

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh mostu přes Pražský okruh

Design of the bridge over the Prague Ring Road

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

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

František Vítek

Praha 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou 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 bakalářské práce, vstřícnost a cenné konzultace. Zároveň bych chtěl poděkovat ing. Lukáši Boháčkovi za cenné rady a konzultace ohledně výpočetního programu SCIA Engineer. Taktéž děkuji ing. Miroslavu Teuchnerovi z Pragoprojektu za laskavé poskytnutí podkladů k projektovanému mostu. Děkuji za podporu rodičům, celé rodině a přátelům.



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vítek Jméno: František Osobní číslo: 439055

Zadávací katedra: 133 Katedra betonových a zděných konstrukcí

Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3647R013) Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh mostu přes Pražský okruh

Název bakalářské práce anglicky: Design of the bridge over the Prague Ring Road

Pokyny pro vypracování:

Navrhne alternativy přemostění

Pro vybranou alternativu zpracujte návrh mostu včetně postupu výstavby

- Technická zpráva
- Statický výpočet
- Výkresová dokumentace
- Postup výstavby

Seznam doporučené literatury:

ŠAFÁŘ, R. Betonové mosty 2

ŠAFÁŘ, R. Betonové mosty 2 – Cvičení

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

ČSN EN 1990 (Eurokód 0) Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 (Eurokód 1) Zatížení konstrukcí

ČSN EN 1992 (Eurokód 2) Navrhování betonových konstrukcí

ČSN EN 206+A1 Beton – specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic

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

Datum zadání bakalářské práce: 18. 2. 2019

Termín odevzdání bakalářské práce: 27. 5. 2019

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

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

18. 2. 2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a posoudit most na odbočné větvi dálnice D3 přes dálnici D0. Výškové a směrové řešení objektu je odvozeno od zpracovávané dokumentace pro územní rozhodnutí. Bylo navrženo a prověřeno několik variantních řešení přemostění dálnice D0, z nichž byla nakonec vybrána varianta s dvojtrámovou železobetonovou monolitickou dodatečně předpjatou konstrukcí. Tato varianta byla dále detailněji rozpracována a je popsána v technické zprávě. Bakalářská práce se zaměřila zejména na návrh předpínací výztuže a následné posouzení mezních stavů. Při návrhu mostu bylo postupováno v souladu s českými a evropskými technickými normami.

Bakalářská práce obsahuje kromě přehledu variant technickou zprávu, statický výpočet, pro který byl použit prutový a deskostěnný model, a výkresovou část. Nedílnou částí návrhu byl i návrh postupu výstavby, který se v tomto případě zvláště věnuje opatřením plynoucím z nutnosti zachování plného provozu na přemostřované komunikaci.

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.

Klíčová slova

dálniční most, betonový most, předpjatý beton, Pražský okruh, dálnice D3

Abstract

The bachelor's thesis is focused on the design of the bridge, which is a part of the interchange ramp of the D3 motorway overpassing D0 motorway (Prague Ring Road, Czech Republic). The vertical and horizontal alignment is based on the planning stage documentation. Several alternative solutions of the bridge overpassing D0 motorway have been designed and studied respectively, and a final solution has been chosen. The final design consists of a concrete continuous post-tensioned girder with a double T cross-section. This design has been elaborated in detail and the whole structure is described in the technical report accordingly. The thesis is focused mainly on three areas: the overall design of the structure, the design of prestressed reinforcement and the design of the construction process. The bridge design has been carried out in accordance with the Czech and European standards.

Containing also overview of alternative proposals, the principal content of the thesis involves the technical report, the structural analysis at the 3D level (using slab-wall elements) and at the 1D level (using beam elements) and the construction drawings documentation.

The integral part of the design is a proposal of the construction process that is especially focused on the measures leading to maintenance of the unrestricted traffic on the overpassed motorway. The design is made in a simplified manner, since the main objective was to verify the feasibility of the design, rather than to provide a detailed project. This is fully in accordance with the scope of the bachelor's thesis.

Keywords

motorway bridge, concrete bridge, prestressed concrete, Prague Ring Road, Motorway D3

Obsah

1 Úvod	15
2 Popis postupu	16
2.1 Východiska	16
2.2 Varianty	16
2.3 Předběžný návrh rozměrů konstrukce	18
2.4 Model	18
2.5 Změny v průběhu návrhu	19
3 Konstrukce	20
3.1 Schéma konstrukce	20
3.2 Průřezové charakteristiky	20
4 Materiály	20
4.1 Beton	20
4.2 Ocel	23
4.3 Krytí výztuže	23
5 Zatížení	24
5.1 Výpočet zatížení	24
5.2 Přehled zatěžovacích stavů	24
6 Výpočet vnitřních sil	26
7 Kombinace zatížení	27
7.1 MSP – Charakteristická kombinace	27
7.2 MSP – Častá kombinace	27
7.3 MSP – Kvazistálá kombinace	27
7.4 MSÚ – 6.10	27
7.5 MSÚ – 6.10a	27
7.6 MSÚ – 6.10b	27
7.7 Výsledky	27
8 Předběžný návrh předpínací výztuže	27
9 Ztráty předpětí	28
9.1 Krátkodobé ztráty předpětí	28
9.2 Dlouhodobé ztráty předpětí	29
9.3 Výpočet předpínací síly	29

10 Posouzení	29
10.1 Mezní stavy použitelnosti	29
10.2 Mezní stav únosnosti	30
10.3 Smykové trhliny ve stěnách	30
11 Betonářská výztuž	31
12 Technická zpráva	32
12.1 Identifikační údaje mostu	32
12.2 Základní údaje o mostu	32
12.3 Účel a rozsah stavby	33
12.4 Územní podmínky	34
12.5 Směrové a výškové podmínky	34
12.6 Geotechnické podmínky	35
12.7 Mostní objekt	35
12.8 Postup výstavby	39
13 Závěr	42

1 Úvod

Tato práce obsahuje návrh tří různých variant dálničního mostu na odbočné větvi dálnice D3, který přemostí dálnici D0. Jedna z těchto variant je pak následně detailněji navržena a posouzena za účelem zhodnocení reálnosti navržené konstrukce.

Jednotlivé varianty (dvojtrámová monolitická, trámová prefabrikovaná a komorová monolitická) jsou popsány a vyhodnoceny hned v následující kapitole, v té samé kapitole jsou okomentovány i změny, ke kterým došlo v průběhu navrhování mostu. Z těchto variant byla nakonec vybrána varianta č. 1 – monolitický dvojtrám.

Pro tuto variantu byl vypracován statický výpočet, popis jeho postupu se nachází v kapitole 3–11, pro přehlednost je popis postupu s uvedením použitých vzorců také součástí *Přílohy 1*. Ve statickém výpočtu je popsána konstrukce i to, jak byla reprezentována výpočetním modelem, dále jsou popsány použité materiály a jejich vlastnosti a podle norem je stanoveno zatížení působící na konstrukci. Na jeho základě byly výpočetním programem stanoveny vnitřní síly v konstrukci a podle nich je navržena předpínací výztuž. Tento návrh výztuže je posouzen, nejprve v mezních stavech použitelnosti (MSP) a následně v mezním stavu únosnosti (MSÚ). Navíc je průřez nad podporou posouzen ještě na vznik smykových trhlin ve stěnách. Všechny výpočetní hodnoty jsou přehledně uvedeny v tabulkách v *Příloze 1*.

Významnou částí bakalářské práce je technická zpráva, která detailně popisuje umístění mostu v širším kontextu, spodní stavbu, vlastní nosnou konstrukci i veškeré příslušenství.

Druhou a třetí přílohu tvoří výkresová dokumentace – v *Příloze 2* jsou uvedeny schématické výkresy dvou zbývajících variant; hlavním obsahem *Přílohy 3* jsou základní výkresy zpracované varianty č. 1 – půdorys, podélné a příčné řezy, výkres předpínací výztuže, výkres opěry a pilíře a závěrem dokumentace postupu výstavby.

Vzhledem k rozsahu této bakalářské práce bylo přistoupeno k jistým zjednodušením: byly vybrány jen nejdůležitější druhy zatížení (u dopravy pouze model zatížení LM1) a nejúčinnější zatěžovací stavy – staveništní zatížení bylo například uvažováno spojitě po celé nosné konstrukci. Při výpočtu dotvarování bylo uvažováno s jednotným časem vnesení předpětí i zatížení pro celou konstrukci dohromady. Konstrukce pak byla posuzována jen v určitých průřezech, bylo posouzeno zejména napětí v MSP a stav konstrukce v MSÚ. Není posuzováno mj. kroucení, smyk, podélný smyk mezi trámy a deskou a betonářská výztuž je navržena pouze v nutném rozsahu. Tato práce se taktéž nezaměřila na detailní návrh založení konstrukce, ani na návrh pilířů, základů, opěr a říms.

