

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

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. Vitek, CSc., FEng.**

Bc. František Vitek

Praha 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně za odborného vedení vedoucího práce prof. Ing. Jana L. Vítka, CSc. a že veškeré podklady, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů.

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat prof. Janu Vítkovi za odborné vedení diplomové práce, vstřícnost a cenné konzultace. Zároveň bych chtěl poděkovat ing. Lukáši Boháčkovi za cenné rady a konzultace ohledně výpočetního programu *MIDAS Civil*. Taktéž děkuji i ing. Jiříčkovi a ing. Valíčkovi ze společnosti IDEA Statica za technickou podporu při práci s programy *MIDAS Civil* a *IDEA Statica*. Vyjadřuji svou vděčnost za podporu rodičům, celé rodině a přátelům.

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vítek Jméno: František Osobní číslo: 439055
 Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí (K133)
 Studijní program: Stavební inženýrství
 Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh silničního mostu v Pirně

Název diplomové práce anglicky: Design of the road bridge in Pirna

Pokyny pro vypracování:
 Konceptní návrh mostu
 Statický výpočet
 Přehledné výkresy
 Výkres předpínací výztuže
 Postup výstavby

Seznam doporučené literatury:

Platné evropské normy

ŠAFÁŘ, R. Betonové mosty 2

ŠAFÁŘ, R. Betonové mosty 2 – Cvičení

ŠAFÁŘ, R. KUKAŇ, V. DRAHORÁD, M. FOGLEAR, M. Betonové mosty 1

Jméno vedoucího diplomové práce: prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc.

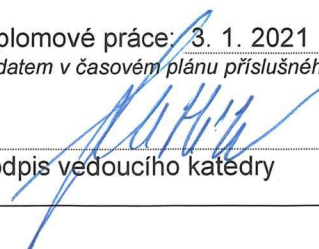
Datum zadání diplomové práce: 21. 9. 2020

Termín odevzdání diplomové práce: 3. 1. 2021

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 diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

21. 9. 2020

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout a posoudit silniční betonový most, který překlene údolí řeky Gottleuba na obchvatu Pirny v Německu. Výškové a směrové řešení je odvozeno od existující projektové dokumentace navrženého mostu. V rámci diplomového semináře byly vypracovány a zhodnoceny tři varianty, ze kterých byla pro vlastní diplomovou práci vybrána varianta železobetonového monolitického dodatečně předpjatého komorového nosníku s proměnnou výškou průřezu. Most bude stavěn metodou letmé betonáže, zatížení konstrukce a vypočítané vnitřní síly zohledňují postup výstavby. Práce se následně soustředila na návrh předpínací výztuže, posouzení mezních stavů a vypracování výkresové dokumentace.

Při návrhu mostu bylo postupováno v souladu s českými a evropskými technickými normami. Při návrhu byly na některých místech použity zjednodušené postupy, výsledkem této práce totiž nemá být kompletní dokumentace mostu, nýbrž jde vzhledem k charakteru práce zejména o prověření reálnosti návrhu mostu.

Práce obsahuje slovní popis vybrané varianty v technické zprávě, přílohy pak tvoří statický výpočet, výkresová dokumentace a výstupy z diplomového semináře.

Klíčová slova

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

Abstract

The master's thesis is focused on the design of a road concrete bridge, which forms a part of the Pirna bypass road overpassing Gottleuba river valley in Germany. The vertical and horizontal alignment is derived from the real project documentation. Three alternative solutions of the bridge were designed and studied respectively during the diploma seminar phase, and a final solution was chosen.

Finally, a concrete continuous post-tensioned tapered box girder was designed in more detail. The bridge is built by a balanced cantilever method, which is regarded in the structural analysis. Therefore, the resultant internal forces take into account construction stages. The thesis is aimed mainly at the design of prestressed reinforcement, the ultimate states assessment and the elaboration of the construction drawings documentation.

The bridge design has been carried out in accordance with the Czech and European standards. The design is made in a simplified manner, since the main objective was to verify the feasibility of the design rather than providing a detailed project. This is fully in accordance with the scope of the master's thesis.

The principal content of the thesis involves the technical report, which describes the chosen bridge solution. Three annexes accompanying the technical report comprise of the structural analysis report, the construction drawings documentation and the diploma seminar outputs.

Keywords

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

Obsah

1 Úvod	14
2 Varianty	15
3 Technická zpráva	16
3.1 Identifikační údaje mostu	16
3.2 Základní údaje o mostu	16
3.2.1 Rozměry průřezu nosné konstrukce	17
3.3 Účel a rozsah stavby	17
3.4 Územní podmínky	17
3.5 Popis souvisejícího úseku	17
3.6 Směrové a výškové podmínky	18
3.7 Geotechnické a hydrogeologické podmínky	19
3.8 Omezující podmínky	19
3.9 Mostní objekt	20
4 Popis mostu	20
4.1 Založení	20
4.2 Spodní stavba	20
4.2.1 Opěry	20
4.2.2 Pilíře	21
4.3 Ložiska	21
4.4 Nosná konstrukce	21
4.4.1 Předpínací výztuž	22
4.4.2 Betonářská výztuž	22
4.5 Mostní závěry	22
4.6 Římsy	22
4.7 Vozovka	22
4.8 Odvodnění	23
4.9 Svodidla	23
4.10 Chodníky	23
4.11 Protihluková stěna	23
4.12 Ostatní mostní vybavení	23
4.13 Úpravy pod mostem a kolem něj	23
5 Postup výstavby	24
5.1 Obecně	24
5.2 Popis fází	25
5.3 Průběh typického betonážního taktu letmé betonáže	27
6 Statický výpočet	27
7 Závěr	28
8 Summary	29
Seznamy	30
Literatura	31

1 Úvod

Tato práce obsahuje návrh 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 předcházejícího diplomového semináře bylo vytvořit varianty přemostění údolí a zhodnotit je tak, aby se diplomová práce zaměřila na jednu z nich. Během návrhu variant jsem vycházel z existující dokumentace mostu – na rozdíl od skutečné provádějíci 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.

Zvolená varianta 1 byla v rámci diplomové práce dále detailně rozpracována, byly spočítány vnitřní síly včetně zohlednění stavebních fází. Následně bylo navrženo potřebné předpětí a konstrukce byla posouzena v mezních stavech použitelnosti a únosnosti. Nakonec byla vypracována výkresová dokumentace, která tvoří přílohu k textu diplomové práce.

