Teror – podélný řez



(e) Odawara – fotografie



(f) Cukuhara – podélný řez



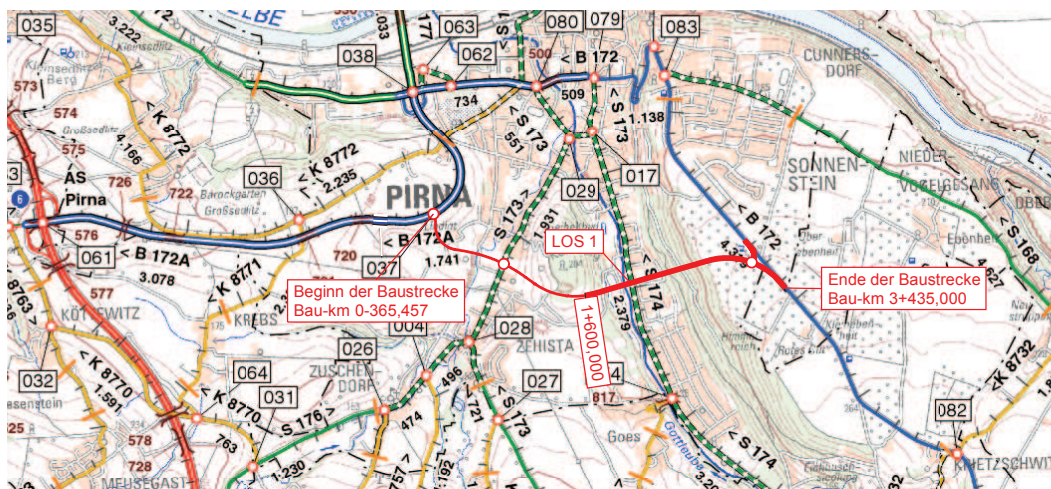
(g) Cukuhara – příčný řez

### 3 Zadávací podmínky

#### 3.1 Územní podmínky

Plánovaný most se nachází v katastrálních územích Pirna a Zehista ve městě Pirna, zemský okres Saské Švýcarsko – Východní Krušnohoří (*Sächsische Schweiz – Osterzgebirge*), svobodný stát Sasko (*Freistaat Sachsen*), Spolková republika Německo.

Území je kopcovité, niveleta komunikace se nachází se v nadmořské výšce 170–210 m n. m., dno přemostovaného údolí leží v nadmořské výšce 130 m n. m.

