



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH SILNIČNÍHO MOSTU V BRNĚ

DESIGN OF THE ROAD BRIDGE IN BRNO

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Kutálek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

BRNO 2021



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

Student	Bc. Jiří Kutálek
Název	Návrh silničního mostu v Brně
Vedoucí práce	doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
Datum zadání	31. 3. 2020
Datum odevzdání	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

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

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Geometrické zaměření, situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry podle mapového podkladu.

Základní normy:

ČSN 736201 Projektování mostních objektů.

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 přemostění v Brně u přehradní hráze navrhnete dvě až tři varianty řešení a zhodnotíte je.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu provedte podle mezních stavů únosnosti a použitelnosti včetně řešení vlivu výstavby mostu na jeho návrh.

Ostatní úpravy provádějte podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje Průvodní 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 (3x), Popisný soubor závěrečné práce

Diplomová práce bude odevzdána 1x v listinné podobě a 1x v elektronické podobě na CD.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je návrh dálničního mostu přes řeku Svratku v Brně. Ze tří zhotovených variant byla zvolena varianta obloukového mostu s lichoběžníkovou horní mostovkou z předpjatého betonu. Zatížení je vypočteno pomocí programu Scia Engineer. Návrh a posouzení nosné konstrukce je provedeno na mezní stavy použitelnosti a únosnosti. Statické posouzení je provedeno ručním výpočtem dle normy ČSN EN 1992-2. Součástí práce jsou podrobné výkresy a vizualizace konstrukce mostu.

KLÍČOVÁ SLOVA

předpjatý beton, dálniční most, obloukový most, vrubový kloub, fáze výstavby

ABSTRACT

The subject of the diploma thesis is a design of a highway bridge across the Svratka river in Brno. Among three options, the arch bridge with a trapezoidal bridge deck from prestressed concrete was chosen. The load effect is calculated with the assistance of Scia Engineer software. The design and the assessment of the structure are made for the ultimate limit state and serviceability limit state. Static assessment is done by hand calculation according to CSN EN 1992-2. The thesis includes drawings and visualizations of the bridge structure.

KEYWORDS

prestressed concrete, highway bridge, arch bridge, notched joint, time dependent analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jiří Kutálek *Návrh silničního mostu v Brně*. Brno, 2021. 20 s., 370 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh silničního mostu v Brně* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Jiří Kutálek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh silničního mostu v Brně* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Jiří Kutálek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu doc. Ing. Ladislavu Klusáčkovi, CSc. za ochotu, vstřícnost a cenné rady během konzultací. Také bych rád poděkoval svým blízkým za podporu a pomoc během celého studia.

V Brně dne 15.1.2021

Bc. Jiří Kutálek
autor práce



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

TECHNICKÁ ZPRÁVA

NÁVRH SILNIČNÍHO MOSTU V BRNĚ

DESIGN OF THE ROAD BRIDGE IN BRNO

SO 201 – DÁLNIČNÍ MOST NA KOMUNIKACI D43 PŘES ŘEKU SVRATKU

SO 201 – HIGHWAY BRIDGE ON THE SPEEDWAY D43 ACROSS THE SVRATKA RIVER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Kutálek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

BRNO 2021

Obsah:

1. Úvod	1
2. Identifikační údaje o projektu.....	3
3. Umístění mostu.....	4
3.1. Lokalita	5
3.2. Charakteristiky komunikace a překážky	5
3.3. Geologické a hydrogeologické podmínky	6
4. Zaměření lokality.....	6
4.1. Důvody zaměření	6
4.2. Rozsah zaměření	6
5. Studie možné podoby nového mostu.....	7
5.1. Varianta 1 – Komorový průřez	7
5.2. Varianta 2 – Dvoutrámový průřez.....	8
5.3. Varianta 3 – Obloukový most	9
6. Technické řešení mostu	11
6.1. Geometrie mostu	11
6.2. Zemní práce.....	12
6.3. Založení.....	12
6.4. Spodní stavba	12
6.4.1. Opěry	12
6.4.2. Přechodová deska	12
6.4.3. Kotevní bloky	12
6.5. Nosná konstrukce	12
6.6. Uložení	13
6.6.1. Ložiska.....	13
6.7. Vozovka	13
6.8. Římsy	14
6.9. Odvodnění	14
7. Statický výpočet	14
7.1. Model konstrukce z programu SCIA Engineer 19.1.....	14
7.2. Průvodní zpráva statického výpočtu	15
7.2.1. Základní informace	15
7.2.2. Zatížení	15
7.2.3. Kombinace	15
7.2.4. Návrh předpětí	15