Varianty a řešerše mostních objektů, kterými jsem se při návrhu inspiroval, jsou uvedeny a popsány v úvodní práci diplomového semináře.

Návrh mostu je vypracován v souladu s českými a evropskými normami, zejména jde o tzv. *Eurokódy*:

- ČSN EN 1990
- ČSN EN 1991
- ČSN EN 1992

I když se most nachází na území Spolkové republiky Německo, byl most projektován podle českých norem. Ostatně, Eurokódy jsou platné rámcově v celé Evropě. Pro stanovení zatížení větrem a teplotou bylo vycházeno z českých normových podkladů i proto, že most stojí asi 15 km vzdušnou čarou od státní hranice České republiky. Vzhledem k tomu, že byla práce vypracována na české vysoké škole, byly v případě neexistence evropských norem použity normy české; stejně tak se uplatnily české národní přílohy.

Šírkové uspořádání na mostě bylo navrženo právě podle české normy [14], 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.

Všechny použité normy, jakož i další zdroje, jsou řádně ocitovány v sekci *Literatura*. Pro zpracování práce byly též využity znalosti a podklady z předmětů *Betonové konstrukce*, *Betonové mosty*, *Ocelové mosty* a *Aplikace teorie konstrukcí*. Čerpal jsem i z poznatků nabytých během tvorby bakalářské práce.^[38] Jelikož by detailní návrh mostu stavěného letmou betonáží přesáhl rozsah diplomové práce, byla provedena některé zjednodušení, jak už na straně zatížení, tak i na výběru jen těch nejdůležitějších posudků.

Výpočet vnitřních sil byl prováděn zejména ve výpočetním programu *MIDAS Civil*.

2 Varianty

V rámci diplomového semináře byly navrženy a rozpracovány tři možné varianty přemostění údolí Gottleuby, ze kterých byla vybrána finální varianta, která byla zpracována v rámci diplomové práce. Textový popis i základní výkresová dokumentace pro každou z variant tvoří přílohu č. 3 k diplomové práci.

Při tvorbě variant bylo vycházeno z obdobných stojících konstrukcí. Pro zvolenou variantu se jednalo mj. o most u Velemyšlevsi^[34] a Radotínský most.^[33] Detaily o mostních konstrukcích byly čerpány zejména z materiálů IABSE a článků v odborných časopisech.

Vybraná varianta – komorový nosník s náběhy – je oproti variantě 2 (přímopásový komorový most) staticky výhodnější (má proměnnou výšku komorového nosníku) a oproti variantě 3 (extradosed most) působí více esteticky a je méně pracná.

3 Technická zpráva

3.1 Identifikační údaje mostu

Stavba	Silniční obchvat B172n – Pirna <i>B172n: Ortsumgehung Pirna</i>
Název objektu	Most přes údolí Gottleuby <i>Gottleubatalbrücke</i>
Katastrální území	Pirna, Zehista
Obec	Pirna
Zemský okres	Saské Švýcarsko – Východní Krušnohoří <i>(Sächsische Schweiz – Osterzgebirge)</i>
Země	Svobodný stát Sasko (<i>Freistaat Sachsen</i>)
Stát	Spolková republika Německo
Objednatel	Deutsche Einheit Fernstraßenplanungs- und -bau GmbH (DEGES), Zimmerstraße 54, 10117 Berlin
Projektant	Bc. František Vitek
Převáděná komunikace	Spolková silnice B172
Návrhová kategorie komunikace	S 11,5 s přídatným stoupacím pruhem, $v_n = 90$ km/h
Přemostovaná překážka	údolí říčky Gottleuba (<i>Rybný potok</i>), zemská silnice S174, Kohlbergstadion
Volná výška na mostě	<i>neomezená</i>

3.2 Základní údaje o mostu

Uspořádání	silniční nepohyblivý, trvalý most, přímý, kolmý
Statické působení	spojitý nosník, rámová konstrukce
Nosná konstrukce	železobetonový monolitický dodatečně předpjatý komorový nosník s náběhy
Opěry	masivní železobetonové opěry
Křídla	rovnoběžná vetknutá svahová křídla
Délka mostu	959,000 m
Délka přemostění	921,000 m
Délka nosné konstrukce	929,000 m
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
Průchozí šířka na mostě	1,5 m
Maximální výška mostu nad terénem	70,9 m
Stavební výška	<i>proměnná: 3,230–6,730 m</i>

Výška nosné konstrukce	<i>proměnná: 3,000–6,500 m</i>
Plocha nosné konstrukce	15 273 m ²
Zatížení mostu	dle ČSN EN 1991-2

3.2.1 Rozměry průřezu nosné konstrukce

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)	0,600 m
Tloušťka horní desky a konzol	0,300 m
Délka konzol	3,250 m

3.3 Účel a rozsah stavby

Stavba tohoto mostu tvoří součást obchvatu spolkové silnice B172n saského města Pirna. Tato silnice spojí existující rychlostní silnici B172a z Dohny (*Donína*) do Pirny a naváže na stávající silnici B172 mezi Pirnou a vesnicí Krietzschwitz. B172 je spojnicí Pirny a měst Königstein a Bad Schandau (*Žandov*) v turisticky atraktivní oblasti Saského Švýcarska. Silnice dále překračuje státní hranici a na české straně pokračuje jako I/62 do Hřenska, Děčína a Ústí nad Labem.