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

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.

2 Popis postupu

2.1 Východiska

Pro návrh mostu bylo vycházeno z informacích uvedených ve sborníku ke konferenci *Mosty 2018*^[18] a dokumentace pro územní rozhodnutí (DÚR), která byla pro účely zpracování bakalářské práce poskytnuta projekční společností Pragoprojekt.^[22] Z této dokumentace bylo zejména převzato směrové a výškové vedení převáděné komunikace, kterou je větev V2 mimoúrovňové křižovatky dálnic D3 a D0 (Silniční okruh kolem Prahy – SOKP, Pražský okruh). Toto bylo usnadněno i poskytnutím digitálních výkresových podkladů ve formátu *.dwg*.

Návrh mostu byl ovlivněn zvláštnostmi tohoto vedení, zejména tím, že se most nachází ve směrovém oblouku, přesněji řečeno leží z větší části v přechodnicové části, relativně krátká část u severní opěry je v části kružnicové. Výškové vedení je charakteristické proměnným podélným sklonem, který ve směru staničení stoupá do vrcholového zakružovacího oblouku a následně směrem k jižní opěře klesá. Vrchol se nachází nad jižním jízdním pásem dálnice D0 a maximální stoupání dosahuje přibližně 2 %. Příčný sklon činí po celé délce mostu 5 %.

Velmi zásadní omezující podmínkou byl úhel křížení obou komunikací, který je velmi malý (přibližně 28°) a tím pádem vyžaduje podstatně větší rozpětí mostu, než by tomu bylo u křížení kolmého. Návrh byl zejména ovlivněn nutností zachovat plný (či jen částečně omezený) provoz na přemostované dálnici D0, která jako Pražský okruh tvoří naprosto zásadní prvek silničního systému nejen Prahy, ale i celé České republiky, a je na ní dosahováno vysokých intenzit provozu. Podle *Celostátního sčítání dopravy* z roku 2016 tímto úsekem projede denně průměrně kolem 40 tisíc vozidel. Daná podmínka pak vedla k úvahám nad nutnou etapizací výstavby a řešením postupu výstavby. Pro zpracování dopravně inženýrského opatření (DIO) a návrhu omezení provozu bylo vycházeno z podkladů ŘSD ([17], [21]).

Z původní dokumentace byly také převzaty údaje, které se týkaly identifikace mostního objektu a geologické a geotechnické podmínky.

2.2 Varianty

V rámci bakalářské práce byly navrženy a rozkresleny tři možné varianty přemostění dálnice D0. První z těchto variant pak byla podrobněji zpracována. O volbě konkrétní varianty by zde zřejmě rozhodovaly ekonomické parametry, zejména nákladnost výstavby a délka nutného omezení provozu na přemostované dálnici D0.

2.2.1 Varianta 1 – dvojtrám

První varianta je konstrukčně dvojtrámová monolitická spojitá konstrukce, která překlenuje dálnici ve čtyřech polích. Výhodou tohoto typu konstrukce je její variabilita, která se skvěle hodí pro most ve směrovém oblouku, a příčná tuhost, která je zajištěna příčníky nad každou z podpěr. Nevýhodou v porovnání s prefabrikovanou konstrukcí je pomalejší výstavba a nutnost delších omezení v provozu.

Rozpětí	30,0 + 42,0 + 42,0 + 30,0 m
Výška konstrukce	2,200 m

2.2.2 Varianta 2 – prefabrikovaná

Druhá varianta je řešená jako prefabrikovaná spojitá trámová konstrukce. Konstrukce by se skládala ze šesti nosníků tvaru „T“ výšky 2,0 m spřažených betonovou deskou tloušťky 200 mm.

Výhodou této konstrukce by byla rychlejší montáž a tím pádem i kratší uzavírka dálnice. Nicméně jako velká slabina této varianty se ukázala extrémní délka potřebných prefabrikovaných nosníků (vzhledem k velmi malému úhlu křížení obou komunikací), tato délka dosahovala 35 m, což je hraniční hodnota možností výrobních programů. Zejména by však bylo téměř prakticky nemožné takto dlouhé nosníky dopravit na místo stavby. Za zvážení by stála možná varianta ambulantní výroby nosníků nedaleko místa stavby.

Obtíže by nastaly s uložením nosníků vzhledem k malému prostoru na středovém pilíři (ten není možné udělat masivnější kvůli umístění ve středním dělicím pásu). Bylo by nutné tyto nosníky nad pilířem taktéž příčně ztuzit a šikmé uložení předpjatých nosníků by tuto operaci zkomplikovalo.

I rozpětí a délka nosníků (35 m) byly redukovány oproti ideálním prostorovým požadavkům. Kvůli zmenšení rozpětí byl například posunut středový pilíř o celý metr z osy dálnice D0 a krajní pilíře co nejbližší oběma jízdniím pásům. Takto zúžený prostor by výhledově mohl omezovat i rozšíření Pražského okruhu na 3+3 jízdnií pruhy, které by se do průjezdného prostoru pod mostem nevešly.

Rozpětí	35,0 + 35,0 + 35,0 + 35,0 m
Výška konstrukce	2,200 m

2.2.3 Varianta 3 – komorový nosník

Třetí zpracovávaná varianta byla pojata jako monolitický spojitý komorový nosník, který by překlenoval dálnici pouze v jednom dlouhém poli bez středového pilíře (pouze s dvěma opěrami a dvěma pilíři po stranách přemostřované dálnice). To však bylo z důvodu komplikované výstavby a masivního a neestetického vzhledu (komorový nosník by musel mít výšku asi 4 m) zavrženo a středový pilíř byl do konečného návrhu varianty vložen. Tím se snížila výška komorového

nosníku na 2,2 m, proto byl navržen jako dvoukomorový. Pro takto velké rozpětí (40 m) by však komorový nosník příliš vhodný nebyl. Nevýhodou je taktéž pomalejší výstavba.

Rozpětí	40,0 + 40,0 + 40,0 + 40,0 m
Výška konstrukce	2,200 m

2.3 Předběžný návrh rozměrů konstrukce

Pro předběžný návrh rozměrů konstrukce v závislosti na rozpětí, které vyplynulo ze situace a prostorových dispozic, byly použity empirické vzorce.

Výslednými hodnotami byly:

- výška konstrukce – 2200 mm
- délka konzol – 2700 mm
- šířka trámů – 1400/1900 mm
- tloušťka desky – 400 mm
- tloušťka konzol – 300 mm

Dále byly předběžně navrženy nadpodporové příčníky šířky 2 m. Příčníky nad pilíři jsou uvažovány pouze mezi oběma trámy, nad opěrami budou příčníky procházet přes celou šířku nosné konstrukce.

Pracovní spára byla umístěna 8 m od středního pilíře tak, aby se nacházela přibližně v místě s předpokládaným nulovým ohybovým momentem.

2.4 Model

Pro výpočet vnitřních sil bylo použito několika rozdílných modelů. Všechny modely byly zpracovávány ve výpočetním programu SCIA Engineer. Jako první byl vytvořen trojrozměrný (3D) prutový model (rám XYZ), který sloužil zejména pro základní ověření dimenzí a simulaci chování konstrukce. Na prvním modelu byly i nadále počítány vnitřní síly od teplotního zatížení, zatížení dvounápravou (model LM1) a staveništní zatížení. Do tohoto modelu byly importovány přesné tvary průřezů mostu v poli i průřezů s příčníky nad podporami.

Druhým vytvořeným modelem byl deskostěnný trojrozměrný model (obecný model XYZ), který by měl lépe vystihovat chování dané konstrukce. Nosná konstrukce byla reprezentována deskou s dvěma žebry, příčníky byly modelovány jako stěny. V deskostěnném modelu již byly zanedbány příčné a podélné sklony, které vzhledem ke své velikosti (5 % příčně a max. 2 % podélně) nehrají významnou roli.

Pro ověření chování konstrukce během jednotlivých fází výstavby byl vytvořen jednodušší prutový model části mostu mezi pracovní párou u pilíře P3 a opěrou OP5 (první etapa výstavby

nosné konstrukce). Na tento model působí zatěžovací stavy vlastní tíhy, staveništního zatížení a zatížení od teplotních změn.

Ve výpočtu jsou pilíře označovány shodně s výkresy (tzn. vzestupně dle rostoucího staničení), pole mezi opěrou OP1 a pilířem P2 je označováno jako pole 1 (krajní pole) a pole mezi pilíři P2 a P3 je označováno jako pole 2 (střední pole).

