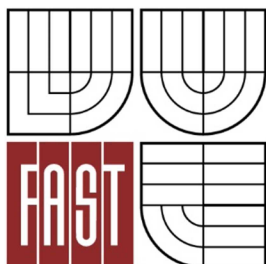




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

MOST NAD ŽELEZNIČNÍ TRATI

BRIDGE ACROSS RAILWAY LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAN KUBELKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JOSEF PANÁČEK

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Jan Kubelka
Název	Most nad železniční tratí
Vedoucí diplomové práce	Ing. Josef Panáček
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015

.....
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

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

Podklady a literatura

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry.

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 diplomové práce.

Zásady pro vypracování

Pro zadaný problém navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

V řešení preferujete variantu šikmé spřažené betonové konstrukce.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu provedte podle mezních stavů.

Prodloužení mostu a úpravy nivelety jsou možné.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady a varianty řešení

P2. Výkresy - přehledné, podrobné a detaily (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce).

P3. Stavební postup a vizualizace

P4. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím diplomové práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě podle směrnic a 1x na CD.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

Ing. Josef Panáček
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na návrh silničního mostu přes železniční trať. Jsou navrženy tři varianty - monolitická konstrukce, most působící jako nosník s náběhem a prefabrikovaný trámový most. Třetí varianta byla zvolena. Pro vytvoření modelu a zjištění vnitřních sil je využit výpočetní program Scia Engineer 15.1. Všechny výpočty jsou provedeny podle Eurokodů.

Klíčová slova

spřažená konstrukce beton-beton, prefabrikovaný trámový most, most o třech polích, statický výpočet, časově závislá analýza, příčník, výkresová dokumentace, vizualizace

Abstract

The final thesis is focused on design of road bridge over a railway track. The design is processed in three options - a cast-in-place concrete structure, bridge as a haunched beam and a prefabricated girder bridge. The third option was chosen. To model the structure and to obtain the internal forces is used FEM computational software Scia Engineer 15.1. All calculations were performed in accordance with Eurocode.

Keywords

composite structure concrete-concrete, prefabricated girder bridge, 3-span bridge, structural design, time dependent analysis, cross beam, drawings, visualization

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Jan Kubelka *Most nad železniční tratí*. Brno, 2016. 26 s., 182 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Josef Panáček

Prohlášení:

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

V Brně dne 15. 1. 2016

.....

podpis autora
Bc. Jan Kubelka

Poděkování:

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Josefovi Panáčkovi za velkou ochotu a plno cenných rad při zpracování diplomové práce. Rovněž si cením rodiny a blízkých přátel za podporu a v neposlední řadě spolužáků a lidí z projekčních firem za skvělé rady, které vedly k zdárnému dokončení této práce. Díky!

OBSAH

1	ÚVOD	9
2	VARIANTY ŘEŠENÍ	10
2.1	Varianta 1	10
2.2	Varianta 2	11
2.3	Varianta 3	11
3	TECHNICKÁ ZPRÁVA	13
3.1	Identifikační údaje mostu	13
3.2	Základní údaje o mostě	14
3.3	Zdůvodnění mostu a jeho umístění	14
3.4	Technické řešení mostu	16
3.5	Výstavba mostu	20
4	ZÁVĚR	23
5	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	24
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	25
7	SEZNAM PŘÍLOH	26

1 ÚVOD

Cílem diplomové práce je návrh betonového mostu přes železniční trať Břeclav – Přerov. Konstrukce se nachází na komunikaci I/55, která je v okolí města nově vedena jako obchvat obce.

V rámci práce jsou navrženy tři varianty – dvě pro monolitickou konstrukci a jedna varianta spřažené konstrukce typu beton-beton. Poslední zmíněná studie je dále detailněji řešena. Pro zpracování projektu mi byly poskytnuty výkresy terénu okolí a nivelety pozemní komunikace a železnice, dále geotechnické podklady.

Statický výpočet byl prováděn jak ručním výpočtem, tak za pomoci statického programu Scia Engineer 15. Obsah statického výpočtu odpovídá běžným postupům – modelování konstrukce, analýza vnitřních sil, posouzení. Veškeré posudky jsou provedeny dle platných norem, zejména pak dle Eurokódů. Jako stěžejní část výpočtu bych označil fázovanou výstavbu, kterou jsem poprvé celou modeloval v programu a z jejíchž výsledků jsem čerpal v následujících kapitolách. Výpočet jsem se snažil „oživit“ i o posudky jiných částí nosné konstrukce, dále pak o pilotový základ.

Výkresová dokumentace obsahuje základní výkresy doplněné o detail, kterým je výkres výztuže pilotového základu u podpěry 2. Výkresy, stejně jako vizualizace mostu, jsou provedeny v programu AutoCAD 2015.

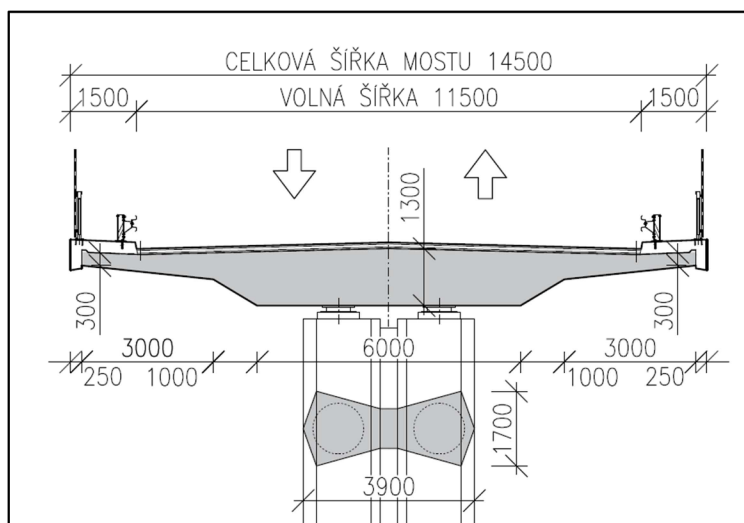
2 VARIANTY ŘEŠENÍ

V rámci projektu byly vypracovány 3 studie řešení, přičemž dle zadání diplomové práce má být preferována varianta šikmé spřažené konstrukce. Hlavním problémem při návrhu byla malá možnost stavební výšky nosné konstrukce, neboť mezi navrženou niveletou a horní hranou průjezdného profilu vlaku je pouze 2,06 m včetně vozovky. Konkrétní návrh byl proveden ve spolupráci s doporučením ŘSD, kde v katalogu pro dané rozpětí a počet polí doporučují různé varianty mostů.