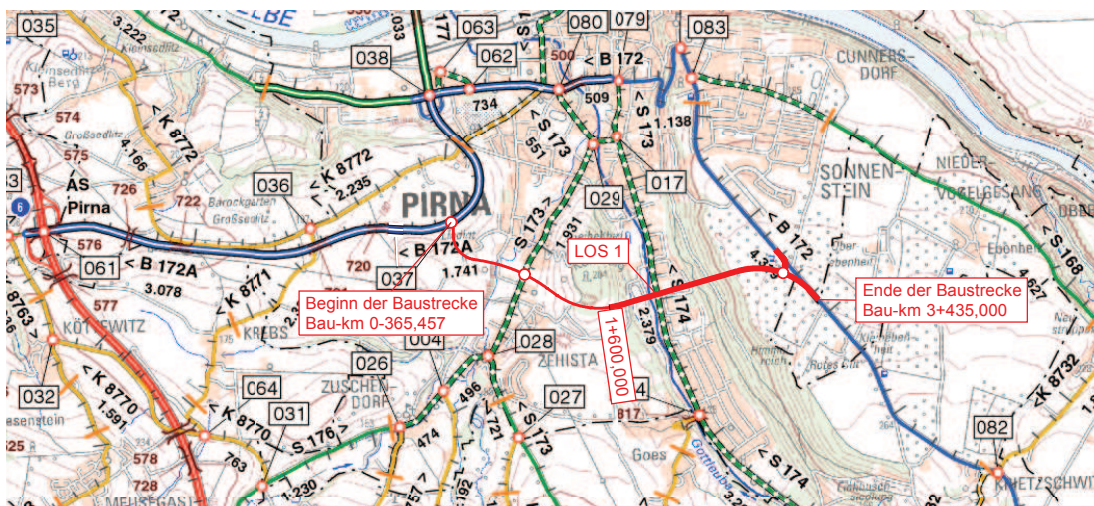
3.4 Územní podmínky

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.

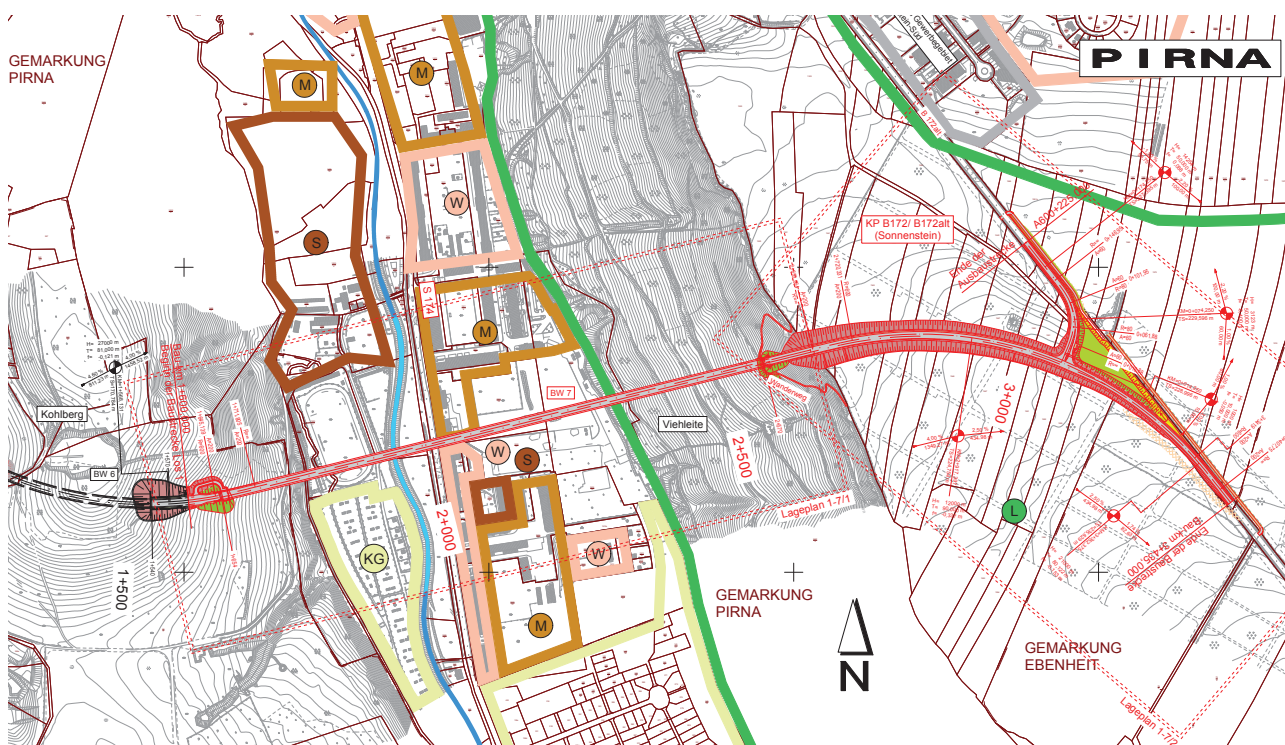
Území je kopcovité, niveleta komunikace se nachází se v nadmořské výšce 170–210 m n. m., dno přemostovaného údolí leží v nadmořské výšce 130 m n. m.

3.5 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 (*Rybný potok*), 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 úrovní křižovatkou. Celý tento úsek je veden v uspořádání 2+1, stoupací pruh je zřízen ve směru Königstein / Bad Schandau.



Obrázek 1: Dopravní situace v okolí plánované stavby (označena červeně), dle [50]



Obrázek 2: Situace plánované stavby (označena červeně), dle [50] a územního plánu

3.6 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 %.



Obrázek 3: *Letecký snímek lokality pro stavbu mostu*

3.7 Geotechnické a hydrogeologické podmínky

Dno údolí je pokryto říčními naplaveninami, zejména slíny, říčními jíly a naplaveným štěrkem. Svahy jsou pokryty sprašovými hlínami a sprašemi, případně štěrkovitými a balvanitými hlínami. Pod pokrývnými vrstvami, které dosahují mocnosti 5–10 m se nacházejí pískovce a slínovce.

V údolí se dá kvůli přítomnosti vodního toku počítat s vysokou hladinou podzemní vody, což může zkomplikovat zakládání pilířů.

3.8 Omezující podmínky

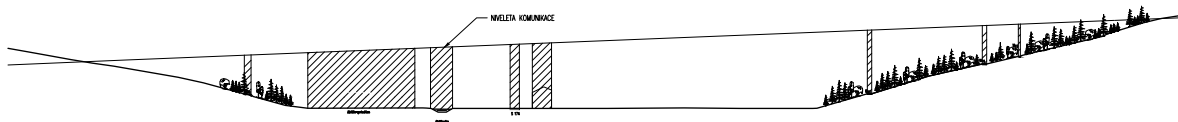
Během návrhu bylo nutno vycházet z omezujících podmínek daných umístěním existujících staveb, jakož i přírodních překážek.

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 komunikací (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.