2.5 Změny v průběhu návrhu

Během tvorby návrhu a ve fázi předběžných výpočtů došlo k významnějším změnám. Mezi ty nejzásadnější patří:

- změna délky druhého pole na 43 m – původní poloha pilíře výrazně kolidovala s polohou odvodňovacího příkopu
- změny variant omezení provozu – konečná varianta počítá s výstavbou od opěry OP5 a převedením provozu do jízdního pásu směr Plzeň
- změna vedení předpětí – zvolení konstrukčně jednodušší varianty bez příloží, změny excentricit a úpravy počtu kabelů
- použití plastových kanálků pro předpínací výztuž – z důvodu menších ztrát předpínací síly třením a lepšího zajištění trvanlivosti (ochrana proti korozi)
- změna počtu předpínacích lan v kabelu z 19 na 15 – snížení účinků předpětí, původně vyvozovalo příliš velké tahy v oblastech, které jsou tlakově namáhané od zatížení
- hlavice sloupů byly oproti předpokladu rozšířeny – kvůli prostoru na umístění hydraulických lisů pro výměnu mostních ložisek

3 Konstrukce

3.1 Schéma konstrukce

Ve výstupu programu SCIA Engineer je vyobrazen model i statické schéma konstrukce.

3.2 Průřezové charakteristiky

Průřezové charakteristiky jsou shrnuty v úvodu k výstupu z programu SCIA Engineer.

4 Materiály

4.1 Beton

Použitý beton	C35/45 – XF2/XD1/XC4
Charakteristická pevnost betonu v tlaku	$f_{ck} = 35$ MPa
Střední pevnost betonu v tlaku	$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43$ MPa
Návrhová pevnost betonu v tlaku	$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot \alpha_{cc} = 21$ MPa
Dolní charakteristická pevnost betonu v osovém tahu	$f_{ctk_{0,05}} = 2,2$ MPa
Horní charakteristická pevnost betonu v osovém tahu	$f_{ctk_{0,95}} = 4,2$ MPa
Průměrná charakteristická pevnost betonu v osovém tahu	$f_{ctm} = 3,2$ MPa
Modul pružnosti	$E_{cm} = 34$ GPa
Modul pružnost tečnový	$E_c = 1,05 \cdot E_{cm} = 35,7$ GPa

Koeficienty $\gamma_c = 1,5$ a $\alpha_{cc} = 0,9$.

4.1.1 Beton v čase vnesení předpětí

Čas $t = 7$ dní

4.1.1.1 Beton v tlaku $f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8$ [MPa]

$f_{ck}(t)$ je charakteristická pevnost betonu v tlaku v čase vnesení předpětí.

$f_{cm}(t)$ je střední pevnost betonu v tlaku v čase vnesení předpětí.

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} \text{ [MPa]}$$

$$\beta_{cc}(t) = e^{s \cdot (1 - \sqrt{\frac{28}{t}})}$$

Pro třídu cementu **R** je $s = 0,2$.

$$\beta_{cc}(7) = 0,819$$

$$f_{cm}(7) = 35,205 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(7) = 27,205 \text{ MPa}$$

4.1.1.2 Beton v tahu $f_{cmt}(t) = \beta_{cc}(t)^\alpha \cdot f_{ctm}$ [MPa]

$\alpha = 1$ pro $t < 28$ dní

$$f_{cmt}(7) = 2,62 \text{ MPa}$$

4.1.2 Smršťování

Celkové smršťování se vypočítá v souladu s normou [8], článek 3.1.4 (str. 33–34) a Příloha B.2 (str. 179) podle vzorce:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd} + \varepsilon_{ca}$$

- ε_{cs} je poměrné smršťování
- ε_{cd} je poměrné smršťování vysycháním
- ε_{ca} je poměrné autogenní smršťování

Vstupní parametry:

- $u = 19,173$ m (počítáno bez části kryté vozovkou)
- $A_c = 10,5355$ m²
- $k_h = 0,7$ pro $h_0 \geq 500$ mm, $h_0 = \frac{2A_c}{u} = 1099$ mm
- $t = 36500$ dní, $t_s = 2$ dny
- $RH = 65$ %, $RH_0 = 100$ %
- $\alpha_{ds1} = 6$, $\alpha_{ds2} = 0,11$ (pro cement třídy R)
- $f_{cmo} = 10$ MPa

Výpočet ε_{cd} :

$$\beta_{ds}(t, t_s) = \frac{t - t_s}{(t - t_s) + 0,04\sqrt{h_0^3}} = 0,9616$$

$$\beta_{RH} = 1,55 \cdot \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)^3\right] = 1,124$$

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cmo}}}\right] \cdot \beta_{RH} \cdot 10^{-6} = 0,524 \cdot 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds}(t, t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 0,3527 \cdot 10^{-3}$$

Výpočet ε_{ca} :

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 62,5 \cdot 10^{-6}$$

$$\beta_{as}(t) = 1 - e^{-0,2\sqrt{t}} \approx 1$$

$$\varepsilon_{ca} = \beta_{as}(t) \cdot \varepsilon_{ca}(\infty) = 62,5 \cdot 10^{-6}$$

Výsledná hodnota ε_{cs} činí 0,415 ‰.

4.1.3 Dotvarování

Dotvarování je určeno součinitelem φ_t , který je získán dle postupů uvedených v [8], článek 3.1.4 (str. 33–34) a Příloha B.1 (str. 178–179). Vzhledem ke komplexnosti celého postupu bylo dotvarování zjednodušeně počítáno pro celou konstrukci najednou.

Vstupní parametry:

- $u = 19,173$ m (počítáno bez části kryté vozovkou)
- $A_c = 10,5355$ m²
- $t_0 = 7$ dní, $t = 36500$ dní
- $RH = 65$ %

Součinitele dle normy pro beton $f_{cm} \geq 35$ MPa:

$$\alpha_1 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,7} = 0,8658; \alpha_2 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,2} = 0,9597; \alpha_3 = \left(\frac{35}{f_{cm}}\right)^{0,5} = 0,9022$$

Výpočet součinitele φ_t :

$$\varphi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0,1 \cdot \sqrt[3]{h_0}} \cdot \alpha_1\right] \cdot \alpha_2 = 1,2415$$

$$\beta_{f_{cm}} = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}} = 2,562$$

$$\beta_{t_0} = \frac{1}{0,1 + t_0^{0,2}} = 0,6346$$

$$\beta_H = 1,5 \left[1 + (0,012RH)^{18}\right] \cdot h_0 + 250\alpha_3 \leq 1500\alpha_3$$

$$\beta_H = 1917 > 1500\alpha_3 = 1353,3 \rightarrow 1353,3$$

$$\beta_c(t, t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)}\right]^{0,3} = 0,9891$$

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta_{f_{cm}} \cdot \beta_{t_0} = 2,0184$$

$$\varphi_t = \varphi_0 \cdot \beta_c(t, t_0) = 1,9965$$

Výslednou hodnotou φ_t je 1,9965.

4.2 Ocel

4.2.1 Předpínací výztuž

Předpínací výztuž je tvořena předpínacími kabely z lan po 7 drátech ($\varnothing = 15,7$ mm, $A_{p,0} = 150$ mm²). V každém kabelu je počítáno s 15 lany. Jedná se o typ výztuže z materiálu Y1860S7 Ls15,7. Měrná hmotnost této výztuže je $m = 1,172$ kg/m'.

$$f_{pk} = 1860 \text{ MPa}$$

$$f_{p,0,1,k} = 0,88 \cdot f_{pk} = 1636,8 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1,15$$

$$\text{návrhové napětí v předpínací výztuži } f_{pd} = \frac{f_{p,0,1,k}}{\gamma_s} = 1423,3 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

U předpínací oceli je počítáno s třídou relaxačního chování 2: nízká relaxace.

4.2.2 Betonářská výztuž

V konstrukci je počítáno s výztuží B 500B.

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 434,8 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

4.3 Krytí výztuže

Pro výpočet krytí betonářské a předpínací výztuže c bylo vycházeno z předpokladu třídy vlivu prostředí, která byla stanovena dle TKP 18 [24] a normy ČSN EN 206+A1^[1] jako XC4/XD1/XF2.

Tloušťka krycí vrstvy se stanoví ze vztahu $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$, pro Δc_{dev} (přídavek na návrhovou odchylku) je doporučena hodnota rovna 10 mm.

Hodnota c_{min} se stanoví jako maximum z hodnot požadavků soudržnosti a trvanlivosti (podmínek prostředí): $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}\}$. Hodnota $c_{min,b}$ (požadavek soudržnosti) je menší z hodnot $\varnothing = 90$ mm (průměr kanálku předpínací výztuže) a 80 mm. Použije se tedy 80 mm. Pro běžnou předpínací výztuž jsou redukce $\Delta c_{dur,\gamma}$, $\Delta c_{dur,st}$ a $\Delta c_{dur,add}$ rovny nule.