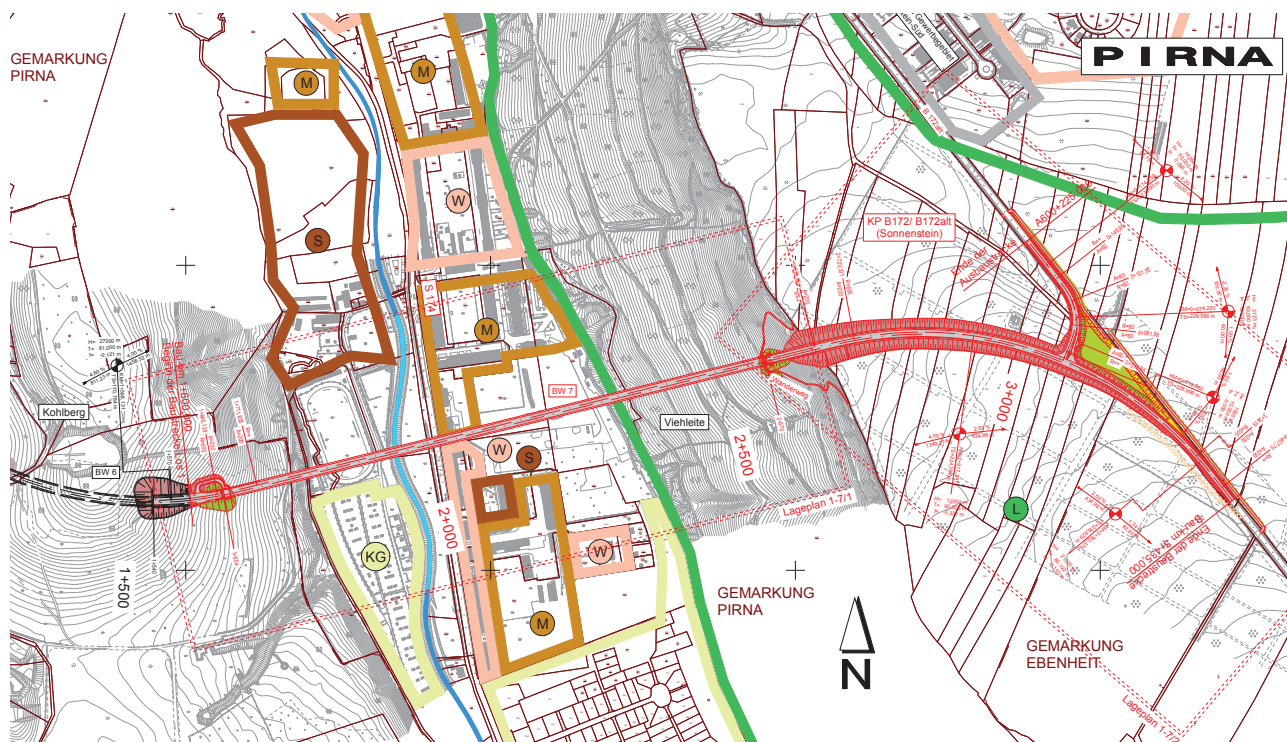


Obrázek 3: Dopravní situace v okolí plánované stavby (označena červeně), dle [9]



### 3.2 Popis souvisejícího úseku

Za mimoúrovňovou křižovatkou spolkové silnice B172 se zemskou silnicí S173 Seidewitztal v km 0,800 pokračuje silnice levotočivým obloukem do tunelu Kohlberg (mezi km 1,240 a km 1,540), silnice stoupá směrem ke Königsteinu s podélným sklonem asi 4,0 %. Těsně za tunelem komunikace překonává hluboce zaříznuté údolí říčky Gottleuba, přes které je navržen most o délce 925 m (resp. 920 m u varianty 3). Za mostem komunikace stoupá ve sklonu 2,5 % a v pravotočivém oblouku se napojuje na původní trasu silnice B172 úrovnňovou křižovatkou. Celý tento úsek je veden v uspořádání 2+1, stoupací pruh je zřízen ve směru Königstein / Bad Schandau.



Obrázek 4: Situace plánované stavby (označena červeně), dle [9] a územního plánu

### 3.3 Směrové a výškové podmínky

Komunikace se v místě mostu prvních asi 70 metrů nachází v přechodnici, zbytek mostu je směrově přímý. Podélný sklon komunikace v celé délce plánovaného mostu činí 4 %. Příčný sklon je jednostranný a dosahuje po celé délce hodnoty 2,5 %.

Pro další návrh mostu a numerické modelování konstrukce se dá celý most uvažovat jako přímý a vodorovný.



Obrázek 5: *Letecký snímek lokality pro stavbu mostu*

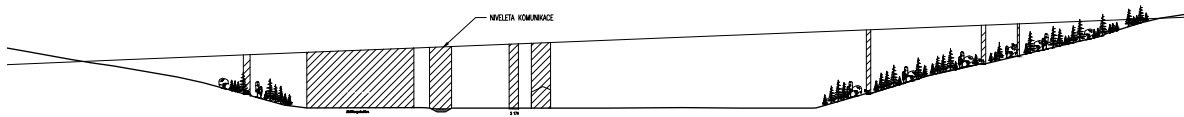
### 3.4 Omezující podmínky

Během návrhu bylo nutno vycházet z omezujících podmínek daných umístěním existujících staveb, jakož i přírodních překážek.

Mezi hlavní překážky patřily:

- sportovní stadion *Kohlbergstadion* na levém břehu řeky – osa mostu protíná stadion v délce 100 m, v této délce není pochopitelně možné umístit pilíř
- řeka Gottleuba – šířka říčního koryta činí 20 m, ani v tomto místě není možné založit pilíř, v těsné blízkosti řeky navíc bude založení z technologického hlediska komplikované
- pozemní komunikace – jedná se zejména o zemskou silnici S174 (*Rottwerndorfer Straße*) vedoucí na pravém břehu řeky Gottleuby a také o několik účelových komunikacích (včetně turistické stezky), které se nacházejí ve svazích údolí
- budovy – v ose mostu stojí poblíž hlavní silnice dům č. 47, v těsné blízkosti stojí i dům č. 48

Pro přehlednost bylo vypracováno schéma s vyznačenými oblastmi, kde není možné umístit pilíř mostu. Tato omezení ovlivnila volbu rozpětí u jednotlivých variant.



Obrázek 6: *Vyšrafované oblasti nevhodné pro umístění pilířů*



## 4 Varianty

V rámci diplomového semináře byly navrženy a rozpracovány tři možné varianty přemostění údolí Gottleuby. Následně byly během konzultací zhodnoceny a byla vybrána finální varianta, která bude zpracována v rámci samotné diplomové práce. Kromě slovního popisu v průvodní zprávě je vypracována i základní výkresová dokumentace pro každou z variant; ta tvoří přílohu k textu.