Most nicméně finálně částečně zasahuje výkopy pilíře P5 do prostoru účelové komunikace spojující dvorky budov č. 46 a 47 s místní komunikací. Účelová komunikace bude tedy kvůli tomu přeložena.



Obrázek 4: Vyšrafované oblasti nevhodné pro umístění pilířů

3.9 Mostní objekt

Opěry a pilíře jsou číslovány vzestupně (OP1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P9 a OP10) ve směru rostoucího staničení (od západu k východu). Návrhové zatížení je v souladu s normou ČSN EN 1991-2.[7]

4 Popis mostu

4.1 Založení

U mostu je plánováno vzhledem ke geotechnickým podmínkám hlubinné založení na vrтанých velkopřůměrových pilotách. Rozměry a počty pilot nebyly vypočteny, ale pouze odhadnuty s přihlédnutím k dokumentaci realizovaného mostu, oproti ocelové konstrukci byl však jejich počet zvýšen, neboť betonová konstrukce bude těžší. Pod pilíři P3, P4, P5, P6, P7 a P8 jsou navrženy skupiny pilot o průměru 1,5 m v rastru 4×4. Pod ložiskovými pilíři P2 a P9 jsou navrženy piloty o průměru 1,2 m v rastru 3×4. Pod opěrami a křídly jsou navrženy piloty o průměru 1,2 m – pod opěrou OP1 je to celkem 40 pilot a pod opěrou OP10 je to 44 pilot. Počty pilot a jejich polohy by se upravily na základě detailního geotechnického průřezu. Piloty budou zhotoveny z betonu C25/30 XA1/XC2.

Piloty jsou v hlavě vetknuty do základových desek, pod středními pilíři mají desky rozměr 15×15 m a jsou 4 m tlusté. Pod krajními pilíři mají základové desky rozměry 7×9,6 m a mají tloušťku 2 m. Základové desky, které tvoří součást opěr a křídel jsou 1,5 m tlusté, pod opěrou jsou 9,25 m dlouhé a 17,5 m široké, pod oběma křídly jsou dalších 10 m dlouhé a 5,5 m široké. Tyto základové desky budou zhotoveny z betonu C30/37 XA1/XC2.

4.2 Spodní stavba

4.2.1 Opěry

Obě opěry (OP1 a OP10) jsou předběžně uvažované jako masivní železobetonové. Na opěrách je nosná konstrukce uložena na dvojici hrncových ložisek. Na obou stranách jsou navrhnutá rovnoběžná vetknutá křídla a plentovací zídky. Opěry i křídla jsou zhotoveny z betonu C30/37 XF1/XD2/XC4. Úložné prahy na opěrách budou zhotoveny z betonu C30/37 XF4/XD2/XC4. Na opěry pak navazuje přechodová deska tloušťky 300 mm a délky 6,5 m. Prostor za opěrami je tvořen rubovým zásypem s těsnicí vrstvou a rubovou drenáží. Zásyp opěr a přechodová oblast budou hutněny po 300 mm. Všechny povrchy betonových konstrukcí, které jsou ve styku se zemínou, budou opatřeny asfaltovým penetračním nátěrem.

4.2.2 Pilíře

Součástí mostu jsou 3 druhy pilířů: pilíře P4, P5, P6, P7 jsou dvoustěnové rámové, pilíře P3 a P8 jsou dvoustěnové ložiskové, pilíře P2 a P9 jsou jednoduché ložiskové. Všechny pilíře jsou zhotoveny z betonu C30/37 XF2/XD1/XC4 a jsou vetknuty do základových desek. Úložné prahy na pilířích budou zhotoveny z betonu C30/37 XF4/XD2/XC4.

Rámové pilíře mají navrženou proměnnou šířku průřezu – v nejužším místě jsou 7 m široké, u základu je to 10 m. Ložiskové pilíře mají průřez tvaru H, navíc jsou ztuženy masivním zhlavím pod ložisky o tloušťce 5 m. Krátké pilíře P2 a P9 mají masivní železobetonový průřez půdorysných rozměrů 3×7 m.

4.3 Ložiska

Na opěrách OP1 a OP10 a na pilířích P2, P3, P8 a P9 byla navržena hrncová ložiska Tetron. Na každém z těchto prvků spodní stavby byla navržena dvojice ložisek – jedno z nich je vždy podélně posuvné a druhé je všesměrně posuvné.

Tabulka 1: Návrh ložisek

	R_z	$R_{z/2}$	R_y	ložiska	
	kN	kN	kN	všesměrně pos.	podélně pos.
P3	95589	47795	1947	GL 50000 – 50 – 20	GG 50000 – 2500 – 50
P8	84968	42484	1480	GL 45000 – 50 – 20	GG 45000 – 2250 – 50
P2	44651	22326	2274	GL 24000 – 50 – 20	GG 45000 – 2250 – 50
P9	43493	21747	2096	GL 24000 – 50 – 20	GG 45000 – 2250 – 50
OP1	18108	9054	958	GL 10000 – 50 – 20	GG 20000 – 1000 – 50
OP10	13095	6548	1054	GL 7000 – 50 – 20	GG 20000 – 1000 – 50

4.4 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce je tvořena spojitým (částečně rámovým) dodatečně předpjatým monolitickým betonovým komorovým nosníkem s proměnnou výškou průřezu (s náběhy); nosná konstrukce má celkem 9 polí. Krajiní pole jsou navržena jako přímopásová, v oblasti pilířů je nosná konstrukce ztužena masivními příčníky. Příčné řezy jsou navrženy tak, aby měly stále stejný sklon stěn a umožnily plynulý přechod mezi různě vysokými průřezy. Tloušťka stěn je proměnná – nad podporami mají tloušťku 1,0 m, uprostřed rozpětí 0,6 m, tloušťka se nemění plynule, ale skokovitě, kolem čtvrtin rozpětí jsou stěny 0,8 m silné. 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. Nosná konstrukce bude zhotovena z betonu C35/45 XF2/XD1/XC4.

4.4.1 Předpínací výztuž

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.