7.2.5.	Účinky reologických jevů na konstrukci ve fázích výstavby	16
7.2.6.	Mezní stav použitelnosti	16
7.2.7.	Mezní stav únosnosti	16
7.2.8.	Kotevní oblast	16
7.3.	Materiály	17
8.	Vytyčení	18
9.	Podmínky při výstavbě	18
9.1.	Stavební postup	18
10.	Závěr	20
11.	Seznam použitých zdrojů	21
11.1.	Základní normy	21
11.2.	Literatura	21
11.3.	Internetové zdroje	21
11.4.	Software	22
12.	Seznam obrázků	23
13.	Seznam příloh	24

1. Úvod

Diplomová práce se zabývá návrhem mostu na plánované komunikaci D43 v místě, kde tato komunikace překonává údolí řeky Svatky v lokalitě u Brněnské přehrady. Důležitou stránkou návrhu bude nejen technické, ale i estetické zasazení mostu do kontextu celkové struktury budoucí komunikace D43. Zejména estetická stránka návrhu bude vnímána velmi citlivě a možná i kontroverzně.

V současnosti je komunikace v rané fázi příprav. Dle veřejně dostupných informací je tato komunikace uvedena v aktualizované ZÚR JMK ze 17.9.2020. Pro tuto komunikaci ovšem zatím není ani dokončený proces vyhodnocení vlivů na životní prostředí EIA.

Trasování této komunikace není nijak nové. Původní trasování této komunikace je již přes 80 let staré. První práce na této komunikaci započaly již před 2. světovou válkou. Mělo se jednat o německou exiteritoriální dálnici Vídeň-Vratislav. Toto původní trasování je velmi dobře patrné v okolí Brna. Na několika místech jsou již postaveny mosty, a dokonce po většině trasy jsou zhotoveny násypy a zářezy. V místě uvažovaného mostu je vybudována jedna opěra na pravém břehu řeky a jeden pilíř na levém břehu, který je dodnes dominantou okolí. Po skončení války byla tato dálnice nadále součástí územních plánů dotčených obcí. V dnešní době nutnost této páteřní komunikace nadále vzrůstá z důvodu vyšší automobilizace obyvatelstva.



Obrázek 1 Pohled na horní povrch opěry na pravém břehu



Obrázek 3 Pohled na pilíř na levém břehu



Obrázek 2 Pohled na lokalitu

Samotná dálnice by měla mít kategorii R 25,5/120. V intravilánu města Brna je uvažováno s kategorií místní komunikace MR4dc -/24,5/80. Řešený návrh se tedy přiklání k šířkovému uspořádání místní komunikace.

2. Identifikační údaje o projektu

Název stavby	Dálniční most na komunikaci D43 přes řeku Svatku
Stavební objekt	SO 201
Kraj	Jihomoravský kraj
Okres	Brno – město
Obec	Statutární město Brno
Katastrální území	k.ú. Bystře, k.ú. Kníničky
Investor	ŘSD
Správce mostu	ŘSD
Pozemní komunikace	Dálnice II. třídy D43
Kategorie pozemní komunikace	MR4dc -/24,5/80
Provozní staničení	km 7,881 485 - km 8,063 735
Přemostovaná překážka	řeka Svatka
Úhel křížení	70,08°