Tloušťka krycí vrstvy s ohledem na trvanlivost ($c_{min,dur}$) je počítána podle požadované třídy konstrukce a vlivu prostředí.

Na konstrukci řešeného mostu jsou sledovány následující kategorie stupňů vlivu prostředí:

- XC – koroze vyvolaná karbonatáci
- XD – koroze vyvolaná chloridy
- XF – střídavé působení mrazu a rozmrazování (mrazové cykly)

Do nich je nosná konstrukce mostu podle TKP 18 [24] zařazena následovně:

- XC4 – střídavě mokré a suché prostředí (povrchy betonů ve styku s vodou, nezahrnuté ve stupni XC2)
- XD1 – středně vlhké prostředí (povrchy betonů vystavené chloridům rozptýleným ve vzduchu)
- XF2 – prostředí středně nasycené vodou s rozmrazovacími prostředky (svislé betonové povrchy konstrukcí pozemních komunikací vystavené mrazu a rozmrazovacím prostředkům rozptýleným ve vzduchu)

Výchozí třídou konstrukce je třída **S4**, pro uvažovanou životnost 100 let je nutno třídu zvýšit o dva stupně, jelikož však bude zajištěna zvláštní kvalita výroby betonu, může dojít ke zpětnému snížení o jeden stupeň na výslednou třídu **S5**. Pro danou třídu rozhodne stupeň vlivu prostředí **XD1**, proto bude krycí vrstva z hlediska trvanlivosti stanovena na 50 mm. Pro porovnání hodnot použijeme výchozí vzoreček: $c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur}; 10 \text{ mm}\} = c_{min} = \max\{80 \text{ mm}; 50 \text{ mm}; 10 \text{ mm}\} = 80 \text{ mm}$. Aplikací přídatku na návrhovou odchylku podle vzorce $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$ dojdeme k výsledku $c_{nom} = 80 + 10 = 90 \text{ mm}$.

Výsledným krytím předpínací výztuže $c_{nom,p}$ je **90 mm**. Pro betonářskou výztuž a třmínky platí obdobný výpočet a výslednou hodnotou je $c_{nom,s} = c_{nom,sw} = 60 \text{ mm}$.

5 Zatížení

5.1 Výpočet zatížení

Zatížení bylo vypočítáno ve shodě s platnými normami na základě navrženého příčného řezu mostu.

Pro další určení vnitřních sil nebylo počítáno se všemi zatěžovacími stavy, které by bylo možné navrhnout a byly vybrány pouze ty s největším účinkem. Pro dopravu byl počítáno pouze se zatěžovacím modelem LM1, staveništní zatížení bylo uvažováno rovnoměrné po celé ploše konstrukce mostu (v obou stavebních fázích), dvounáprava TS z modelu LM1 byla uvažována jako jedna výsledná síla.

5.2 Přehled zatěžovacích stavů

Zatěžovací stavy jsou dále označovány číselnými kódy.

- 100 Vlastní tíha
- 200 Ostatní stálé
 - 201 Vozovka – plošně uprostřed
 - 202 Římsy – na obou stranách liniově (různé hodnoty)
 - 203 Svodidla – na obou stranách liniově
 - 204 PHS – na jedné straně liniově

- 300 Pokles podpor
 - 301 Pokles 1,3
 - 302 Pokles 1,4
 - 303 Pokles 2,3
 - 304 Pokles 2,4
 - 305 Pokles 2,5
 - 306 Pokles 3,4
 - 307 Pokles 3,5

- 400 Doprava LM1
 - 40x UDL
 - 401a UDL – všude (vnitřní max)
 - 401b UDL – všude (vnější max)
 - 402a UDL – sudé
 - 402b UDL – sudé
 - 403 UDL – liché
 - 404a UDL – střed
 - 404b UDL – střed
 - 405 UDL – 2+1
 - 406 UDL – 1+2
 - 411 vnější okraj
 - 412 vnitřní okraj
 - 45x TS – dvounáprava
 - 451–470 – polohy v různých bodech konstrukce

- 500 Chodníky
 - 501 Chodníky – vše
 - 502 Chodníky – střed
 - 503 Chodníky – 2+1
 - 504 Chodníky – 1+2

- 600 Vítr
 - 601 Vítr max L
 - 602 Vítr max P
 - 603 Vítr kombinační L

- 604 Vítr kombinační P
- 700 Teplota
 - 702 Teplota lineární HEAT
 - 703 Teplota lineární COOL
- 800 Staveništní
 - 801 Staveništní pro fázi 1
 - 802 Staveništní pro fázi 2
- 900 Brzdné a rozjezdové síly

6 Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil byl prováděn ve studentské verzi výpočetního programu SCIA Engineer. Jak již bylo zmíněno, vnitřní síly byly počítány na třech modelech – deskostěnném, prutovém a prutovém pro stavební fázi.

Výsledné hodnoty vnitřních sil v deskostěnném modelu odpovídají vnitřním silám pro jeden trám mostu, proto byly hodnoty z prutového modelu, který počítá vnitřní síly pro oba trámy současně, přečísleny přenásobením hodnotou 55 %, což je hodnota odpovídající roznosu na více zatížený trám.

Jelikož se most ve většině své délky nachází v přechodnicové křivce (klotoidě), byla osa mostu reprezentovaná výpočetním programem jako soustava krátkých prvků, čímž se bohužel významně znepráhlednily grafické výsledky výpočtu. Pro přehlednost jsou tedy uvedeny pouze globálně extrémní hodnoty. Hodnoty vnitřních sil v ostatních průřezech tak byly převzaty z tabulkových výsledků, tyto jsou uvedeny na začátku tabulky s kombinacemi. Některé výsledky (poklesy a zatížení od dopravy) jsou uvedeny ve formě obálky extrémních hodnot.

Byly zkoumány zejména vnitřní síly V_z (svislá posouvající síla) a M_y (moment kolem příčné osy y). Výsledky ostatních vnitřních sil dosahují podstatně nižších hodnot, nicméně jsou z modelu odvoditelné a pro ukázkou jsou uvedeny některé z nich (M_z a M_x) ve vybraných zatěžovacích stavech.

Přehled vnitřních sil je uveden v příloze s výstupy z výpočetního programu a v kombinačních tabulkách.

V tabulkách jsou uvedeny pouze hodnoty za pilíř P2, P3, pole 1 a pole 2; i přes zakřivení mostu jsou hodnoty vnitřních sil na opačné polovině mostu přibližně symetrické, takto jsou uvažovány vždy větší z těchto hodnot. Napětí a vnitřní síly jsou pak posuzovány právě ve čtyřech zmíněných průřezech.

7 Kombinace zatížení

Do hlavních kombinací vnitřních sil není započítáno staveništní zatížení, neboť je užito jen ve zvláštní staveništní kombinaci. Samostatně v dokumentu jsou uvedeny jednotlivé součinitele dané normami. Následující vzorce jsou uvedeny dle normy ČSN EN 1990.^[2]

7.1 MSP – Charakteristická kombinace

$$\Sigma G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

7.2 MSP – Častá kombinace

$$\Sigma G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

7.3 MSP – Kvazistálá kombinace

$$\Sigma G_{k,j} + P + \Sigma \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

7.4 MSÚ – 6.10

$$\Sigma \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

7.5 MSÚ – 6.10a

$$\Sigma \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

7.6 MSÚ – 6.10b

$$\Sigma \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

7.7 Výsledky

Výsledky jsou přehledně i s postupem uvedeny v příložené tabulce.

8 Předběžný návrh předpínací výztuže

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8f_{pk}; 0,9f_{p,0,1,k}\}$$

$$\sigma_{p,max} = \min\{0,8 \cdot 1860 = 1488 \text{ MPa} ; 0,9 \cdot 1636,8 \text{ MPa}\}$$

$$\sigma_{p,max} = 1473,1 \text{ MPa}$$

Ztráty jsou odhadovány celkově jako 30 %.

$$\sigma_{p,t} = 1031,2 \text{ MPa}$$

9 Ztráty předpětí

V tomto výpočtu jsou uvažovány krátkodobé i dlouhodobé ztráty předpětí předpínací výztuže.

Pro tento konkrétní případ je počítáno s postupným napínáním s dvěma napínacími pistolemi na každé straně. Vliv na ztráty předpětí má samozřejmě i poloha pracovní spáry, kde bude polovina předpínacích kabelů zakotvena.