2.1 Varianta 1

První navrženou variantou je **monolitická deskotrémová konstrukce** o třech polích s rozpětím 23,0 – 34,0 – 23,0 m. Dle doporučení se výška trámu má pohybovat v rozmezí 0,9 až 1,4 m (záleží na rozpětí), navržená výška činí 1,30 m. Rezerva nejnižší části nosné konstrukce a průjezdného profilu tedy činí 0,619 m. Konstrukce je uložena vždy na dvojici hrncových ložisek, pilíře i opěry jsou založeny na velkopřůměrových pilotách. Výhodou je uložení trámu přímo na ložiska, odpadá nutnost vnitřních příčníků.

Desková konstrukce znamená více objemu betonu, než ve zvolené třetí variantě, což nepříznivě vede na větší zatížení vlastní tíhou. Dle ukazatelů ŘSD¹ si po finanční stránce vede nejhůře, cena za založení, spodní stavbu, nosnou konstrukci a příslušenství se pohybuje okolo 33 500 Kč/m². Největší nevýhodou této konstrukce však považují betonáž na skruži. Konstrukce totiž přemostňuje železniční trať Břeclav – Přerov, která spadá do druhého železničního koridoru. Uzavírka této tratě po dobu od stavby skruže, přes betonáž až po odstranění skruže je finančně nesrovnatelně dražší než třetí vybraná varianta.



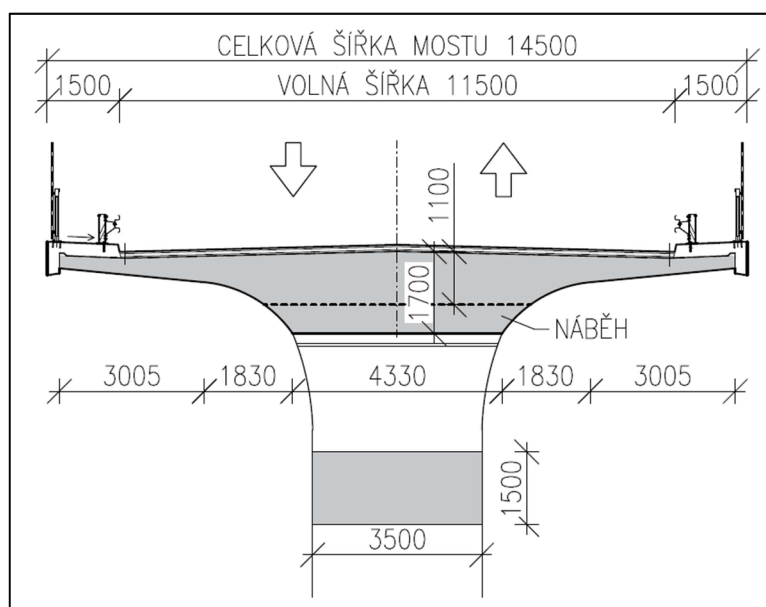
Obr. 2-1 Příčný řez varianty 1

¹ ŘSD ČR: *Katalog mostů 9/2014*, 2014

2.2 Varianta 2

I přes zmiňované ekonomické nevýhody jsem se rozhodl i druhou variantu navrhnout jako **monolitickou deskotránovou konstrukci**. V podélném směru se opět jedná o most o třech polích s mírnou úpravou rozpětí na 25,0 – 31,0 – 25,0 m. Výhodou této varianty je přítomnost náběhů nad vnitřními podpěrami. Díky této skutečnosti je docíleno výšky trámu 1,10 v poli a 1,70 m nad podporou a tím i větší rezervy mezi nejnižší hranou nosné konstrukce a průjezdným profilem na 0,683 m. Spojitý nosník s náběhem je rovněž staticky výhodnější než varianta bez náběhu. Další změnou oproti první variantě jsou vrubové klouby u podpěry 2 a 3. Ty jsou bezesporu levnější a pohodlnější na údržbu než hrncová ložiska. Dnes nazývané „semi-intergrální mosty“ se opět dostávají do popularity (stejně jako plně integrované mosty), jejich řešení je však složitější, neboť by se konstrukce měla řešit v interakci s podložím. Most je založen hlubinně na velkopřůměrových pilotách.

Ekonomické problémy jsou stejné jako varianta 1, po estetické stránce však považuji tuto variantu za nejzdařilejší.