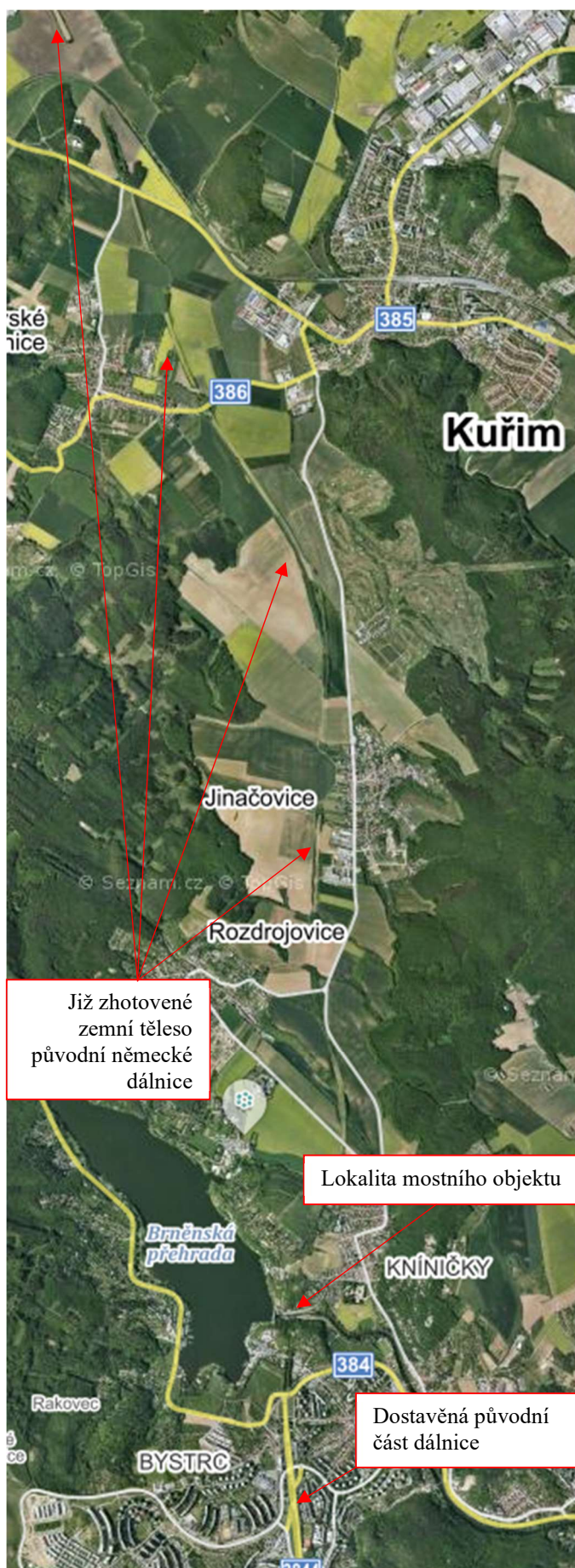
3. Umístění mostu

Mostní objekt je umístěn v blízkosti vodního díla Brno. Tento most se tak může stát novou dominantou v této lokalitě, která kloubí několik funkcí.

Hlavní funkcí vodního díla je bezesporu ochrana města Brna před záplavami a výroba elektrické energie v malé vodní elektrárně. V průběhu času se z této lokality stala také rekreační zóna pro město. V rámci tohoto účelu se zde pořádá několik společenských akcí jako například Ignis Brunensis.

Ač se na první pohled zdá, že tyto funkce nemají vliv na návrh nového mostu, tak opak je částečnou pravdou, protože díky těmto skutečnostem je na budoucí návrh mostu kladen o to větší důraz. V průběhu času byly, a i stále jsou, snahy tuto klíčovou komunikaci odsunout dále od města. Tato odsunutá varianta komunikace by však dle studie proveditelnosti ztratila na svém významu a funkci.

Z těchto důvodů jsem se snažil o návrh nového mostu tak, aby spíše doplnil lokalitu o něco nového. Návrh si tedy klade za cíl ctít okolí stavby a netvořit zbytečnou bariéru v jeho okolí.



Obrázek 4 Ortofoto snímek lokality

3.1. Lokalita

Jak již bylo zmíněno výše, tato lokalita je spíše považována za klidovou a odpočinkovou zónu města. A proto další prvek, který může narušit tuto zónu musí být navržen tak, aby tuto lokalitu obohatil.

Lokalita samotného mostu je na rozhraní dvou městských částí, a to Bystře a Kníničky. V blízkosti mostu se nenachází žádné významnější lokality pro bydlení, které by tato konstrukce mohla ohrozit.

3.2. Charakteristiky komunikace a překážky

Tento úsek budoucí dálnice je svým způsobem jedinečný v celé republice. Jedná se totiž o projekt, který byl již rozestavěn a z důvodu války přerušen a následně i opuštěn. Vracíme se k němu tedy po téměř 80 letech. Samotné výškové a směrové řešení dálnice není ničím zajímavé. Za zmínku však stojí to, že niveleta komunikace byla v místě mostu snížena takřka o 10 m oproti původnímu projektu. Údolí řeky Svratky, které most překonává, je z velké části skálou. A to je i důvod, proč zde byla vybudována přehrada.

Zajímavostí je ovšem samotné vedení dálničního úseku, protože bude z velké části veden v podzemí. Dokonce se dá říct, že jediný fyzický důkaz o této dálnici, který bude na první pohled vidět, je právě most, který bude překonávat údolí řeky.