Mezi krátkodobé ztráty předpětí řadíme:

- ztráta třením (zamýšlené i nezamýšlené)
- ztráta pokluzem v kotvě
- ztráta krátkodobou relaxací předpínací výztuže
- ztráta postupným napínáním

Mezi dlouhodobé ztráty předpětí řadíme:

- ztráta dlouhodobou relaxací předpínací výztuže
- ztráta smršťováním betonu
- ztráta dotvarováním betonu

Ostatní ztráty předpětí, jako jsou ztráty okamžitým pružným přetvořením betonu či ztráty způsobené rozdíly teplot, jsou zanedbány.

Tabulka s přehledem ztrát v konkrétních bodech polygonu předpínací výztuže s grafy je dále součástí statického výpočtu. Výpočet byl proveden odděleně pro každou skupinu předpínacích kabelů.

9.1 Krátkodobé ztráty předpětí

9.1.1 Ztráta předpětí třením

Ztráta předpětí třením se určí v závislosti na délce podle vzorce:

$$\Delta\sigma_{p\mu,l} = -\sigma_{p0,0}(1 - e^{-\mu(\alpha+k l)})$$

$$\mu = 0,12 \text{ rad}^{-1}$$

$$k = 0,005 \text{ rad/m}$$

α je součet úhlů nehladě na jejich směr

Předpokládají se plastové kanálky, proto $\mu = 0,12$. Do úhlových změn je započtena i půdorysná změna úhlu.

9.1.2 Ztráta předpětí pokluzem v kotvě

Pokluz v kotvě byl počítán dle rozdílu napětí v určitých bodech konstrukce dle [16, s. 8–9] podle vzorce

$$\Delta\sigma_{pw}(x=0) = \sqrt{4w \cdot E_p \cdot \frac{\sigma_a - \sigma_b}{x_a - x_b}}$$

pro pokluz $w = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ m}$.

9.1.3 Ztráta předpětí krátkodobou relaxací předpínací výztuže

Pro výpočet ztráty krátkodobé relaxace předpínací výztuže byl použit tento vzorec:^[20, s. 118]

$$\frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9,1\mu} \cdot \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}$$

9.1.4 Ztráta předpětí postupným napínáním

Pro postupné napínání byla ztráta vypočítána pomocí následujícího vzorce:^[15, s. 69–71]

$$\Delta\sigma_{pep} = \sigma_{pa} \cdot \frac{\nu}{m} \cdot \sum_{j=1}^{m-1} \frac{j}{m + j \cdot \nu}$$

kde $\nu = \frac{A_p E_p}{A_c E_c}$ a m je celkový počet kabelů, j je kabel v pořadí.

9.2 Dlouhodobé ztráty předpětí

Pro výpočet dlouhodobých ztrát předpětí (dotvarování, smršťování a relaxace) byl použit souhrnný vzorec obsahující výrazy popisující všechny tyto druhy ztrát:

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_p + 0,8 \cdot \Delta\sigma_{pr} + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \phi(t, t_0) \cdot \sigma_{c,QP}}{1 + \frac{E_p}{E_{cm}} \cdot \frac{A_p}{A_c}}$$

9.3 Výpočet předpínací síly

Výsledná předpínací síla byla odvozena ze střední hodnoty velikostí napětí ve všech počítaných průřezech.

10 Posouzení

10.1 Mezní stavy použitelnosti

Bylo provedeno srovnání výsledných napětí (po součtu napětí od zatížení a napětí od předpětí) v mezních stavech omezení napětí a mezním stavu omezení vzniku trhlin se stanovenými hodnotami – maximální tlakové napětí v betonu nesmí přesáhnout $0,45 \cdot f_{ck}$ pro kvazistálou kombinaci zatížení a $0,6 \cdot f_{ck}$ pro častou kombinaci zatížení. Maximální tahové napětí by mělo být menší než nula (to znamená, že by v betonovém průřezu neměl být od charakteristické kombinace tah).

V některých průřezech (zejména v dolní části průřezu nad podporou) však došlo k nesplnění podmínek nulového tahu. Tyto průřezy by musely být dále vyztuženy betonářskou výztuží, aby se omezil vznik trhlin v betonu, případně by mělo dojít k optimalizaci vedení předpínací výztuže.

10.2 Mezní stav únosnosti

Mezní stav únosnosti byl posouzen pro obvyklé čtyři průřezy – dva v poli a dva nad pilíři.

Předpokládá se, že předpínací výztuž je v MSÚ za mezí kluzu, tak mohla být vypočítána výška tlačené oblasti $x = \frac{N_p}{\eta \cdot \lambda \cdot f_{cd} \cdot b}$. Šířka b byla uvažována v poli jako plná šířka konstrukce (tlačená oblast se nachází pouze v desce) a nad podporou jako šířka obou trámů (neuvažuje se vliv příčnicku).

Součinitele jsou uvažovány následovně $\lambda = 0,8$ a $\eta = 1$.

Moment únosnosti byl vypočítán jako $M_{Rd,1} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot z$ a $M_{Rd,2} = A_p \cdot f_{pd} \cdot z$.

Jelikož v některých průřezech byl moment únosnosti menší než moment od zatížení M_{Ed} , bylo nutno navrhnout dodatečnou betonářskou výztuž.

Pro posouzení průřezu s betonářskou výztuží byl použit rozšířený vzorec $M_{Rd,2} = A_p \cdot f_{pd} \cdot z_1 + A_s \cdot f_{yd} \cdot z_2$.

Opravená výška tlačené oblasti x_2 byla vypočítána:

$$x_2 = \frac{N_p + A_s \cdot f_{yd}}{\eta \cdot \lambda \cdot f_{cd} \cdot b}$$

10.3 Smykové trhliny ve stěnách

Posouzení smykových trhlin ve stěnách bylo provedeno dle [9], Příloha QQ (str. 87) podle podmínky:

$$\sigma_1 < f_{ctb}$$

Pevnost betonu v tahu před vznikem trhlin při dvouosé napjatosti se stanoví jako:

$$f_{ctb} = \left(1 - 0,8 \cdot \frac{\sigma_2}{f_{ck}}\right) \cdot f_{ctk_{0,05}}$$

Napětí σ_1 je větší tahové napětí a σ_2 je větší tlakové napětí. Do vzorců jsou dosazovány absolutní hodnoty.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau^2}$$

$$\tau = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{b \cdot I_y}$$

Výpočet byl proveden v průřezu nad středním pilířem (v místě největší posouvající síly $V_{Ed} = 7092,6$ kN) v bodě, kde se stýká trám a deska (předpoklad největšího smykového napětí) – smyková plocha A_v byla uvažována jako celá plocha tohoto trámu. Smykové napětí τ bylo vyčísleno na 1,466 MPa, normálové napětí σ_x bylo odvozeno z předchozích výpočtů jako $-4,752$ MPa.

Jednotlivá napětí vyšla $\sigma_1 = 0,416$ MPa a $\sigma_2 = -5,168$ MPa. Pevnost betonu v tahu před vznikem trhlin f_{ctb} tak byla určena jako 0,740 MPa, takže hlavní tahové napětí je menší a průřez tedy vyhoví.

Detailní tabulka s hodnotami je součástí statického výpočtu.

11 Betonářská výztuž

Kvůli nevyhovujícímu posouzení v MSÚ byla pro průřezy nad pilíři navržena ohybová betonářská výztuž. Pro průřez nad pilířem P2 bylo navrženo 50 prutů $\varnothing 32$, nad pilířem P3 bylo navrženo 100 prutů $\varnothing 32$. Smyková ani konstrukční výztuž nebyla navrhována.

12 Technická zpráva

12.1 Identifikační údaje mostu

Stavba	Dálnice D3, úsek 0301 Praha–Jílové u Prahy
Název objektu	Most na větvi 2 MÚK D3 × D0 přes D0
Katastrální území	Jesenice u Prahy [658618], Zlatníky u Prahy [793221]
Obec	Jesenice, Zlatníky-Hodkovice
Okres	Praha-západ
Kraj	Středočeský
Objednatel	Ředitelství silnic a dálnic ČR, Na Pankráci 546/56, Praha 4
Správce mostu	Ředitelství silnic a dálnic ČR, Na Pankráci 546/56, Praha 4
Projektant	František Vítek
Převáděná komunikace	Větev V2 MÚK D3 × D0 (SO 301-101)
Návrhová kategorie komunikace	polovina dálnice D27,5, $v_n = 90$ km/h
Přemostovaná překážka	Dálnice D0 (Pražský okruh)
Bod křížení	km 0,580 ⁵⁷⁷ (projekční staničení větve V2)
Staničení přemostovaných překážek	km 0,941 ²²⁹ (staničení na D0)
Úhel křížení	28,22° – větev V2 × D0
Volná výška	4,800 + 0,150 m