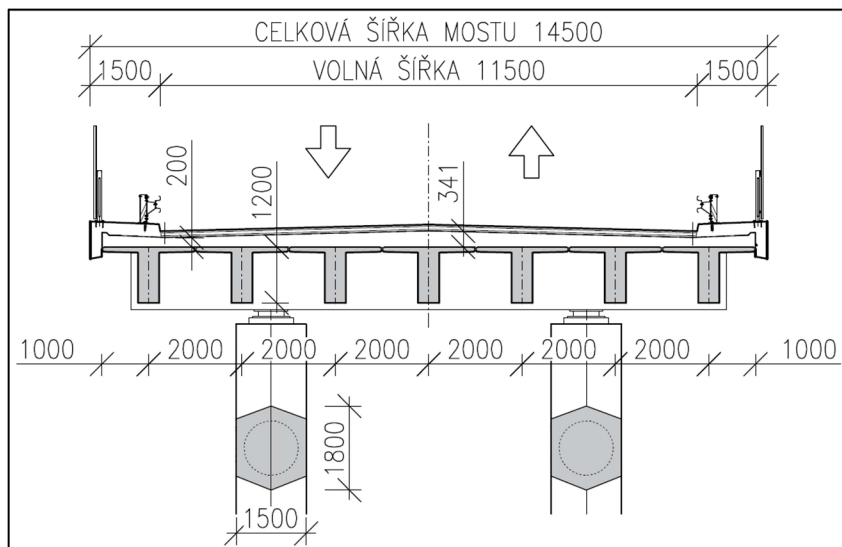
Obr. 2-2 Příčný řez varianty 2

2.3 Varianta 3

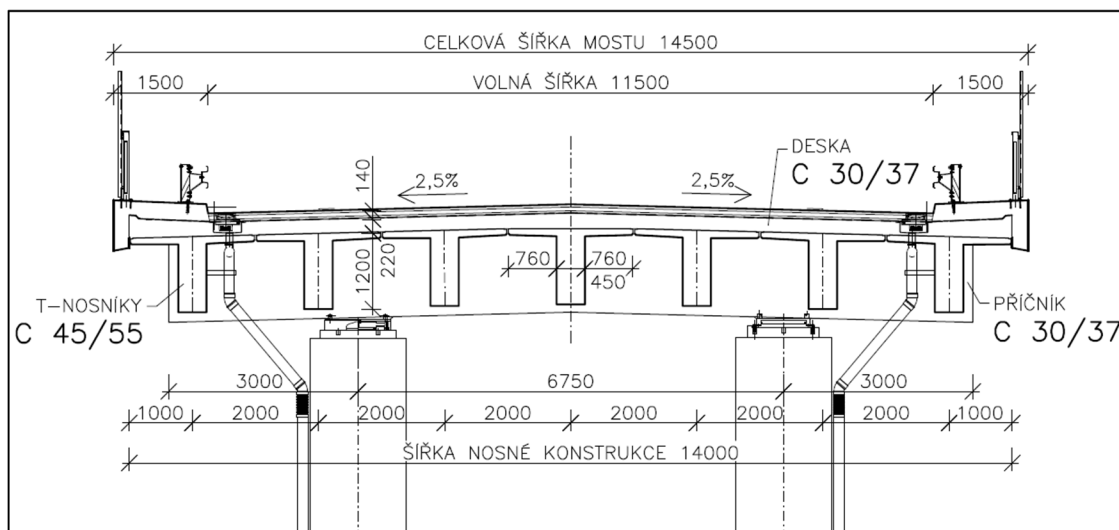
Řešenou variantou je **spřážená konstrukce** z předpjatých prefabrikovaných nosníků tvaru T a monolitické desky. Stejně jako první varianta jsou rozpětí polí 23,0 – 34,0 – 23,0 m. Výška nosníku se podle podkladů ŘSD a podkladů od výrobců těchto nosníků pohybuje v rozmezí 1,1 až 1,5 m, zvolená výška je 1,20 m. Tloušťka desky je proměnná 0,20 až 0,34 m, během detailnějšího projektování této varianty však došlo ke změně a tloušťka desky je téměř po celé šířce konstantní 0,22 m. Tato úprava vedla ke zmenšení zatížení od vlastní tíhy, což vedlo příznivěji na návrh předpětí. Kontrolovaná rezervní hodnota je pouze 0,396 m, což je nejméně příznivý výsledek ze všech tří variant. Tato hodnota by však měla být stále

dostačující. Obdobně jako první varianta je nosná konstrukce osazena na dvojicích hrncových ložisek, která leží na opěrách a podpěrách založených na velkopřůměrových pilotách. Oproti variantě došlo i k mírné úpravě tvaru podpěr během projektování.

Dle katalogu ŘSD vychází prefabrikovaná varianta příznivěji, porovnávaná cena činí 27 900 Kč/m². A již zmiňovanou výhodou a důvodem pro vybrání této varianty je rychlé osazení prefabrikovaných nosníků na montážní podpěry (např. v nočních víkendových hodinách) a tím i výrazně menší omezení dopravy na této trati. Tato varianta je běžně používaná pro dané rozpětí a překážky.



Obr. 2-3 Příčný řez varianty 3



Obr. 2-4 Příčný řez varianty 3 po konečných úpravách

3 TECHNICKÁ ZPRÁVA

3.1 Identifikační údaje mostu

Stavba:	I/55 Břeclav, obchvat
Název:	Most přes železniční trať Břeclav – Přerov
Evidenční číslo mostu:	–
Předmět přemostění:	železniční trať Břeclav – Přerov
Silnice:	I/55
Katastrální území:	Břeclav
Obec:	Břeclav
Kraj:	Jihomoravský
Investor:	Ředitelství silnic a dálnic ČR Na Pankráci 456/56 140 00 Praha 4
Správce:	Ředitelství silnic a dálnic ČR Na Pankráci 456/56 140 00 Praha 4
Projektant mostu:	Jan Kubelka
Pozemní komunikace:	I/55
Bod křížení:	

Osa silnice I/55 s osou výtažné koleje	Y = 580 563,638	X = 1 209 364,202
Staničení na silnici I/55	km 7,924 465	
Staničení na trati ČD	km 86,282 699	
Úhel křížení	56,2°	
Osa silnice I/55 s osou koleje č. 1	Y = 580 563,874	X = 1 209 355,521
Staničení na silnici I/55	km 7,933 149	
Staničení na trati ČD	km 86,287 567	
Úhel křížení	55,9°	
Osa silnice I/55 s osou koleje č. 2	Y = 580 564,009	X = 1 209 350,558
Staničení na silnici I/55	km 7,938 114	
Staničení na trati ČD	km 86,290 350	
Úhel křížení	55,8°	

Šikmost mostu: 56,9°

3.2 Základní údaje o mostě

Charakteristika mostu:

Most převádí komunikaci I/55 ve směru Reintal – Hodonín přes železniční trať Břeclav – Přerov. Je navržena šikmá betonová konstrukce s pravou šikmostí 56,9°. Most se skládá ze 3 polí o rozpětí 23,0 – 34,0 – 23,0 m. Nosnou konstrukci tvoří v příčném řezu 7 předpjatých prefabrikovaných nosníků tvaru T výšky 1,20 m, jenž jsou spřaženy s monolitickou deskou tloušťky 0,22 m. Konstrukce je prostřednictvím příčníků uložena na dvojicích hrncových ložisek. Opěry i podpěry jsou založeny na vrtaných pilotách.