3.3. Geologické a hydrogeologické podmínky

Geologické podmínky v lokalitě jsou velmi přívētivé. Nachází se zde velmi únosný horninový masív tvořený diority a granitoidy, které jsou zaříděny podle normy ČSN 72 1001 do stupně pevnosti velmi vysoké R1. Hornina této třídy má tlakovou pevnost od 150-250 MPa a modul přetvárnosti $E_{\text{def}}=25000 \text{ MPa}$.

Z hydrologického výpočtu byla zjištěna hladina Q_{100} , která byla stanovená pro průtok $Q_{100} = 355 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$. Při tomto průtoku hladina v místě mostu vystoupá do výšky 215.130 m n.m.

4. Zaměření lokality

Lokalita byla zaměřena studenty 5. ročníku oboru Geodezie a kartografie. Viz příloha č.1.

4.1. Důvody zaměření

Hlavním důvodem zaměření této lokality bylo zhotovení podrobné podoby oblasti tak, aby byly simulovány skutečné podmínky v projektové praxi.

4.2. Rozsah zaměření

Lokalita byla zaměřena v délce cca 215 m po směru toku řeky. Zaměřeny byly všechny významné dominanty okolí, a to včetně samotné přehrady a spodní stavby mostu nedokončené dálnice. Bližší informace o zaměření lokality v příloze P1.1.

5. Studie možné podoby nového mostu

Ve studiích bylo uvažováno s technickými a technologickými možnostmi, které umožňuje technologie předpjatého betonu. Byly navrženy celkem 3 možné podoby nového mostu. Tyto varianty jsou popsány níže.

U předběžných návrhů jsem vycházel z možností, které jednotlivé druhy konstrukcí umožňují. Proto jsem osobně navrhl 3 možné podoby, kterými je komorový průřez, dvoutrámový průřez a obloukový most s horní mostovkou, který je tvořen samotným obloukem, podpěrami a dodatečně předpjatou deskou.

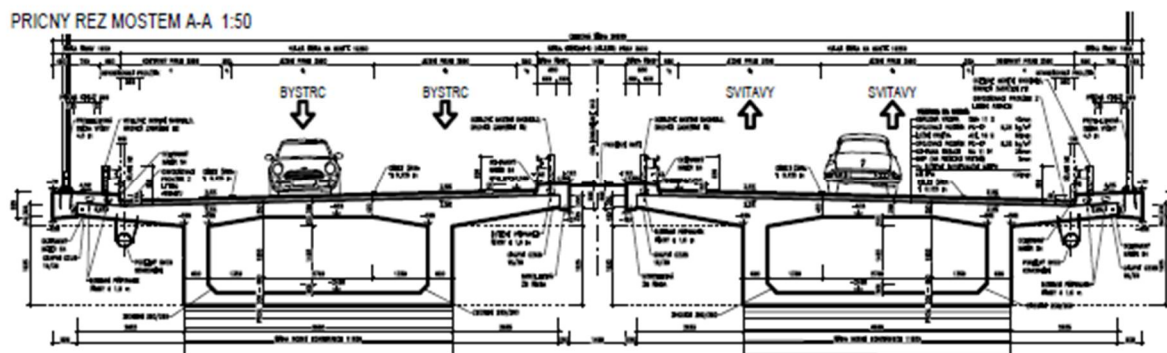
5.1. Varianta 1 – Komorový průřez

Jako první variantu možné podoby mostu jsem zvolil předpjatý komorový průřez o 3 polích. Z důvodu velkého rozpětí pole 2 byla konstrukce zvolena jako náběhovaná. Konstrukce o rozpětí 43,325+95+43,325 m je na opěrách uložena na dvojici ložisek. Na podpěrách je konstrukce rámově spojena s dvojicí štíhlých stojek. Výška v místě podpor je 5 m. Ve všech polích je výška průřezu 2,5 m. Z důvodu rozdělení konstrukce na dvě samostatné nosné konstrukce není šířka nijak velká, a proto není potřebné ji v příčném směru předepínat.