Předpínací výztuž je tvořena předpínacími kabely z lan z materiálu Y1860S7 Ls15,7, každé lano po 7 drátech ($\varnothing = 15,7$ mm, $A_{p,0} = 150$ mm²). Měrná hmotnost této výztuže je $m = 1,172$ kg/m'. V konzolových kabelech se počítá v prvních 3 skupinách s 37 lany v kabelu, v poslední skupině s 22 lany v kabelu a v ostatních bude 31 lan. Kabely spojitosti jsou tvořeny 31 nebo 37 lany. Kabely budou napínány z obou stran, na kterých budou zakončeny aktivními kotvami. Konzolové kabely jsou kotveny vždy na čelech lamel, kabely spojitosti jsou kotveny v příčnicích – mezi dvojicí příčniců jsou rozšířené nálitky tak, aby se mohly kabelové kanálky proplést. Součástí výkresové dokumentace jsou i výkresy podélného vedení kabelů a charakteristické příčné řezy. Přesný tvar kabelů spojitosti by záležel na poloze v rámci skupiny – ve výkresové dokumentaci jsou uvedeny vždy jen charakteristické kabely pro každou skupinu.

4.4.2 Betonářská výztuž

Betonářská výztuž nosné konstrukce i spodní stavby je z materiálu B 500B. Detailní návrh betonářské výztuže nebyl v tomto stupni dokumentace proveden.

4.5 Mostní závěry

Na základě maximálních posunů od teploty na opěrách byly navrženy mostní závěry LW400, umožňující posun ± 200 mm.

Tabulka 2: Návrh mostních závěrů

posuny	+	-	Δ	
OP1	201	-128	329	navržen LW 400 ± 200 mm
OP10	130	-204	334	navržen LW 400 ± 200 mm

4.6 Římsy

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.

Na mostě se nacházejí po obou stranách římsy, které jsou do nosné konstrukce kotveny pomocí svislých kotev, boční kotvení je řešeno přesahy betonářské výztuže. Jsou zhotoveny z betonu C35/45 XF4/XD3/XC4.

Pokud není uvedeno jinak, jsou hrany říms zkoseny v poměru 20/20 pomocí lišt vložených do bednění.

4.7 Vozovka

Vozovka je navržena jako třívrstvá o tloušťce 135 mm, skladba vozovkových vrstev je následující:

- Asfaltový koberec mastixový modifikovaný A11S PMB tl. 40 mm
- Asfaltový beton pro ložní vrstvy modifikovaný ACL 16 S PMB tl. 40 mm
- Asfaltový beton pro podkladní vrstvy ACP 22 S tl. 45 mm
- Izolace – natavitelné asfaltové izolační pásy tl. 5 mm
- Pečetící vrstva tl. 5 mm

Mezi vozovkovými asfaltovými vrstvami jsou aplikovány spojovací postřiky modifikované (PS-EP, 0,35 kg/m²). Mezi podkladní vrstvou a izolací se aplikuje infiltrační postřik (PI-E, 0,80 kg/m²).

4.8 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 průměru DN200 a DN300. Jeho vyústění je plánováno za donínskou opěrou (OP1).

4.9 Svodidla

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

4.10 Chodníky

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

4.11 Protihluková stěna

Z důvodu blízkosti zástavby města Pirna v údolí a z důvodu průchodu přírodně cenným územím 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.

4.12 Ostatní mostní vybavení

V komoře mostu je vedena čtveřice kabelových chrániček o průměru DN110.

4.13 Úpravy pod mostem a kolem něj

V prostoru v okolí mostu budou po jeho dokončení provedeny následující úpravy. Bude vybudováno revizní a nouzové schodiště, dojde k odláždění opěr a křídel a svahy pod opěrami budou zpevněny dlažbou z lomového kamene.

5 Postup výstavby

5.1 Obecně

Nosná konstrukce mostu bude stavěna metodou letmé betonáže, krajní pole a přečnívající úseky (část polí P2–P3 a P8–P9) budou stavěny na pevné skruži. Přístup na staveniště bude zajištěn po budované trase silnice B172n a z údolí z místních a účelových komunikací. Kvůli snadnějšímu přístupu na druhý břeh bude zřízen provizorní mostek přes Gottleubu. Během letmé betonáže a dalších stavebních prací bude nutné zohlednit ochranu životních podmínek obyvatel místní části města Pirny (omezit prašnost a hlučnost, dodržovat noční klid), stejně jako ochranu životního prostředí lesních porostů ve svazích údolí. Přímo poblíž základu pilíře P5 se nachází obytný dům č. 47 a pole mezi pilíři P3 a P4 překonává atletický *Kohlbergstadion*.

Některé výkopy budou muset být zapaženy kvůli umístění ve svahu, kvůli těsné blízkosti říčky Gottleuby a kvůli zahradě a místním komunikacím. Účelová komunikace spojující dvorky budov č. 46 a 47 s místní komunikací bude muset být ještě před zahájením výkopových prací přeložena. Po dokončení výkopových prací bude zahájeno vrtání a betonáž velkopřůměrových pilot.

Počítá se s výstavbou vždy dvou vahadel najednou (P3 a P8, P4 a P7, P5 a P6). Konstrukce je rozdělena na jednotlivé betonážní lamely: blíže podpor budou mít délku 3 m, uprostřed rozpětí polí pak 5 m tak, aby jejich hmotnost byla stále vyrovnaná. Kvůli rozdílným délkám polí jsou vahadla pilířů P4 a P7 nesymetrická (na každou stranu mají jiný počet lamel). U pilíře P7 jsou lamely na obou stranách vahadla shodně dlouhé, u P4 se jejich délky liší, maximální rozdíl délky konzol však nepřesahuje 2 m. Po dokončení 13. lamely u vahadla P4 a 11. lamely vahadla P7 dojde nejprve k vybetonování a předepnutí spojitých kabelů závěrných spár směrem k hotovým vahadlům na P3 a P8. Až následně bude pokračováno v betonáži zbývajících lamel směrem do středu mostu. Betonáž lamely bude probíhat v jednom taktu, celková doba cyklu výstavby jedné lamely včetně předpětí a přesunu bednění se uvažuje 7 dní.

U každého z vyšších pilířů je plánováno zřízení věžových jeřábů, které budou k těmto pilířům kotveny. Během letmé betonáže bude beton do úrovně nosné konstrukce dopravován bádiiemi a věžovým jeřábem, dále ke krajním lamelám vahadel se dostane pomocí stabilní pumpy umístěné na zárodcích. Celkový objem betonážních prací bude činit přes 60 000 m³.