Délka přemostění:	78,83 m
Délka mostu:	94,90 m
Délka nosné konstrukce:	80,70 m
Rozpětí jednotlivých polí:	23,00 – 34,00 – 23,00 m
Šikmost mostu:	pravá
Volná šířka mostu:	11,50 m
Šířka průchozího prostoru:	2 x 0,75 m
Šířka mostu:	14,50 m
Výška mostu nad terénem:	6,93 až 9,60 m
Stavební výška:	1,56 až 1,58 m
Plocha nosné konstrukce:	1136,25 m ²
Zatížení mostu:	zatěžovací skupina 1 (dle ČSN EN 1991-2)

3.3 Zdůvodnění mostu a jeho umístění

3.3.1 Účel mostu a požadavky na jeho řešení:

Silniční betonový most je součástí obchvatu města Břeclav. Obchvat je součástí komunikace I/55 a směřuje k napojení na dálnici D2. Cílem stavby je odklonění těžké tranzitní dopravy mimo město, kudy stávající komunikace I/55 vede. Šířkové uspořádání na mostě je odvozeno z kategorie S 11,5/80. Volná šířka na mostě je 11,5 m, vozovka je po obou stranách lemována chodníky s průchozí šířkou 0,75 m. Po obou stranách se nachází mostní svodidlo a zábradlí se svislou výplní, nad tratí dále v délce 20 m protidotyková zábrana výšky 2,0 m. V podélném směru se most skládá ze 3 polí, přičemž všechny tři železniční tratě jsou umístěné ve středním poli o rozpětí 34,0 m.

3.3.2 Charakter přemostované překážky a převáděné komunikace:

Komunikace I/55 Reintal – Břeclav je v úseku mostu přibližně 8,0 – 8,8 m nad kolejemi železniční tratě. Směrově je komunikace po celé délce nosné konstrukce vedena v přímé, teprve od km 7,978 08 začíná přechodnice s parametrem $A = 242,555$ m a délkou $L = 119,216$ m. Napojení přechodnice na kružnicový oblouk je již mimo most ve staničení km 8,097 30. V příčném řezu má silnice střechovitý sklon 2,5%, revizní chodníky jsou v příčném sklonu 4,0%. Výškově je trasa vedena ve vypuklém oblouku. Vrchol se nachází mimo konstrukci mostu ve staničení km 7,783 23. Poloměr oblouku $R = 5000$ m, tečna $T = 198,547$ m, svislá vzdálenost $y = 3,942$ m. Z tohoto důvodu je podélný sklon proměnný v rozmezí 1,44% až 3,14%. Vzhledem k šikmosti překážky je i celá konstrukce mostu navržena s pravou šikmostí 56,9°.

Přemostovanou překážkou jsou tři elektrifikované železniční tratě. Zleva výtažná kolej, kolej č. 1 a kolej č. 2. Výtažná kolej je definována samostatným mostním průjezdným profilem MPP 3,0, koleje č. 1 a 2 potom sdruženým profilem. Výška obou profilů je 6,20 m. Rezervní svislá vzdálenost mezi nejnižší hranou nosné konstrukce a MPP je 0,373 m. Kolejiště je vedeno v násypu výšky 1,5 – 3,5 m, podél koleje č. 2 je veden příkop hloubky cca 2,0 m.

3.3.3 Územní podmínky:

Most přes trať Břeclav – Přerov je situován východně od města Břeclav v jeho katastrálním území. Mimo uváděné kolejiště se v tomto prostoru nachází rodinný dům, který bude zdemolován. Vpravo podél trati ČD prochází místní komunikace, která se kříží s nově navrženou silnicí I/55 v km 7,846 320 (tj. cca 90 m před železničními tratěmi Břeclav – Prostějov) a kterou přemostuje sousední mostní objekt. Vlevo podél trati se nachází již uváděný odvodňovací příkop, který plní funkci odvodnění železniční trati.

3.3.4 Geotechnické podmínky:

Z geomorfologického hlediska náleží zájmové území k tzv. Západopanonské pánvi a podle dalšího členění patří do Dolnomoravského úvalu. Podnebí je charakterizováno jako teplé, suché s mírnou zimou, s průměrnou roční teplotou cca 9,2 °C. Průměrné roční srážky jsou 552 mm. Nejnížší vodní srážky jsou od ledna do března cca 29 mm, nejvyšší v červenci 76 mm.

Z regionálního členění patří zájmové území ke kvartérním sedimentům řeky Dyje. Tato řeka zde v minulosti meandrovala, vytvářela boční a slepá ramena a ukládala různé typy fluvialních sedimentů (šterky, písky, povodňové jíly).

Vzhledem k tomu, že lokalita leží již v dolním toku této řeky, převažují zde výrazně jemnozrnné fluvialní sedimenty kvartérního stáří, které jsou litologicky tvořeny povodňovými, proměnlivě písčitymi jíly až jílovitými písky s nepravidelnou příměsí drobného šterku. V jejich podloží se nacházejí polohy středně zrnitých písků a šterků s nepravidelnými vložkami převážně písčitých jílu. Tyto sedimenty do sebe nepravidelně (většinou velmi ostře) faciálně přecházejí.

Podloží kvartérních sedimentů je tvořeno jíly terciárního (neogenního) stáří. Jíly jsou většinou šedé až modrošedé barvy a nacházejí se v nich nepravidelné, různě mocné vložky písků a drobnozrnných štěrků. V západní části zkoumaného území (cca v okolí Poštovné) bylo v neogenních jílech zastíženo několik slojek uhlí (lignit). Nelze vyloučit, že se tyto uhelné kaustobiolity mohou nacházet i mimo uvedenou oblast.

Hydrogeologické poměry: Podzemní voda je akumulována v kvartérních píscích, případně štěrkopíscích a má většinou hydraulickou spojitost s řekou Dyjí a jejími říčními koryty. Hladina podzemní vody byla zastížena všemi provedenými průzkumy, nachází se poměrně nízko pod stávajícím terénem a její výška bude kolísat v závislosti na výšce vody v okolních vodotečích.