12.2 Základní údaje o mostu

Uspořádání	dálniční nepohyblivý, trvalý most, ve směrovém oblouku, kolmý
Statické působení	spojitý nosník
Nosná konstrukce	železobetonový monolitický dodatečně předpjatý dvojtrám
Opěry	masivní železobetonové opěry
Křídla	rovnoběžná vetknutá svahová křídla
Délka přemostění	141,300 m
Délka přemostění v kolmém směru	53,390 m
Délka mostu	160,800 m
Délka nosné konstrukce	146,000 m
Rozpětí jednotlivých polí	29,0 + 43,0 + 42,0 + 30,0 m
Celkové rozpětí	144,0 m
Šikmost mostu	0° – kolmý most
Šířka mostu	12,9 m
Šířka nosné konstrukce	12,3 m
Volná šířka na mostě	10,25 m
Průchozí šířka na mostě	0,75 m
Výška mostu	9,780 m

Stavební výška	2,335 m
Výška nosné konstrukce	2,200 m
Plocha nosné konstrukce	1795,9 m ²
Zatížení mostu	dle ČSN EN 1991-2
Poznámky	<i>Most bude stavěn za provozu na dálnici D0.</i>

12.3 Účel a rozsah stavby

Stavba tohoto mostu tvoří součást rozpletu plánované dálniční mimoúrovňové křižovatky dálnic D3 a D0, která vytvoří napojení dálnice D3 u Jesenice na dálnici D0 (Pražský okruh, SOKP). Je součástí plánovaného stavebního úseku 0301 Praha – Jílové u Prahy. Dálnice D3 v budoucnosti propojí Prahu s Tábořem a Českými Budějovicemi v Jihočeském kraji a dále i Lincem v Horních Rakousích v Rakousku a i díky tomuto mostu bude napojena skrze Pražský okruh na ostatní české dálnice.

Most převádí větev V2 dálnice D3. Pod mostem na D0 musí být zajištěna standardní podjezdná výška minimálně 4,8 + 0,15 m. Pod mostem probíhají jízdni pásy a dálniční příkopy a bude zachován sklon svahů stávajícího zářezu. Most bude stavěn za provozu na D0. Před mostem po levé straně se zachovávají stávající protihlukové zemní valy.



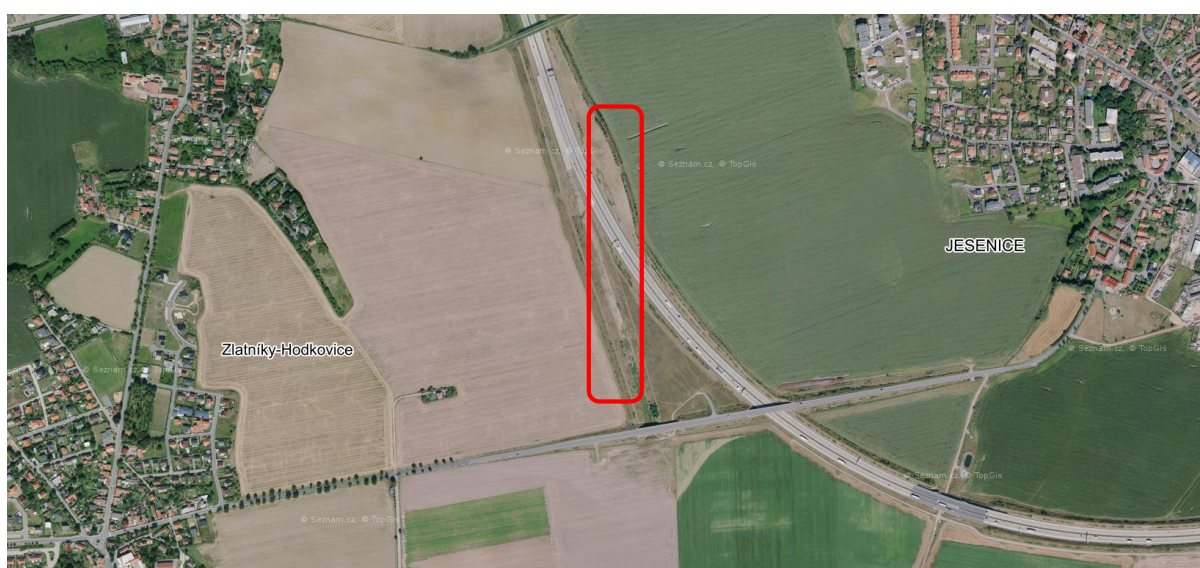
Obrázek 1: dopravní situace v okolí plánované stavby (označena červeně), dle [28]

12.4 Územní podmínky

Plánovaný most se nachází v katastrálním území Jesenice u Prahy [658618] v obci Jesenice a lehce zasahuje i do k. ú. Zlatníky u Prahy [793221] v obci Zlatníky-Hodkovice. Stavba se nachází v prostoru mezi těmito obcemi v okrese Praha-západ, ve Středočeském kraji.

Území je rovinaté a nachází se v průměrné nadmořské výšce okolo 360 m n. m.

Větev V2 MÚK D3×D0 je vedena na nízkém násypu (cca 2,0 m). Trasa podcházejícího Pražského okruhu (D0) je vedena v zářezu hloubky cca 6,5 m. Podél zářezu na straně k obci Jesenice se nachází protihlukový zemní val výšky přibližně 2,5 m. Podél zářezu na opačné straně je stávající odvodňovací příkop. Na západ od mostu je stávající zářez připravený pro křižovatkovou větev V1, který pokračuje až ke stávajícímu mostu na silnici II/101 přes budoucí trasu dálnice D3.



Obrázek 2: Letecký snímek místa budoucí stavby mostu (označeno červeně), zdroj Mapy.cz, mapové podklady TopGis, Seznam.cz, OpenStreetMap

12.5 Směrové a výškové podmínky

Údaje o větvi V2 dálnice D3:

Návrhová kategorie	polovina dálnice D27,5 (šířka zpevnění 11,5 m), $v_n = 90$ km/h na mostě je vozovka zúžena na 9,75 m (bez odstavného pruhu)
Směrové poměry	kružnice $R = 600,0$ m, přechodnice $L = 100$ m, přechodnice $L = 110$ m (projekční staničení PK 0,355977, KP 0,528543, PP 0,628543, PK 0,738543)
Výškové poměry	vrcholový oblouk $R = 5000,0$ m (vrchol km 0,595965), na mostě ve směru staničení nejprve proměnné stoupání od 2,2 % do vrcholu (km 0,600965) a následně proměnné klesání do 1,0 %

Příčný sklon	na celé délce mostu jednostranný (pravostranný) 5,0 %.
Niveleta v místě křížení	360,829 m n. m.

Údaje o dálnici D0:

Návrhová kategorie	R27,5/100 (SDP šířky 4,0 m)
Směrové poměry	Kružnice R = 1297,5 m (PK 0,111920, KP 1,931250)
Výškové poměry	Konstantní podélný sklon 0,5 %, klesá ve směru k D5
Příčný sklon	jednostranný (pravostranný) 3,5 %
Niveleta v místě křížení	cca 351,10 m n.m.

12.6 Geotechnické podmínky

Rozbor geotechnických podmínek vychází z vrtů J1 a J3, které byly zpracovány pro dokumentaci pro územní rozhodnutí, zároveň byla využita i archivní sonda J155 provedená nedaleko mostu.^[22] Dále bylo čerpáno z Geologické mapy ČR 1:50 000.^[27]

V místě se nachází kvarterní pokryv spraší a sprašovým hlín, který dosahuje mocnosti 3–5 m. Je tvořený jílovitými zeminami (F6 CI, CL) s občasnými příměsemi jemnozrnného písku (F3 MS), konzistence je pevná, místy tuhá až pevná. Výskyt navážek je způsobený terénními úpravami při stavbě Pražského okruhu. Předkvarterní podloží je tvořeno břidlicemi a drobnými štěchovickými skupinami z období proterozoika. Tyto horniny jsou mírně nepravidelně zvětralé. Vrchní partie jsou z velké části zcela zvětralé na jílovitou či hlinitou zeminu s proměnlivou příměsí písku a pevných úlomků hornin (F4 CS, F5 MI). Hluběji v podloží pak stupeň zvětrání klesá a horniny jsou již jen silně zvětralé až navětralé, úlomkovitě rozpadavé a silně rozpukané.

12.6.1 Hydrogeologie

Hladina podzemní vody, která byla vázána na propustnější puklinové systémy v podložních horninách, byla zastižena v archivní sondě v hloubce 2,6 m pod terénem. V současné době je hladina podzemní vody ovlivněna stávajícím zářezem, kdy je voda odváděna drenážním systémem. Prostředí bylo vyhodnoceno jako neagresivní.