Šířkové uspořádání na mostě bylo navrženo podle české normy [10], ve všech variantách byla zvolena kategorie S 11,5 s přídatným stoupacím pruhem, celková šířka se tedy liší oproti originálnímu projektu zpracovanému podle německých norem. Pro předběžný návrh rozměrů konstrukce v závislosti na rozpětí, které vyplynulo ze situace a prostorových dispozic, byly použity empirické vzorce.

V navazujícím textu jsou popsány prvky mostu a mostní vybavení, které je shodné pro všechny varianty.

### 4.1 Popis společný pro všechny varianty

#### 4.1.1 Založení

U mostu je plánováno vzhledem ke geotechnickým podmínkám hlubinné založení na vrtaných velkopřůměrových pilotách.

#### 4.1.2 Spodní stavba

U všech variant jsou obě opěry předběžně uvažované jako masivní železobetonové. Na opěrách je nosná konstrukce uložena na dvojici hrncových ložisek.

#### 4.1.3 Vozovka

Vozovka je předběžně navržena jako třívrstvá o tloušťce 135 mm, přesná skladba vozovkových vrstev zatím není blíže specifikována.

#### 4.1.4 Odvodnění

Odvodnění vozovky mostu je realizováno pomocí odvodňovačů umístěných v nižší z krajnic na mostě. Voda je dále svedena pomocí potrubí dovnitř komory nosníku, kudy vede hlavní sběrné odvodňovací potrubí. Jeho vyústění je plánováno za donínskou opěrou.

#### 4.1.5 Svodidla

Na obou stanách mostu jsou navržena ocelová svodidla s úrovní zadržetí H4. Sloupky svodidel budou kotveny do říms.

#### 4.1.6 Chodníky

Na mostě jsou zřízeny po obou stranách mezi svodidly a protihlukovými stěnami nouzové chodníky šířky 750 mm.

#### 4.1.7 Protihluková stěna

Z důvodu blízkosti zástavby města Pirna v údolí je po obou stranách mostu navržena prosklená protihluková stěna o výšce 2,0 m, která byla převzata z předchozího stupně dokumentace. Sloupky PHS jsou navrženy jako ocelové a budou kotveny do římsy, výplň PHS bude skleněná.

### 4.2 Varianta 1 – komorový nosník s náběhy

První navržená varianta je konstrukčně rámová monolitická spojitá konstrukce, která je tvořena komorovým nosníkem s proměnnou výškou průřezu. Celkem má tato varianta 9 polí, 6 středních pilířů je rámových (dvoustěnových) a dva krajní pilíře jsou vybaveny ložisky a mají obdélníkový jednodřívkový masivní průřez. U nosné konstrukce se počítá s předpětím průběžnými vnitřními dodatečně předpjatými kabely se soudržností, které budou vzhledem k postupu výstavby doplněny zvláštními kabely pro každou fázi. Most bude stavěn metodou letmé betonáže, proto je konstrukce rozdělena na jednotlivé betonážní dílce: blíže podpor budou mít délku asi 3 m, uprostřed rozpětí polí pak 5 m tak, aby jejich hmotnost byla stále vyrovnaná. Krajní pole, kde bude výška průřezu konstantní, budou betonovány na pevné skruži. Příčné řezy jsou navrženy tak, aby měly stále stejný sklon stěn a umožnily plynulý přechod mezi různě vysokými průřezů.

Rámové pilíře mostu budou v horní části rozšířené a budou plynule přecházet do dvojice příčníků, v příčnicích budou umístěny průchozí otvory. V podélném směru budou styky desek a stěn komory vždy zesíleny tak, aby bylo možné do vzniklého nálitku umístit předpínací kabely.

Po obou stranách se na mostě nacházejí římsy šířky 1750 mm a tloušťky 300 mm, část přesahující přes okraj je 500 mm široká a 800 mm vysoká. Do římsy je kotvena PHS i svodidla.