Vzhledem k tomu, že v terciérních jílech byly zastíženy nepravidelné polohy písků až štěrků (křemičitanové konkrece), lze i v těchto sedimentech očekávat další vodní horizonty. Hladiny naražené a ustálené podzemní vody jsou zachyceny v geologických profilech vrtů.

Podzemní voda je označena jako velmi tvrdá a podle obsahu oxidu uhličitého bude útočná vůči konstrukcím ze železa a betonu. Podle laboratorního rozboru podzemní vody z vrtu V36 se jedná o vodu silně agresivní vůči betonu podle ČSN 73 1215. Z toho plyne stupeň agresivity A1 podle ČSN EN 206-1.

V oblasti mostního objektu jsou k dispozici 2 jádrové průzkumné vrty J2 a V36, a penetrační sonda P1, které jsou vykresleny v podélném řezu mostem. Podrobnější informace jsou ve zprávě uvedeného inženýrsko-geologického průzkumu od firmy Geostar.

Z uvedených sond vyplývá, že pod povrchovou vrstvou ornice tl. 0,40 až 0,60 m se nachází jemné až středně zrnité, silně jílovité písky (S5, S4) do hloubky cca 3,0 m pod terénem. Následují jemnozrnné písky, slabě jílovité písky (S3) do hloubky cca 4,80 až 5,20 m. Další vrstvy tvoří jemnozrnné silně jílovité, zvodnělé písky (převážně S5). V hloubce 8,40 až 8,70 m pod terénem je podloží neogenních jíllů, místy písčitých jíllů, tuhé až pevné konzistence (F4).

S ohledem na spojitou mostní konstrukci je nutné uplatnit založení na vrtaných pilotách. V daném případě neogenního jílovitého podloží se jedná o tzv. plovoucí piloty.

3.3.5 Vybavení mostu:

Vybavení mostu je klasické – povrch vozovky je tvořen asfaltovým souvrstvím, chodníky jsou umístěny na betonových římsách, které jsou ze strany od vozovky lemovány svodidlem JSMNH4/H2 bez výplně. Na krajích římsy je umístěno mostní ocelové zábradlí výšky 1,1 m. V délce 20 m nad železnicí je k zábradlí připevněna i protidotyková zábrana výšky 2,0 m. Most je doplněn o mostní odvodňovače. Žádné osvětlení ani jiné vybavení není na mostě projektováno.

3.4 Technické řešení mostu

3.4.1 Popis konstrukce mostu

ZALOŽENÍ MOSTU

Vzhledem ke geotechnickým podmínkám jsou navrženy plovoucí velkopřůměrové vrtané piloty z betonu C 20/25, XA1. U opěry 1 a 4 jsou piloty o průměru 0,9 m rozmístěny rovnoměrně po celé délce základu. Celkem se jedná o 7 pilot pod každou opěrou osově od sebe vzdálených 2,5 m a 2 piloty pod křídly mostu. Podpěru 2 a 3 tvoří vždy dvojice sloupů, přičemž každý sloup je založen na čtveřici pilot o průměru 1,2 m osově od sebe vzdálených 2,5 m. Délka všech pilot je 10,0 m.

SPODNÍ STAVBA

Opěra 1 je založena na 7 ks vrtaných pilot. Základový pás o rozměrech 2,40 x 16,71 x 1,50 m je tvořen z betonu C25/30, XC2. Následuje dřík a úložný práh šířky 1,5 m, dále závěrná zídka, vše z betonu C30/37, XC4. Svahování úložného prahu je k líci opěry. Celková výška opěry 1 je 5,38 m. Opěru doplňují zavěšená kolmá křídla délky 6,25 m z betonu C30/37, XC4. V přechodové oblasti je na závěrnou zídku přes vrubový kloub uložena přechodová deska délky 5,0 m z betonu C25/30, XF1. Opěra je z rubové strany odvodňována drenážní trubkou DN 100.

Opěra 4 má stejné uspořádání, liší se pouze v celkové výšce, která činí 5,41 m

Podpěru 2 tvoří 2 sloupy šestiúhelníkového průřezu s průměrem kružnice opsané 1,70 m. Délka hrany je tedy polovina průměru 0,85 m. Sloup je založen na základové patce o rozměrech 4,70 x 4,70 x 1,50 m, která je podepřena čtveřicí vrtaných pilot. Horní plochy patky jsou svahovány ve sklony 4,0% pro lepší odtok vody. Základová patka je z betonu C25/30, XC2, sloup z betonu C30/37, XC4. Celková výška podpěry činí 10,82 m. Podél sloupu je veden svod odvodnění DN 150.

Podpěra 2 má stejné uspořádání, liší se pouze v celkové výšce, která činí 11,30 m.

Celá spodní stavba je navržena v souladu s celkovou šikmostí mostu 56,9°. Veškeré základy leží na podkladním betonu tloušťky 0,15 m, beton C12/15, XA1.

NOSNÁ KONSTRUKCE MOSTU

Most tvoří spojitá spřažená konstrukce o rozpětí 23,0 – 34,0 – 23,0 m. V příčném řezu nosnou konstrukci tvoří 7 prefabrikovaných nosníků tvaru T 2000/1200 z předpjatého betonu C45/55, XF2, osově od sebe vzdálených 2,0 m. V poli 1 a 3 je délka nosníků 23,0 m, v prostředním poli je délka nosníků 33,3 m. Nosníky jsou spřaženy monolitickou deskou tloušťky 0,22 m, šířky 14,0 m. Dále jsou nosníky spojeny krajními i vnitřními příčnicí. Krajní příčnice jsou široké 1,2 m, vnitřní 1,9 m. Deska i příčnice jsou navrženy z betonu C30/37 XF1.

Trámy v poli 1 a 3 jsou předem předpjaty 10 lany, prostřední trámy 23 lany. Po zmonolitnění mostu dojde k dodatečnému předpětí celkem 7 kabely (v každém trámu je jeden). Kabel je složen z 12 lan, materiál všech předpínacích prvků je Y 1860 S7-15,7-A.

Nosná konstrukce je založena vždy na dvojici hrcových ložisek, přičemž pevná ložiska jsou umístěna u podpory 2 a 3 a tím konstrukce působí jako rozpěráková. Svislá únosnost ložisek je 3750 kN u opěry 1 a 4, 10000 kN u podpěr 2 a 3. Konkrétní umístění ložisek je znázorněno v půdoryse mostu.