12.7 Mostní objekt

Konstrukce byla zvolena s ohledem na jednoduchost výstavby a její prostorovou vhodnost, ostatní varianty jsou uvedeny v úvodní sekci. Opěry a pilíře jsou číslovány vzestupně (OP1, P2, P3, P4 a OP5) ve směru rostoucího staničení (od severu k jihu).

Návrhové zatížení je v souladu s normou ČSN EN 1991-2.^[7]

12.7.1 Založení

Vzhledem k zatím ne zcela přesně určeným geologickým podmínkám je uvažováno pod oběma opěrami a všemi pilíři s hlubinným založením na vrtaných velkopřůměrových pilotách ($d = 1,2$ m) vetknutých do mírně zvětralých hornin (třídy R4–R3). Předpokládané délky pilot jsou 6–12 m, počty pilot a jejich polohy by se upravily na základě detailního geotechnického průzkumu. Piloty budou zhotoveny z betonu C 25/30 XA1/XC2.

Mezi velkopřůměrovými pilotami a pilíři jsou navrženy železobetonové desky o rozměrech $5,0 \times 5,0$ m. Základová deska pod středovým pilířem (P3) je kvůli umístění ve středním dělicím pásu pootočena rovnoběžně s osou přemostěné dálnice D0. Tyto základové desky budou zhotoveny z betonu C 30/37 XA1/XC2. Opěry jsou založeny taktéž na základových deskách o rozměrech $5,0 \times 12,8$ m.

12.7.2 Pilíře

Na mostě jsou navrženy tři pilíře – dva po stranách dálnice D0 a jeden středový pilíř mezi jízdními pásy. Kruhové pilíře o průměru 1,5 m budou zhotoveny z betonu C30/37 XF2/XD2/XC4 a jsou vetknuty do základových desek. V horní části je navrženo jejich rozšíření tak, aby umožnilo prostor pro manipulaci s mostními ložisky (průměr v hlavě sloupu činí 2,25 m).

Úložné prahy na pilířích budou zhotoveny z betonu C30/37 XF4/XD2/XC4.

12.7.3 Opěry

Opěry mostu jsou navrženy jako masivní z betonu C30/37 XF1/XD2/XC4. Na obou stranách jsou navrhnutá rovnoběžná vetknutá křídla a plentovací zídky. Úložné prahy na opěrách budou zhotoveny z betonu C30/37 XF4/XD2/XC4. Na opěry pak navazuje přechodová deska tloušťky 260 mm a délky 6,5 m. Zásyp opěr a přechodová oblast budou hutněny po 200 mm.

12.7.4 Nosná konstrukce

Nosná konstrukce je navržena jako železobetonový předpjatý spojitý monolitický dvojtrám. Bude zhotovena z betonu C35/45 XF2/XD1/XC4. Šířka nosné konstrukce bude činit 12,3 m, konstrukční výška pak 2,2 m, konzolové části se zužují směrem ke krajům z tloušťky 400 mm na 300 mm. Betonová konstrukce bude předpjata průběžnými vnitřními dodatečně předpjatými kabely se soudržností. Těchto kabelů bude v konstrukci 20 (10 v každém trámu) a budou se skládat z 15 předpínacích lan z oceli Y1860. Kabely budou kotveny aktivními kotvami na obou koncích nosné konstrukce a polovina kabelů bude kotvena v pracovní spáře.

Pro zvýšení příčné tuhosti mostu a lepší roznos reakcí jsou v nosné konstrukci navrženy příčnický šířky 2,0 m; nad opěrami přes celou šířku nosné konstrukce a nad pilíři pouze mezi oběma trámy.

Pokud není uvedeno jinak, jsou hrany nosné konstrukce zkoseny v poměru 30/30 pomocí lišt vložených do bednění.

12.7.5 Ložiska

Na všech podporách mostu jsou navrženy hrncová ložiska, která jsou natočena vždy tak, aby odpovídala směru hlavního pohybu mostu. Na opěrách jsou navrženy vždy čtyři ložiska, na každém z pilířů je pak navrženo po jednom ložisku.

Na pilířích jsou umístěna podélně posuvná ložiska Tetron GG 28000-1400-50 od výrobce Freyssinet, na opěře OP1 jsou dvě střední ložiska všesměrně pevná (Tetron FX 8000-2400), dvě krajní jsou příčně posuvná (Tetron GG 6000-1800). Na opěře OP5 se nachází dvojice středních podélně posuvných ložisek Tetron GG 6000-1800 a na krajích leží dvě všesměrně pohyblivá ložiska GL 2000-50-20.

12.7.6 Mostní závěry

Potřebná velikost mostních závěrů byla navržena dle teplotní roztažnosti vypočítané z rozdílu teplot uvedených v [5], čl. 6.1.3.1 (str. 17–23) a národních příloh NA2.4, NA.1 a NA.2 (str. 38 a 40–41).

Maximální rozdíl posunu byl vypočítán jako 184,8 mm, takže na opěře s posuvnými ložisky (OP5) byl navržen lamelový závěr, který umožňuje maximální posun 200 mm (LW400 od výrobce Freyssinet). V místě pevného uložení na opěře OP1 je navržen lamelový záměr LW80, který umožňuje maximální posun 40 mm. Závěry jsou na obou koncích nosné konstrukce navrženy kolmo k ose hlavního pohybu mostu.

12.7.7 Vozovka

Vozovka na mostě má navrženu tloušťku 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

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).

12.7.8 Římsy

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.

Pravá římsa je široká 1,35 m a je tlustá 200 mm, přes okraj přesahuje 250 mm a je vysoká 680 mm. Kvůli umístění PHS a chodníku je levá římsa masivnější: je široká 1,8 m, tlustá 270 mm, přesah přes okraj činí 350 mm a výška 750 mm.

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

12.7.9 Svodidla

Na levé straně mostu jsou navržena ocelová svodidla ocelová s úrovní zadržetí H2, na pravé straně jsou navržena ocelová zábradelní svodidla s úrovní zadržetí taktéž H2. Sloupky svodidel budou kotveny do římsy.

12.7.10 Chodníky

Na mostě je zřízen v levé části (mezi svodidlem a protihlukovou stěnou) nouzový chodník šířky 750 mm.

12.7.11 Zábradlí

Na pravé části mostu je navrženo ocelové zábradlí se svislou výplní jako součást zábradelního svodidla. Zábradlí má výšku 1100 mm a bude opatřeno protikorozní ochranou (žárovým zinkováním) a nátěrem v zelené barvě RAL 6018. Zábradelní sloupky budou kotveny do římsy.

12.7.12 Protihluková stěna

Z důvodu blízkosti obytné zástavby města Jesenice je po celé východní straně mostu navržena prosklená protihluková stěna o výšce 3,0 m, která byla převzata z předchozího stupně dokumentace. Sloupky PHS jsou navrženy jako ocelové a budou kotveny do římsy, výplň PHS bude skleněná.

12.7.13 Odvodnění

Na mostě je navrženo odvodnění kanalizačními vpustěmi, které se nacházejí v pravé části mostu, v nejnižším místě vozovky. Kanalizační vpustě budou umístěny vždy po 40 metrech. Tyto vpustě budou odvodněny do podélných PVC odvodňovacích rour DN 200, které budou zavěšeny na konzole desky nosné konstrukce. Dvě oddělené roury budou začínat v místě nulového podélného sklonu a budou odvádět vodu ke krajním pilířům, kde bude voda svedena svislými svody do odvodňovacích příkopů dálnice D0. Pro detailní návrh průměru odvodňovacích rour a svodů by byl nutný podrobnější hydrotechnický výpočet.

12.7.14 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. Dlažbou z lomového kamene budou zpevněny i odvodňovací příkopy dálnice D0 v prostoru pod mostem. Kvůli pilíři P2 bude přeložen odvodňovací příkop dálnice D0 (na straně jízdního pásu směr Plzeň) v délce 9,3 m. Zbývající prostor pod mostem bude pokryt pohozen valouny.

Ve středním dělicím pásu dálnice D0 budou v okolí mostu umístěna betonová svodidla v délce 44,0 m.

12.7.15 Cizí a zvláštní zařízení

Na mostě není umístěno cizí ani zvláštní zařízení.

12.8 Postup výstavby

Jelikož je výstavba nového mostu plánována přes stávající provozovanou dálnici D0 (Pražský okruh, SOKP), je navrženo celou výstavbu rozdělit do dvou hlavních stavebních etap. V první dojde k výstavbě části o délce 83 m mezi opěrou OP5 a pilířem P3 (s přesahem délky 8 m) přes jízdní pás směr Brno. V druhé fázi pak dojde k výstavbě zbylé části délky 63 m mezi pracovní spárou a opěrou OP1 (přes jízdní pás směr Plzeň). Počítá se s výstavbou mostu na pevné skruži. Přístup na staveniště je zajištěn po trase větve V2 (od silnice II/101 mezi Zlatníky a Jesenicí) a po trase dálnice D0 (po neprovozovaném dálničním pásu).