Okrajové části mostu budou stavěny na pevné skruži, doba výstavby je odhadována celkově na 60 dní, včetně času na stavbu pevné skruže a její přesun a demontáž. Pilíře mají výšku 60–70 metrů, jsou tedy rozděleny do 10–12 betonážních taktů (v závislosti na jejich výšce) po cca 5 metrech. Při uvážení doby jednoho betonážního taktu 5 dní (na přesun bednění se počítá 1 den, na vázání výztuže 1–2 dny, na betonáž a tvrdnutí betonu 2 dny) se na výstavbu pilířů počítá s 60 dny. Zárodky vahadel se budou stavět 30 dní – je třeba zohlednit velké množství betonářské výztuže, která v nich bude muset být umístěna.

Co se letmé betonáže týče, je nutné zmínit ztužení pilířů ocelovými spojkami tak, aby u nich nedocházelo k nadměrným deformacím od asymetrií vahadel. U vahadel P3 a P8 bude nutné zajistit ztužení mezi pilířem a zárodkem, neboť ve finálním stavu budou tyto pilíře ložiskové. Tato vahadla budou po betonáži čtyř lamel podepřena na jejich vnější straně provizorní podpěrou – ta bude po dokončení betonáže vahadla opět odstraněna. Ztužení pilířů bude odebráno až po definitivním spojení

konstrukce. Během letmé betonáže je nutné sledovat deformace konstrukce a přizpůsobit výstavbu a předpínání tak, aby došlo k případnému nadvýšení konstrukce. Vozíky pro letnou betonáž budou kotveny do otvorů v mostovce přechozích lamel.

Po spojení konstrukce dojde během cca 90 dní k betonáži říms a položení vozovkových vrstev, montáži mostních závěrů, instalaci protihlukových stěn a svodidel. Následně dojde k instalaci dopravního značení a most bude moci být uveden do provozu – k tomu dojde přibližně za 520 dní od zahájení výstavby pilířů (tj. za 550 dní od zahájení stavby včetně založení). Dokončovací práce a terénní úpravy v okolí pilířů a opěr mohou být prováděny už za provozu.

5.2 Popis fází

Schémata stavu konstrukce v jednotlivých fázích jsou součástí výkresové dokumentace.

Výstavba mostu bude probíhat v následujících etapách:

Poznámka: Číslování fází nekoresponduje s číslováním fází ve statickém výpočtu – tam je fází podstatně více.

- Fáze 0 – příprava staveniště
 - sejmутí vegetačního krytu a ornice
 - přeložka kabelových sítí
 - přeložka účelových komunikací v okolí pilíře P5
 - kácení dřevin
 - zřízení vytyčovací sítě
 - zřízení zařízení stanoviště
- Fáze 1 – založení opěr a pilířů
 - výkopové práce, pažení výkopů
 - vrtání a betonáž pilot v prostoru opěr OP1 a OP10
 - vrtání a betonáž pilot v prostoru pilířů P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 a P9
 - betonáž základových desek
- Fáze 2 – stavba opěr a pilířů
 - betonáž základů a dříků opěr OP1 a OP10, betonáž mostních křídel
 - betonáž pilířů P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 a P9
 - dočasné ztužení pilířů P4, P5, P6 a P7
- Fáze 3 – vahadla P3 a P8, pevná skruž
 - stavba pevné skruže a bednění
 - betonáž a předpínání konstrukce na pevné skruži
 - montáž dočasného ztužení na pilířích P3 a P8

- betonáž a předpínání zárodků vahadel P3 a P8
- letmá betonáž vahadel P3 a P8
- montáž provizorních podpěr pod vahadly v polích P2–P3 a P8–P9
- odstranění pevné skruže
- Fáze 4 – vahadla P3 a P8, spojení
 - dokončení letmé betonáže vahadel P3 a P8
 - spojení závěrné spáry mezi krajní konstrukcí a vahadly, následné předpínání
 - odstranění provizorních podpěr pod vahadly v polích P2–P3 a P8–P9
 - betonáž zárodků P4 a P7
- Fáze 5 – vahadla P4 a P7
 - letmá betonáž vahadel P4 a P7
- Fáze 6 – vahadla P4 a P7, spojení
 - propojení vahadel s krajní nosnou konstrukcí
 - dokončení letmé betonáže vahadel P4 a P7 směrem doprostřed mostu
 - betonáž zárodků P5 a P6
- Fáze 7 – vahadla P5 a P6
 - letmá betonáž vahadel P5 a P6
- Fáze 8 – vahadla P5 a P6, spojení
 - dokončení letmé betonáže vahadel P5 a P6
 - vzájemné propojení vahadel a propojení s krajní nosnou konstrukcí
 - odstranění provizorních ztužení pilířů
- Fáze 9 – dokončovací práce
 - betonáž říms – pomocí betonážního vozíku
 - položení hydroizolace
 - montáž mostních závěrů
 - položení ochranných a vozovkových vrstev
 - plentovací zídky
 - montáž protihlukové stěny
 - montáž svodidel
 - montáž odvodňovacího systému
 - dokončení zemních prací za rubem opěr

- betonáž přechodové desky
- odláždění opěr a další úpravy pod mostem, revizní schodiště
- instalace dopravního značení
- vegetační úpravy a další úpravy v okolí mostu

5.3 Průběh typického betonážního taktu letmé betonáže

Součástí výkresové dokumentace je i schéma průběhu typického betonážního taktu letmé betonáže. Celkový čas mezi přesuny z jednoho taktu do druhého je 7 dní – první den dojde k přesunu betonážního vozíku, následující dny se bude vázat výztuž a dojde k umístění kabelových kanálků. Čtvrtého dne dojde k betonáži a beton se bude následující tři dny ošetřovat a bude tvrdnout. Poslední den postupu dojde k předpínání kabelů výztuže a opětovnému přesunu betonážního vozíku.

Lze uvažovat, že se postup prací bude zrychlovat tak, jak se všichni pracovníci budou seznamovat s pracovním postupem.

6 Statický výpočet

Statický výpočet tvoří přílohu č. 1 k textu diplomové práce.

7 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a posoudit předpjatou betonovou nosnou konstrukci mostu přes údolí Gottleuby v Pirně metodou letmé betonáže a tím prověřit možnosti výstavby takového mostu a zhodnotit reálnost navržené konstrukce. Pro detailní návrh byla vybrána varianta komorového nosníku s proměnnou výškou průřezu s největším rozpětím 135 m.