U krajních opěr jsou osazeny dilatační závěry s pohybem +/- 30 mm. Je navržen povrchový mostní závěr s jednoduchým těsněním.

IZOLACE

Celý povrch nosné konstrukce je chráněn natavovanými asfaltovými izolačními pásy tloušťky 5 mm. Pod asfaltovými pásy se nachází pečetící vrstva. Pro zabezpečení izolace na rubu je navržena drenážní a ochranná geotextilie. Přechodová deska je rovněž izolována NAIP. Rubové zasypané strany opěr jsou chráněny nátěry proti zemní vlhkosti 1 x ALP a 2 x ALN. V líci 0,3 m pod upravený terén.

VOZOVKA

Vozovka komunikace I/55 je na mostě navržena následovně:

- Asfaltový koberec mastixový SMA 11 A z modif. asfaltu gradace 45/80	40 mm
- Spojovací postřik	
- Asfaltový beton hrubozrnný ACL 16 S z modif. asfaltu gradace 25/55	60 mm
- Litý asfalt MA 11 IV z modif. asfaltu gradace 10/40 nebo 25/55 s posypem předobalenou drtí 4/8 ... 2-3 kg/m ²	35 mm
- Asfaltové izolační pásy	5 mm
- Pečetící vrstva speciální epoxidovou plyskyřicí CELKEM	140 mm

Skladba vozovky odpovídá intenzitě dopravy na mostě.

ŘÍMSY

Monolitické římsy délky 98,0 m jsou z betonu C30/37, XF4. Jsou navrženy v příčném sklonu 4,0%. Délka římsy je 1,5 m. Převíslá část římsy je vysoká 0,8 m, široká 0,25 m. V římsách nejsou umístěny žádné chráničky ani jiná zařízení. Z vozovkové strany je na římsu osazeno svodidlo, z vnější strany zábradelní svodidlo. V délce 20 m nad železniční tratí také protidotyková zábrana. Obrubník římsy je standardní výšky 150 mm, u styku s vozovkou upraven těsnící zálivkou s předtěsněním. Na chodníkové části je povrch římsy upraven příčnou striáží, celkový povrch římsy je chráněn hydrofobním nátěrem. Římsy jsou připojeny k nosné konstrukci prostřednictvím dodatečně vlepovaných kotev.

MOSTNÍ ODVODŇOVAČE A RIGOLY

Samotná komunikace je odvodňována střešovitým příčným sklonem 2,5% a podélným sklonem s proměnnou hodnotou 1,44% až 3,14%. U podpěry 2, 3 a u opěry 4 jsou po obou stranách dále navrženy mostní odvodňovače (např. typu „Labe“). Odvodňovače jsou svedeny do svodu DN 150, který rovnoběžně s podpěrrou (resp. opěrou) svádí vodu k příkopům podél železniční tratě.

Rub opěry 1 a 4 je odvodněn pomocí drenážní trubky DN 100, která je obalena drenážním betonem. Trubka je v příčném sklonu 3% vyvedena z násypového kužele ven.

Na začátku a konci mostu je navržena snížená dlažba z lomového kamene, která odvádí vodu z komunikace směrem k betonovým žlabovkám, jež ústí do vývařiště se vsakovací jímkou.

3.4.2 Vybavení mostu

SVODIDLA

Na mostě je navrženo po obou stranách komunikace jednostranné mostní svodidlo JMSNH4/H2 bez výplně. Délka svodidla je 94,0 m, sloupky jsou rozmístěny po 2,0 m a kotveny do římsy pomocí šroubů. Výška svodidla činí 0,75 m. Na obou koncích je svodidlo napojeno na silniční svodidlo, které lemuje komunikaci I/55 v násypu. Volná šířka mezi svodidly je 11,5 m.

ZÁBRADLÍ

Na římsách je dále přikotveno pomocí šroubů mostní ocelové zábradlí se svislou výplní výšky 1,1 m. Délka zábradlí je 93,0 m, sloupky jsou stejně jako u svodidla po 2,0 m. Svislá výplň splňuje limity osové vzdálenosti 80 – 120 mm.

PROTIDOTYKOVÁ ZÁBRANA

Na délce 20,0 m je navržena po obou stranách mostu protidotyková zábrana výšky 2,0 m. Zábrana je tvořena z husté sítě. Ke sloupkům jsou přišroubovány nosné ocelové stojky tvaru T s výztuhami, k nim jsou následně přišroubovány svařované rámy z úhelníků. Je splněna podmínka nejkratší prostorové vzdálenosti kraje protidotykové zábrany od živé části trakčního vedení 2250 mm.

OSVĚTLENÍ

Na mostě se osvětlení nevyskytuje.

KONSTRUKCE PRO PŘEVEDENÍ SÍTĚ

Na mostě se žádné inženýrské sítě nevyskytují.

REVIZNÍ SCHODIŠTĚ

U opěry 1 se revizní schodiště vyskytuje po pravé straně mostu, u opěry 4 po levé straně mostu. Schody jsou provedeny z betonových dílců širokých 0,75 m, lemovány betonovým patníkem. Schodiště kopíruje sklon svahu 1:1,5.

ÚPRAVY POD MOSTEM

Svahy pod mostem ve sklonu 1:1,5 jsou zpevněny kamennou dlažbou tloušťky 200 mm umístěné do betonu tloušťky 100 mm a na štěrkopískový podsyp tloušťky 100 mm. Zpevnění je zakončeno betonovým prahem o průřezu 300 x 500 mm z betonu C25/30, XF3. Zpevnění je rozšířeno o 0,5 m mimo konstrukci mostu. Nezpevněné plochy budou řádně ohumusovány.

PROTIHLUKOVÁ STĚNA

Na mostě se protihluková stěna nevyskytuje.

STÁLÉ ZAŘÍZENÍ

Stálé zařízení není součástí mostu.

LETOPOČET

Vyznačení roku dokončení stavby bude provedeno na křídle u opěry 1. Letopočet bude zajištěn vlysem do betonu.