#### 4.2.1 Rozměry

Rozpětí	65 + 90 + 120 + 135 + 135 + 135 + 105 + 90 + 50 m
Celkové rozpětí	925,0 m
Šířka mostu	17,5 m
Šířka nosné konstrukce	16,5 m
Volná šířka na mostě	14,0 m
Výška konstrukce (pilíř)	6,500 m
Výška konstrukce (pole)	3,000 m
Šířka dolní desky (pilíř)	7,000 m
Šířka dolní desky (pole)	8,750 m
Tloušťka dolní desky (pilíř)	1,500 m

Tloušťka dolní desky (pole)	0,300 m
Tloušťka stěn (pilíř)	1,000 m
Tloušťka stěn (pole)	0,500 m
Tloušťka horní desky a konzol	0,300 m
Délka konzol	3,250 m

### 4.3 Varianta 2 – komorový nosník přímopásový

Druhá varianta je řešená jako přímopásový komorový nosník o konstantní výšce průřezu 5000 mm. Jedná se také o rámovou monolitickou spojitou konstrukci, která má shodně jako první varianta 9 polí, nicméně pouze 4 střední pilíře jsou rámové, ostatní jsou ložiskové. Všechny pilíře jsou navrženy s masivním jednodřívovým obdélníkovým průřezem. Konstrukce druhé varianty by byla taktéž předpjata průběžnými vnitřními dodatečně předpjatými kabely se soudržností. V této variantě by přicházela v úvahu možnost stavět most opět letmou betonáží. Krajiní pole by bylo možné stavět na pevné skruži.

Rámové pilíře mostu budou v horní části rozšířené a budou plynule přecházet do nosné konstrukce. Nad podporami budou umístěny příčníky, ve kterých budou průchozí otvory. V podélném směru budou styky desek a stěn komory nosné konstrukce vždy zesíleny tak, aby bylo možné do vzniklého nálitku umístit předpínací kabely.

Po obou stranách se na mostě, stejně jako u první varianty, nacházejí římsy šířky 1750 mm a tloušťky 300 mm, část přesahující přes okraj je 500 mm široká a 800 mm vysoká. Do římsy je kotvena PHS i svodidla.

#### 4.3.1 Rozměry

Rozpětí	65 + 90 + 120 + 135 + 135 + 135 + 105 + 90 + 50 m
Celkové rozpětí	925,0 m
Šířka mostu	17,5 m
Šířka nosné konstrukce	16,5 m
Volná šířka na mostě	14,0 m
Výška konstrukce	5,000 m
Šířka dolní desky	7,000 m
Tloušťka dolní desky (pilíř)	1,000 m
Tloušťka dolní desky (pole)	0,500 m
Tloušťka stěn (pilíř)	1,000 m
Tloušťka stěn (pole)	0,500 m
Tloušťka horní desky a konzol	0,300 m
Délka konzol	3,250 m

## 4.4 Varianta 3 – most extradosed

Třetí zpracovávaná varianta byla pojata jako extradosed most, jehož příčný řez by byl též komorový nosník s náběhy. Na rozdíl od první varianty by se však zvýšení výšky průřezu týkalo jen kratší oblasti okolo pilířů. U této varianty jsou výrazně odlišná i jednotlivá rozpětí – hlavní pole mají rozpětí 180,0 m a umožňují tak lehce překonat všechny problematické překážky a umístit všechny pilíře daleko od zástavby. Počet polí je sníženo na 6. Konstrukce je opět monolitická spojitá, tři střední pilíře jsou rámové, na dvou krajních jsou ložiska. Konstrukce je jednak předepnuta průběžnými dodatečně předpínanými kabely, jednak je zavěšena na pylonu. V úrovni každého závěsu proběhne pod celou horní deskou příčník, kromě toho je pak masivní příčník součástí rámového křížení pylonů a nosné konstrukce. Konstrukce by byla stavěna letmo s postupným vyvěšováním závěsů. Část krajních polí může být stavěna na pevné skruži.

Pylony, které se tyčí 15 m nad úroveň mostovky, se směrem vzhůru rozšiřují tak, aby umožnily zakotvení závěsů. V příčném směru jsou sešikmené a dvojice těchto pylonů se sbíhá pod nosnou konstrukcí do jednoho pilíře.

Po obou stranách se na mostě nacházejí římsy šířky 1750 mm a tloušťky 300 mm, část přesahující přes okraj je 500 mm široká a 800 mm vysoká. Do římsy je kotvena PHS i svodidla.