Pro konstrukci byly navrženy optimální průřezy a vybrány vhodné materiály a po předběžných výpočtech bylo definováno vedení předpínací výztuže. Model konstrukce zohledňuje postup výstavby, a tak v jednotlivých stavebních fázích modelu přibývají příslušné prvky konstrukce, předpětí i stavební zatížení od čerstvého betonu a betonážního vozíku. Stanoveno bylo i definitivní zatížení – jak ostatní stálé, tak i proměnná zatížení od dopravy, větru a teploty.

Po provedení výpočtu byla vyhodnocena napětí působící v takto vyztužené konstrukci a v normových kombinacích pro mezní stavy použitelnosti (mezní stav omezení napětí a mezní stav vzniku trhlin) byla porovnána s mezními hodnotami. Pro rozhodující průřezy pak byl v mezním stavu únosnosti porovnán ohybový moment od zatížení s momentem únosnosti. Byla provedena i posouzení vzniku smykových trhlin ve stěnách a základní posouzení pilířů mostu pomocí interakčního diagramu. Konečně byla na základě maximálních posunů a reakcí navržena ložiska a závěry mostu.

Konstrukce byla posouzena na základní návrhové situace a bylo prokázáno, že je realizovatelná. Některá dílčí posouzení jen drobně přesáhla stanovené meze a nevyhověla, ale malými úpravami návrhu v dalším podrobnějším stupni dokumentace lze tyto drobné nedostatky snadno odstranit. Vedení předpínací výztuže by se určitě dalo optimalizovat tak, aby v konstrukci nevznikaly tahy, nebo naopak příliš velké tlaky.

Jistě by bylo nutné posoudit konstrukci i se zohledněním dalších zatížení, pro zatížení větrem by bylo potřeba zpracovat podrobný model a vypracovat dynamický posudek. Taktéž by bylo nutné posoudit konstrukci na různá další namáhání (křehký lom, kroucení, smyk, podélný smyk...) a na příslušná namáhání navrhnout betonářskou výztuž. V pokročilejší fázi návrhu by bylo třeba přesně navrhnout a posoudit založení mostu, prvky spodní stavby, podélnou výztuž desky nosné konstrukce a také kotvení říms.

Pokládám tuto práci za velmi užitečnou, neboť jsem se zdokonalil v užívání výpočetních programů, naučil jsem se práci s různorodými nástroji a nabyl jsem zkušenosti s vypracováním textové a výkresové dokumentace. Domnívám se, že se mi tyto zkušenosti budou v profesním životě hodit.

8 Summary

The master's thesis aimed at design and assessment of the prestressed concrete structure over the Gottleuba Valley in Pirna in order to study the feasibility of the structure. The tapered box girder variant with the maximum span of 135 m and a balanced cantilever method were chosen for the detailed design.

The optimal cross-sections were designed and appropriate materials were chosen in order to comply with the selected variant. After preliminary calculations had been made, the prestressing tendons alignment was defined. The structural model takes into account construction stages by adding respective structural elements, prestress and temporary construction loads, such as wet concrete and form traveller, in each stage. Finally, final state loads—dead loads, traffic loads and wind and temperature actions—were determined.

After the calculation had been performed, the stresses regarding prestressed reinforcement were evaluated. Then they were compared in the combinations defined in the Eurocodes with limit values of the serviceability limit states (crack development state, stress limit state). The ultimate limit states were assessed in the critical cross-sections by comparing load bending moment and resisting bending moment. Control of shear cracks within webs and the basic assessment of the piers by the interaction diagram was done, too. Finally, the bridge bearings and expansion joints were designed in accordance with displacements and reaction forces.

The structure was evaluated in the basic design states and the feasibility was proven. Although few partial assessments slightly overpassed and did not conform given limits, this could be solved by little changes of design in the next more detailed design stage. For example, a prestressing tendon alignment could be improved to avoid tensile and excessive compressive stresses.

Further evaluation of the structure, taking other loads into account, would be needed; the wind action should be assessed within a thorough dynamic model. Other actions, such as brittle failure, torsion, shear or longitudinal shear should be concerned and the reinforcement should be designed to the respective actions.

More advanced design stage would involve design and assessment of the foundations, the sub-structure elements, the longitudinal reinforcement of the bridge deck and the cornice anchorage.

I personally find the thesis very useful, since I have improved my skills in using the computational programmes, I have learned to work with various tools and I have gained experience with report and drawings elaboration. I assume that I will utilize these experiences in my professional career.

Seznamy

Seznam použitých zkratk

- ČSN – česká technická norma
- EN – evropská norma
- NK – nosná konstrukce
- TKP – Technické kvalitativní podmínky
- MSP – mezní stav použitelnosti
- MSÚ – mezní stav únosnosti
- M_{Ed} – návrhový moment od účinku zatížení
- M_{Rd} – návrhový moment únosnosti

Seznam příloh

1. Statický výpočet
2. Výkresová dokumentace
3. Přehled variant a řešerše z diplomového semináře + výkresová dokumentace

Seznam použitých programů

- SCIA Engineer 19.1
- MIDAS Civil 2020
- IDEA Statica 20.1
- MIDAS MCT Command Shell
- PSPad Editor 5.0.3
- Microsoft Excel 2019
- Microsoft Word 2019
- AutoCAD 2020
- T_EXworks 0.6.5
- Inkscape 0.92
- ShareX
- GIMP 2.10
- PDFSam 4.2.1, PDF Tools 15.0

Literatura

Normy

- [1] ČSN EN 206+A1. *Beton*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [2] ČSN EN 1990. *Eurokód 0: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [3] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [4] ČSN EN 1991-1-4. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [5] ČSN EN 1991-1-5. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN EN 1991-1-6. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-6: Obecná zatížení – Zatížení během provádění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [7] ČSN EN 1991-2. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [8] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [9] ČSN EN 1992-2. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [10] ČSN EN ISO 3766. *Výkresy stavebních konstrukcí – Kreslení výztuže do betonu*.
- [11] ČSN EN ISO 15630-1. *Ocel pro výztuž a předpínání do betonu – Zkušební metody – Část 1: Tyče, válcovaný drát a drát pro výztuž do betonu*.
- [12] ČSN EN ISO 15630-3. *Ocel pro výztuž a předpínání do betonu – Zkušební metody – Část 3: Oceli pro předpínání*.
- [13] ČSN EN 10080. *Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel – Všeobecně*
- [14] ČSN 73 6101. *Projektování silnic a dálnic*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [15] ČSN 73 6200. *Mosty – Terminologie a třídění*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

[16] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: *Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty* (TKP18). Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2016. 190 s. [online]

Příručky a komentáře k normám

[17] HRDOUŠEK, Vladislav et al. Navrhování betonových mostů podle norem ČSN EN 1992. Praha: Česká betonářská společnost, 2010. 1. vyd. 182 s. ISBN 978-80-8715-827-2.