Po dobu výstavby mostu je třeba vzhledem k intenzitě provozu v co největší míře zachovat plný provoz na přemostované dálnici D0, proto bude umožněn provoz v režimu 2+2 vždy na jednom z jízdních pruhů. Krátkodobě (např. o víkendech a dnech pracovního klidu) může být z nevyhnutelných technologických důvodů zaveden omezený provoz 2+1 či 1+1. Podjezdná výška 4,8+0,15 m nebude omezena. Postup výstavby mostu musí být koordinován s výstavbou sousedního mostu na větvi V3 dálnice D3, jakož i výstavbou dálnice D3 samotné.

Výstavba mostu bude probíhat v následujících etapách:

- Fáze 0 – příprava staveniště
 - sejmutí vegetačního krytu a ornice
 - odstranění sloupů osvětlení a přeložka kabelových sítí
 - odtěžení svahu na východní straně zářezu v nutné míře
 - příprava svodidel a DIO
- Fáze 1 – založení opěr a pilířů
 - vrtání a betonáž pilot v prostoru opěr OP1 a OP5
 - vrtání a betonáž pilot v prostoru pilíře P4
 - vrtání a betonáž pilot v prostoru pilíře P3 (středový pilíř) – dočasné převedení dopravy do vnějších částí obou jízdních pásů
 - vrtání a betonáž pilot v prostoru pilíře P2 (po dokončení omezení u středového pilíře)

- Fáze 2 – stavba opěr a pilířů
 - betonáž základů a dřiků opěr OP1 a OP5, betonáž mostních křídel
 - betonáž pilíře P4
 - betonáž pilíře P3 (středový pilíř) – dočasné převedení dopravy do vnější části jízdního pásu v obou směrech, zapažení výkopové jámy
 - zásyp odvodňovacího příkopu na západní straně
 - položení dočasné vozovky v jízdním pásu D0 směr Plzeň (krátkodobá omezení v režimu 2+1), DIO
 - převedení dopravy v režimu 2+2 do jízdního pásu směr Plzeň

- Fáze 3 – první část nosné konstrukce
 - stavba pevné skruže a bednění v prostoru jízdního pásu D0 směr Brno
 - betonáž první části nosné konstrukce
 - předpínání poloviny kabelů v první části nosné konstrukce
 - odstranění pevné skruže
 - převedení dopravy do jízdního pásu směr Brno v režimu 2+2

- Fáze 4 – druhá část nosné konstrukce
 - odstranění dočasné vozovky a odstranění zásypu odvodňovacího příkopu
 - betonáž základu pilíře P2
 - betonáž pilíře P2
 - stavba pevné skruže a bednění v prostoru jízdního pásu D0 směr Plzeň
 - betonáž druhé části nosné konstrukce
 - předpínání zbylých kabelů
 - položení hydroizolace na první části nosné konstrukce
 - betonáž říms na první části nosné konstrukce – pomocí betonážního vozíku
 - odstranění pevné skruže
 - převedení dopravy do běžného režimu

- Fáze 5 – dokončovací práce
 - položení hydroizolace
 - betonáž říms na druhé části nosné konstrukce – pomocí betonážního vozíku
 - 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

13 Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout a posoudit nosnou konstrukci mostu přes dálnici D0 a tím prověřit možnosti výstavby takového mostu a zhodnotit reálnost navržené konstrukce.

Byly zpracovány tři varianty přemostění – most z prefabrikovaných nosníků, komorový most a dvojtrámová konstrukce. Detailně z nich byla zpracována poslední zmíněná varianta, která byla navržena jako železobetonový monolitický předpjatý dvojtrámový most o čtyřech polích, z nichž nejdelší má rozpětí 43,0 m. Jako výztuž bylo použito 20 předpínacích kabelů, z nichž každý obsahuje 15 předpínacích lan. Z důvodu postupu výstavby bylo navrženo předepnutí poloviny kabelů v první stavební etapě a po dokončení betonáže druhé části mostu dojde k dopnutí celé konstrukce.

Pro takto vyztuženou konstrukci bylo vypočítáno a posouzeno napětí v mezním stavu použitelnosti (mezní stav omezení napětí a mezní stav vzniku trhlin) a následně porovnání ohybového momentu od zatížení s momentem únosnosti v mezním stavu únosnosti. Ačkoliv některá posouzení nevyhověla – zejména příliš silné působení předpětí v průřezu nad pilířem a naopak nedostatečné poloviční předpětí ve stavební fázi v průřezu v poli – daná konstrukce by byla realizovatelná. Jelikož průřez nad podporou nevyhověl ani v mezním stavu únosnosti, byla navržena dodatečná betonářská výztuž. Aby byla nosná konstrukce navržena efektivněji, bylo by nutné optimalizovat vedení předpínací výztuže.

Jistě by bylo nutné vypočítat i zbylé zatěžovací stavy a posoudit konstrukci ve více průřezech a na různá další namáhání (kroucení, podélný smyk. . .). V pokročilejší fázi návrhu by bylo třeba přesně navrhout a posoudit založení mostu, prvky spodní stavby, podélnou výztuž desky nosné konstrukce a také kotvení říms.

Jsem si vědom nečitelnosti a nepřehlednosti některých schémat ve výstupech výpočetního programu, které byly zapříčiněny reprezentací přechodnice, ve které se most nachází. V tomto případě by bylo vhodnější celý model zjednodušit (např. převést přechodnici na delší rovné úsečky), aniž bychom se dopustili významnějších nepřesností.

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

Seznam použitých zkratek

ČSN – česká technická norma

EN – evropská norma

MD ČR – Ministerstvo dopravy České republiky

ŘSD – Ředitelství silnic a dálnic

TKP – Technické kvalitativní podmínky

DIO – dopravně inženýrské opatření

PHS – protihluková stěna

MUK, MÚK – mimoúrovňová křižovatka

NK – nosná konstrukce

SOKP – Silniční okruh kolem Prahy (také Pražský okruh, dálnice D0)

MSP – mezní stav použitelnosti

MSÚ – mezní stav únosnosti

M_{Ek} , M_k – charakteristický moment od účinku zatížení

M_f – moment od časté (frequent, F) návrhové kombinace

M_{QP} – moment od kvazistálé (quasi-permanent, QP) návrhové kombinace

V_{Ed} – návrhová posouvající síla od účinku zatížení

M_{Ed} – návrhový moment od účinku zatížení

M_{Rd} – návrhový moment únosnosti

Seznam příloh

1. Statický výpočet
2. Výkresy variant
3. Výkresová dokumentace

Seznam použitých programů

- SCIA Engineer 18.1
- Microsoft Excel 2016
- Microsoft Word 2016
- AutoCAD 19
- progeCAD 19
- T_EXworks
- Inkscape
- PDF Architect, PDFCreator

Literatura

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

- [15] NAVRÁTIL, Jaroslav. Předpjaté betonové konstrukce. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2008. 186 s. ISBN 978-80-7204-561-7
- [16] PÉREZ CALDENTEY, Alejandro. Hormigón armado y pretensado I: *Hormigón pretensado, Apuntes de Teoría*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2003. (španělština)
- [17] PRÁŠIL, Michal. Označování pracovních míst na dálnicích: *Příručka – I. díl, Pracovní místa bez převedení provozu na volné trase*. Praha: Ředitelství silnic a dálnic, 2017. 107 s. [online]
- [18] SEIDL, Miroslav. TEUCHNER, Miroslav. ŘEHOŘ, Filip. Navrhované mosty na připravované „středočeské“ dálnici D3. In: 23. mezinárodní symposium Mosty/Bridges 2018: *Sborník příspěvků*. Brno. 2018 S. 312–317.
- [19] 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
- [20] 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)
- [21] ŠTAMBASKÝ, Bronislav. PRÁŠIL, Michal. D1 Mirošovice–Kývalka, modernizace: *Typová dopravně-inženýrská opatření*. Praha: Ředitelství silnic a dálnic, 2014. 2. vyd. [online]
- [22] TEUCHNER, Miroslav. SO 301-220 Most na větví 2 přes D0, MUK D3xD0. *Dokumentace pro územní rozhodnutí*.
- [23] *Uživatelské příručky SCIA Engineer* [online]
- [24] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: *Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty* (TKP18). Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2016. 190 s. [online]
- [25] Podklady společnosti VSL [online] – předpínací systémy
- [26] Podklady společnosti Freyssinet [online] – mostní ložiska a závěry
- [27] Mapová aplikace. Česká geologická služba [online]
- [28] Stavby – Mapová aplikace: *D3 0301 Praha-Jílové*. Ředitelství silnic a dálnic ČR. [online]