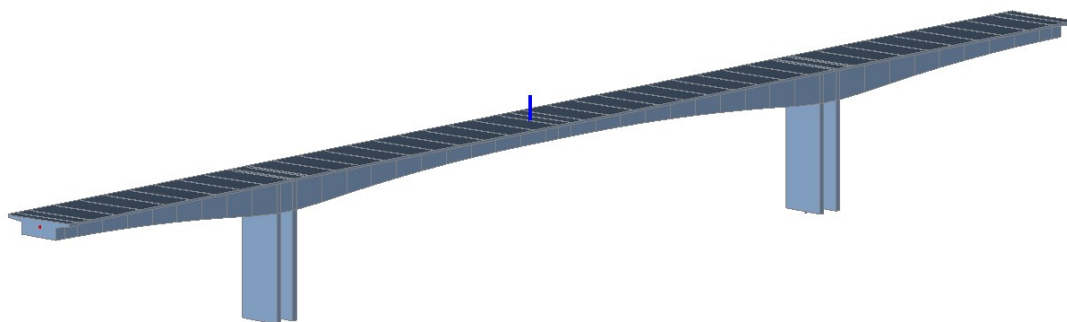
Příslušenství je ve všech variantách stejné a bude podrobněji popsáno v kapitole 6.

Výstavba této konstrukce by byla provedená letmou betonáží. Postupovalo by se ze zárodků na podpěrách šířky 10 m dále po 5 m na obě strany od zárodku. Následně by bylo uprostřed rozpětí dobetonováno 5 m a u opěr 4,325 m.

Tato varianta nebyla vybrána z důvodu zasahování podpěr do koryta řeky a její mohutnou podélnou plochou, která by v místě vytvořila bariéru.



Obrázek 5 Příčný řez mostem uprostřed rozpětí 1:200



Obrázek 6 Předběžný model v programu Scia Engineer

5.2. Varianta 2 – Dvoutrámový průřez

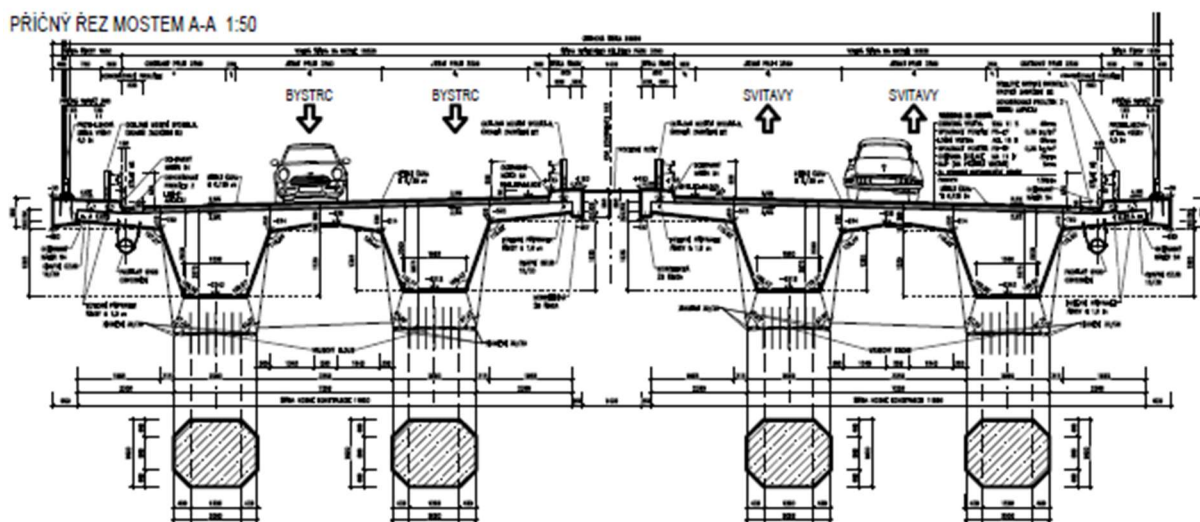
Jako druhou variantu jsem zvolil dvoutrámový průřez o 4 polích 34,81+62+44,42+40,42 m. Tato konstrukce by byla v poli dvounáběhovaná s tloušťkou nad podpěrami 3,2 m a v poli 2 m. Konstrukce by byla uložena na podpěře pomocí 3 vrubových kloubů, které by umožnily jen pootočení ve směru mostu. Ostatní posunům a pootočením by bylo zamezeno. Na ostatních podpěrách a opěrách by byla konstrukce uložena na elastomerová ložiska. Stejně jako v první variantě mostní konstrukce by byla tato konstrukce rozdělena na dva samostatné mosty. Z tohoto důvodu i zde není potřebné příčné předepnutí konstrukce.

Příslušenství je ve všech variantách stejné a bude podrobněji popsáno v kapitole 6.