[18] HRDOUŠEK, Vladislav et al. Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. 1. vyd. 360 s. ISBN 978-80-8709-390-0.

[19] CALGARO, Jean-Armand. TSCHUMI, Matthias. GULVANESSIAN, Haig. Designers' guide to Eurocode 1: Action on bridges. London: Thomas Telford Limited, 2010. 250 s. ISBN 978-0-7277-3158-6. (angličtina)

[20] HENDY, Chris R. SMITH, David A. Designers' guide to EN 1992-2, Eurocode 2: Design of concrete structures. London: Thomas Telford Limited, 2007. 378 s. ISBN 978-0-7277-3159-3. (angličtina)

[21] PARKE, Gerard. HEWSON, Nigel (ed.). ICE manual of bridge engineering. London: Thomas Telford Limited, 2008. 748 s. ISBN 978-0-7277-3452-5. (angličtina)

[22] HEWSON, Nigel. Prestressed Concrete Bridges: Design and Construction. London: Thomas Telford Limited, 2012. 412 s. ISBN 978-0-7277-4113-4. (angličtina)

[23] ROSIGNOLI, Marco. Bridge Construction Equipment. London: Thomas Telford Limited, 2013. 471 s. ISBN 978-0-7277-5808-8. (angličtina)

[24] NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betonové konstrukce. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2008. 186 s. ISBN 978-80-7204-561-7

[25] 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)

[26] 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)

Skripta

[27] FOGLEAR, Marek. FRANTOVÁ, Michaela. JIŘÍČEK, Pavel. Betonové konstrukce 3: *Navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjátého betonu*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2011. 147 s. ISBN 978-80-0104-943-3

- [28] ŠAFÁŘ, Roman. KUKAŇ, Vlastimil. FOGLAR, Marek. DRAHORÁD, Michal. Betonové mosty 1: *Přednášky*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2011. 192 s. ISBN 978-80-0104-661-6
- [29] ŠAFÁŘ, Roman. Betonové mosty 2: *Přednášky*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2017. 262 s. ISBN 978-80-0105-543-4
- [30] ŠAFÁŘ, Roman. Betonové mosty 2 – Cvičení: *Návrh předpjatého mostu podle Eurokódů*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2015. 252 s. ISBN 978-80-0105-690-5
- [31] ŠAFÁŘ, Roman. PETŘÍK, Milan. TEJ, Petr. Concrete Bridges: *Worked Examples*. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT. 2013. 313 s. ISBN 978-80-0105-179-5 (angličtina)

Periodika

- [32] FOGLAR, Marek. Most přes údolí Gottleuby (Gottleubatalbrücke) v Pirně se představuje. *Silnice-Železnice*, 27. 12. 2019. ISSN 1803-8441. [online]
- [33] 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]
- [34] VRÁBLÍK, Lukáš. HERŠMAN, Jakub. HARAŽIM, Petr. I/27 Velemyšleves – Most přes údolí Chomutovky. In: *Beton TKS 2016/4*. Praha, 2016. S. 8–13. ISSN 1213-3116
- [35] KASUGA, Akio. Od udržitelnosti konstrukce ke konstrukční eleganci. In: *Beton TKS 2015/5*. Praha, 2015. S. 8–13. ISSN 1213-3116. [online]
- [36] VIRLOGEUX, Michel. New trends in prestressed concrete bridges. In: *Structural Concrete*. Vol 3, issue No. 2. S. 67–97. Thomas Telford Limited and *fib*, 2002. ISSN 1464-4177. (angličtina)

Akademické práce

- [37] 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]
- [38] 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]
- [39] LUCKO, Gunnar. GARZA, Jesus M. de la. Constructability Considerations for Balanced Cantilever Construction. In: *Practice Periodical on Structural Design and Construction*. Reston: American Society of Civil Engineers, 2003. 46 s. ISSN 1084-0680. doi: 10.1061/(ASCE)1084-0680(2003)8:1(47). [online] (angličtina)

Podklady výrobců

- [40] Vozík pro letmou betonáž. Doka. [online]
- [41] Předpínací lisy. Napko. [online]
- [42] *Lanový předpínací systém pro mosty a inženýrské konstrukce*. Freyssinet. [online]
- [43] *Předpínací systém Freyssinet: Systém od tvůrce předpjatého betonu*. Freyssinet, 2011. [online]
- [44] *Tetron CD: Mechanická hrncová ložiska*. Freyssinet, 2011. [online]
- [45] *Mostní závěry Freyssinet*. Freyssinet, 2015. [online]
- [46] *Letmá betonáž*. VSL. [online]
- [47] *Dodatečné předpínání*. VSL. [online]
- [48] ŠEVČÍK, P. VSL – technická specifikace: Předpínací systémy VSL 0,5“, 0,6“. Praha: VSL systémy. 64 s.
- [49] European Technical Assessment ETA 06/0006. VSL Post-Tensioning System. Sourdun: Cerema, 2015. 130 s. (angličtina)

Ostatní

- [50] GEIBLER, Karsten. GERBERT, Gregor. Dokumentace stavby Talbrücke Gottleuba. Berlin: DEGES, 2018. (němčina)
- [51] VÍTEK, Jan. Historie předpjatého betonu. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2016. 320 s. ISBN 978-80-8743-884-8. S. 94.
- [52] *B 172n: Ortsumgehung Pirna*. Berlin: DEGES. (němčina) [online]
- [53] Advanced Application 5: Construction Stage Analysis of a FCM Bridge using General Functions. MIDAS Civil. 48 s. (angličtina)
- [54] *Uživatelské příručky SCIA Engineer*. SCIA. [online]