DOPRAVNÍ ZNAČENÍ

Na mostě se dopravní značení nevyskytuje.

3.4.3 Statické a hydrotechnické posouzení

Statický výpočet byl proveden podle platných norem a dokumentů. Část výpočtů byla provedena ve statickém programu Scia Engineer 15.1, jiná část ručním výpočtem. Statický výpočet obsahuje následující záležitosti: návrh konstrukce, vytvoření modelů, zatížení a předpětí mostu, fázovaná výstavba, analýza vnitřních sil vč. jejich kombinací, posouzení v MSP (omezení napětí, šířky trhlin a deformací), posouzení v MSÚ (ohyb a smyk v podélném a příčném směru, kroucení, analýza příčnicku), vybrané posudky ostatních částí nosné konstrukce, posouzení pilot u opěry 2.

Výsledky statického výpočtu vyhověly.

Hydrotechnický výpočet není součástí tohoto projektu.

3.4.4 Cizí zařízení na mostě

Na mostě není umístěno žádné cizí zařízení.

3.4.5 Řešení protikorozní ochrany a bludné proudy

Není řešeno.

3.4.6 Požadované podmínky a měření sedání

Budou sledovány délkové posuny a průhyb nosné konstrukce mostu. Přesnost a provádění prací se řídí dle platných norem.

3.4.7 Požadované zatěžovací zkoušky

Zatěžovací zkoušky budou provedeny dle požadavků platných norem, resp. dle požadavků investora.

3.5 Výstavba mostu

3.5.1 Postup a technologie stavby mostu

SPODNÍ STAVBA

Před zahájením stavebních prací dojde ke skrývce ornice do hloubky 150 mm a přípravy stanoviště. V místě založení podpěr dojde k výkopovým pracím, pažení. U opěr se provedou konsolidační násypy navazující na násypy komunikace I/55, budou dostatečně zhutněny. Část násypu bude odtěžena pro založení opěr. Provedou se vrtané piloty u opěr a podpěr. Po pilotáži bude povrch zalit podkladním betonem, na kterém se začnou stavět základové pásy u opěr a základové patky u podpěr. Na to naváže u opěr betonáž dřívků, úložných prahů a křídel. Budou vybudovány sloupy podpěr. Provede se hydroizolace, úpravy za rubem opěr, zásyp a zhutnění. Osadí se ložiska.

NOSNÁ KONSTRUKCE

Nosné předpjaté trámy se dočasně uloží na montážní podpěry, které se pro tento účel vybudují vedle stávajících opěr a podpěr. Po uložení nosníků dojde k jejich zmonolitnění spřahující deskou a vybetonování příčníků. U krajních příčníků vzniknou kapsy pro předpínací výztuž. Dojde k osazení nosné konstrukce na finální ložiska. Odstraní se dočasné podpěry. Po dodatečném předpětí nosníků se zabetonují i kapsy s kotvami. Vybetonuje se závěrná zídka, přechodová deska a dojde k osazení závěrů. Provedou se poslední úpravy a dosyp za rubem opěr.

MOSTNÍ SVRŠEK

Po dokončení prací na nosné konstrukci mostu bude natažena plošná hydroizolace, na kterou se vybetonují římsy. Osadí se odvodňovače a provede se kryt vozovky. Na římsy se postupně připevní svodidla a zábradlí. Na část zábradlí bude upevněna protidotyková zábrana.

DOKONČOVACÍ PRÁCE

Na začátku a konce mostu budou provedeny snížené přechody mezi římsou na nezpevněnou krajnicí z lomového kamene. Vybudují se žlaby, vývařiště se vsakovací jímkou. Postaví se revizní schodiště. Povrch svahu se upraví, pod mostem zpevní kamennou dlažbou a do paty se osadí betonový patník. Dojde k ohumusování svahů.

Postup výstavby je znázorněn v příloze P3.

3.5.2 Požadavky na materiály

Betony:

Nosníky	C45/55, XF2
Deska, příčnický	C30/37, XF1
Úložný práh, závěrná zídka, dřívík, křídla	C30/37, XC4
Pilíře	C30/37, XC4
Základy	C25/30, XC2
Přechodová deska	C25/30, XF1
Podkladní beton	C12/15, XA1
Vrtané piloty	C20/25, XA1
Betonový práh, schodiště	C25/30, XF3
Betonářská výztuž:	B 500 B

Předpínací výztuž:

Předem předpjatá výztuž Y1860 S7-15,7-A

Dodatečně předpjatá výztuž Y1860 S7-15,7-A

3.5.3 Bezpečnost práce a jiné požadavky

Na stavbu nejsou kladeny žádné jiné zvláštní požadavky, je proveditelná běžnými technologickými postupy a splňuje obecné požadavky na výstavbu. Bezpečnost práce a ochrana zdraví se řídí ustanovením zákona 309/2006 Sb. o zajištění podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci s nařízením vlády 591/2006 Sb. o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích a její zajištění je plně v kompetenci zhotovitele stavby. Bezpečnost stavby po uvedení do provozu je zajištěna navrženým stavebně-konstrukčním uspořádáním.

V Brně dne 15. 1. 2016

.....

Jan Kubelka

4 ZÁVĚR

Vzhledem k tomu, že moje bakalářská práce byla také věnována návrhu betonového trémového mostu, snažil jsem se diplomovou práci zaměřit zejména na ty posudky, které se u monolitické dvoutrémové konstrukce nevyskytovaly. Velká pozornost a téměř měsíc práce byl věnován analýze fázované výstavby. S touto problematikou jsem se setkal během studia jen párkrát a téměř vždy v rámci kratšího ručně počítaného příkladu. Diplomová práce je tedy premiérou pro výpočet časové analýzy mostu v rámci programu Scia Engineer. Další změnou byla přítomnost příčníků a jejich částečné posouzení. A aby práce nebyla pouze posouzením nosné konstrukce, doplnil jsem statický výpočet i výkresovou dokumentaci o pilotový základ, čímž jsem si oživil znalosti i z jiných předmětů. Naopak výpočet ztrát předpětí byl v diplomové práci zkrácen, neboť tomu byla věnována značná část práce předchozí.