### 4.4.1 Rozměry

Rozpětí	95 + 180 + 180 + 180 + 105 m
Celkové rozpětí	920,0 m
Šířka mostu	20,5 m
Šířka nosné konstrukce	20,5 m
Volná šířka na mostě	14,0 m
Výška konstrukce (pilíř)	6,500 m
Výška konstrukce (pole)	4,500 m
Šířka dolní desky (pilíř)	9,480 m
Šířka dolní desky (pole)	12,000 m
Tloušťka dolní desky (pilíř)	1,000 m
Tloušťka dolní desky (pole)	0,300 m
Tloušťka stěn (pilíř)	0,750 m
Tloušťka stěn (pole)	0,500 m
Tloušťka horní desky	0,400 m
Délka konzol	1,75 m
Tloušťka konzol	0,750 m

## 5 Zhodnocení variant a závěr

Pro další činnost na diplomové práci byla zvolena varianta 1. Rozhodl jsem se pro ni, neboť je oproti variantě 2 staticky výhodnější (má proměnnou výšku komorového nosníku), oproti variantě 3 působí více esteticky.

Varianta 2 s konstantní výškou průřezu nepůsobí esteticky tak příznivě jako varianta 1. Volba jednodřívkových pilířů rámové konstrukce by vyžadovala pravděpodobně další stabilizaci vahadel při letmé betonáži.

Velkou výhodou 3. varianty jsou velká rozpětí, kterých je možné díky závěsům dosáhnout. Dá se tak snížit vliv na existující zástavbu umístěním pilířů mimo problematická území. Nevýhodou je větší komplikovanost konstrukce – technologicky přibývá nutnost realizace závěsů, z hlediska betonáže je složitější výstavba šikmých pylonů; navíc je konstrukce o něco širší než předcházející dvě.

Zvolená varianta 1 bude v rámci diplomové práce dále detailně rozpracována, dojde k výpočtu zatížení a vnitřních sil, včetně zohlednění stavebních fází. Následně bude navrženo potřebné předpětí a konstrukce bude posouzena v mezních stavech použitelnosti a únosnosti. Nakonec bude vypracována výkresová dokumentace.

## Seznam použitých zkratk

ČSN – česká technická norma

EN – evropská norma

PHS – protihluková stěna

MUK, MÚK – mimoúrovňová křižovatka

NK – nosná konstrukce

## Seznam příloh

1. Výkresová dokumentace

## Seznam použitých programů

- AutoCAD 19
- T<sub>E</sub>Xworks
- Inkscape
- PDF Architect, PDFCreator

## Literatura

- [1] MERMIGAS, Konstantinos Kris. Behaviour and Design of Extradosed Bridges. Toronto, 2008. 162 s. Diplomová práce. University of Toronto – Graduate Department of Civil Engineering. Vedoucí práce Paul Gauvreau. (angličtina) [online]
- [2] SCHLAICH, Mike. APITZ, Andreas. DUCLOS, Thierry. KASUGA, Akio. ROMO MARTÍN, José. MONTENS, Serge. SANKARALINGAM, Chithambaram. SOBRINO, Juan. Structural Engineering Documents 17: Extradosed Bridges. Zurich: International Association for Bridge and Structural Engineering, 2019. (angličtina)
- [3] VIRLOGEUX, Michel. KLEIN, Jean-François. CANCIO MARTINS, José Luis. HEAD, Peter et al. Guidance for good bridge design. Lausanne: The International Federation for Structural Concrete, 2000. (angličtina)
- [4] VRÁBLÍK, Lukáš. HEŘMAN, Jakub. HARAZIM, Petr. I/27 Velemyšleves – Most přes údolí Chomutovky. In: Beton TKS 2016/4. Praha, 2016. S. 8–13. ISSN 1213-3116
- [5] KASUGA, Akio. Od udržitelnosti konstrukce ke konstrukční eleganci. In: Beton TKS 2015/5. Praha, 2015. S. 8–13. ISSN 1213-3116. [online]
- [6] FOGLAR, Marek. Most přes údolí Gottleuby (Gottleubatalbrücke) v Pirně se představuje. Silnice-Železnice, 27. 12. 2019. ISSN 1803-8441. [online]
- [7] ENGLER, Vladimír. HANŽL, Miroslav. DULÁK, Martin. ŠÍSTEK, Milan. HANUŠ, František. Vybrané mostní stavby a tunely SOKP, části 514 Lahovice – Slivenec. Silnice-Železnice, 19. 10. 2009. ISSN 1803-8441. [online]
- [8] VÍTEK, Jan. Historie předpjatého betonu. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2016. 320 s. ISBN 978-80-87438-84-8. S. 94.
- [9] Dokumentace stavby. Berlin: DEGES, 2018 (němčina)
- [10] ČSN 73 6101. *Projektování silnic a dálnic*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [11] ČSN 73 6200. *Mosty – Terminologie a třídění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [12] VÍTEK, František. Návrh mostu přes Pražský okruh. Praha, 2019. 46 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Jan L. Vítek. [online]