Hlavně výkresovou dokumentaci potom ovlivnily mé pracovní zkušenosti ze stavby a z projekční kanceláře, za které jsem velmi vděčný.

5 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

NORMY

ČSN 73 6101 *Projektování silnic a dálnic*

ČSN 73 6201 *Projektování mostních objektů*

ČSN 73 6214 *Navrhování betonových mostních konstrukcí*

ČSN 73 6223 *Ochrana zařízení proti dotyku s živými částmi trakčního vedení a proti účinkům výfukových plynů na objektech nad železničními dráhami*

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, SKRIPTA, KATALOGY

BETON TSK: *Beton – Mostní konstrukce*, 4/2015

ČKAIT: *Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů*, 2010

MASOPUST J., GLISNÍKOVÁ V.: *Zakládání staveb, opory VUT FAST Brno*, 2006

MINISTERSTVO DOPRAVY: *TP 54 – Železobetonové desky spřažené s prefa nosníky mostů pozemních komunikací*, 2014

NAVRÁTIL J.: *Předpjaté betonové konstrukce*, 2008

NAVRÁTIL J., ZICH M.: *Předpjatý beton*, průvodce předmětem VUT FAST Brno, 2006

NEUDERT Z., MAJOR M., ČÍŽKOVÁ D.: *Prefabrikované předpjaté nosníky SK-T, SK-IT spřažené se železobetonovou deskou*, 2003

ŘSD ČR: *Katalog mostů 9/2014*, 2014

SCIA ENGINEER: *Manuály*

STRÁSKÝ J.: *Betonové mosty*, 2001

STRÁSKÝ J., NEČAS R.: *Betonové mosty II*, opory VUT FAST Brno, 2006

STRÁSKÝ J., NEČAS R., KLUSÁČEK L., PANÁČEK J.: *Betonové mosty I*, opory VUT FAST Brno, 2006

ŠAFÁŘ R. a kol.: *Betonové mosty 2*, skriptum ČVUT, 2009

ŠTĚPÁNEK P., TERZIJSKI I., LANÍKOVÁ I., PANÁČEK J., ŠIMŮNEK P.: *Prvky betonových konstrukcí – výukové texty, příklady a pomůcky*, 2014

ŽPSV: *Nosné konstrukce spřažených mostů z nosníků MK-T*, 2004

INTERNETOVÉ STRÁNKY

http://bms.vars.cz/a_frames.asp – Seznam mostů v ČR

<http://www.geosense.cz/> – Geofond

www.helmos.cz – Hrnková ložiska

www.skanska.cz/prefa – Prefabrikované výrobky

www.vlcek.cz/projektanti – Odvodňovače

www.vsl.cz – VSL předpínací systémy

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Seznam použitých zkratk a symbolů není úplný, některé zkratky a symboly, které se méně vyskytují, jsou vysvětleny přímo v textu.

A_c	Průřezová plocha betonové části průřezu
A_p	Průřezová plocha předpínací výztuže
A_s	Průřezová plocha betonářské výztuže
A_{sw}	Průřezová plocha třmínkové výztuže
E_c	Počáteční tečnový modul pružnosti betonu
E_{cm}	Sečnový modul pružnosti betonu
E_p	Modul pružnosti předpínací výztuže
E_s	Modul pružnosti betonářské výztuže
e_p	Excentricita předpínací síly
f_{cd}	Návrhová hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ck}	Charakteristická hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{cm}	Střední hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku
f_{ctm}	Střední hodnota pevnosti betonu v dostředném tlaku
f_{ctk}	Charakteristická hodnota pevnosti betonu v dostředném tlaku
f_{pd}	Návrhová hodnota pevnosti v tahu předpínací výztuže
f_{pk}	Charakteristická hodnota pevnosti v tahu předpínací výztuže
f_{yd}	Návrhová hodnota meze kluzu betonářské výztuže
f_{yk}	Charakteristická hodnota meze kluzu betonářské výztuže
P	Předpínací síla
γ_c	Dílčí součinitel betonu
γ_s	Dílčí součinitel betonářské výztuže
$\Delta\sigma_{pc}$	Ztráta (změna) předpětí od dotvarování betonu
$\Delta\sigma_{pr}$	Ztráta předpětí od relaxace předpínací výztuže
$\Delta\sigma_{ps}$	Ztráta (změna) předpětí od smršťování betonu
$\Delta\sigma_{p\mu}$	Ztráta předpětí třením
ϵ_c	Poměrné přetvoření betonu
ϵ_{cm}	Průměrné poměrné přetvoření betonu
ϵ_p	Poměrné přetvoření předpínací výztuže
ϵ_s	Poměrné přetvoření betonářské výztuže
ϵ_u	Mezní poměrné přetvoření výztuže
$\varphi(t, \tau)$	Koeficient dotvarování
σ_c	Napětí v betonu
σ_p	Napětí v předpínací výztuži
σ_s	Napětí v betonářské výztuži

7 SEZNAM PŘÍLOH

P1 – Použité podklady a varianty řešení

Podklady:

01	Podklady – půdorys	4 A4	1:200
02	Podklady – podélný řez	6 A4	1:100
03	Podklady – příčný řez	3 A4	1:50

Studie:

01	Studie 1 – příčný řez	3 A4	1:50
02	Studie 1 – podélný řez	4 A4	1:200
03	Studie 2 – příčný řez	3 A4	1:50
04	Studie 2 – podélný řez	4 A4	1:200
05	Studie 3 – příčný řez	3 A4	1:50
06	Studie 3 – podélný řez	4 A4	1:200

P2 – Výkresy – přehledné, podrobné a detaily

01	Situace	14 A4	1:100
02	Podélný řez	12 A4	1:100
03	Příčný řez	6 A4	1:50
04	Výkres předpínací výztuže	12 A4	1:20
05a	Výkres betonářské výztuže – nosník	8 A4	1:20
05b	Výkres betonářské výztuže – deska, příčník	12 A4	1:20
06	Výztuž pilot podpěry 2	6 A4	1:50

P3 – Stavební postup a vizualizace

Stavební postup 2 A4

Vizualizace 6 A4

P4 – Statický výpočet 70 A4