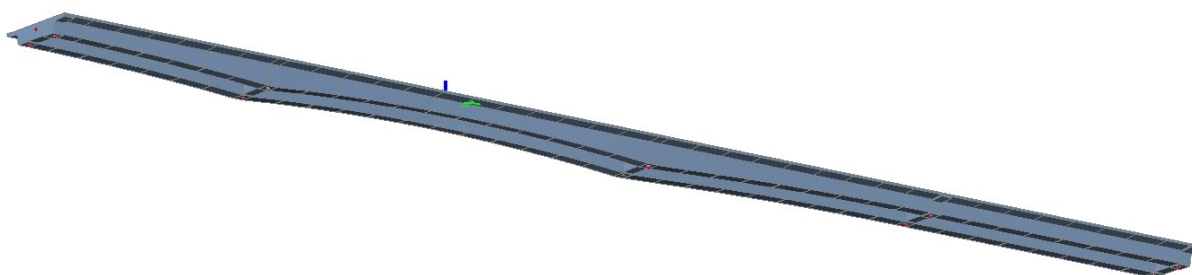
U této varianty bych zvolil postup výstavby na pevné skruži anebo na posuvné skruži tak, aby konstrukce byla vybetonována po polích. V tomto případě by bylo výhodné provádět výstavbu z jedné strany a vždy zakotvit polovinu předpínacích kabelů v pracovní spáře.

Tato varianta nebyla vybrána z důvodu nízké estetiky a komplikovaného příčného tvaru konstrukce, který by bylo složitější vybednit.

PŘÍČNÝ ŘEZ MOSTEM A-A 1:50



Obrázek 7 Příčný řez mostem uprostřed rozpětí 1:200



Obrázek 8 Předběžný model v programu Scia Engineer

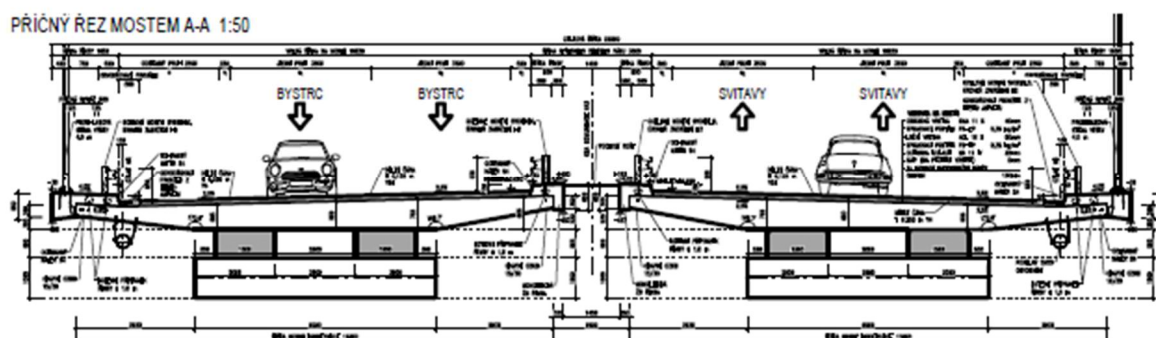
5.3. Varianta 3 – Obloukový most

Tato varianta nejlépe korespondovala s tvarem přemost'ovaného údolí, a proto byla vybrána pro posouzení a další rozpracování.

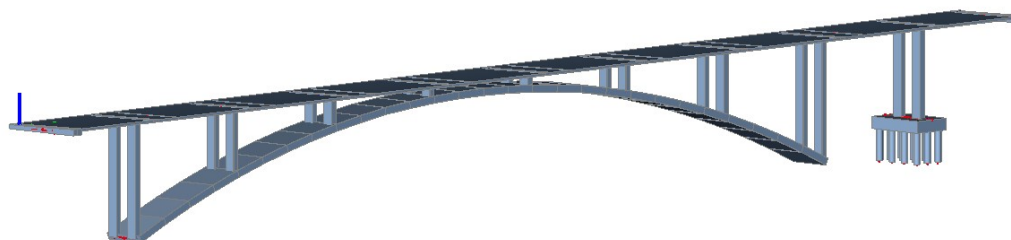
Varianta se skládá z oblouku o rozpětí 132,695 m a vzepětí 14,5 m. Tento oblouk je hlavním nosným prvkem, který podepírá mostovku o deseti polích 15,3+8x18,955+15,3 m. Mostovka s obloukem je spojena vždy dvojicí podpěr. Tyto podpěry jsou spojeny s obloukem a mostovkou pomocí vrubových kloubů, které umožňují jen pootočení ve směru mostovky. Oblouk je tvaru obdélníku 6x1 m a podpěry jsou taktéž tvaru obdélníku 0,8x1,5 m. Mostovka byla zvolena jako předpjatá spojitá lichoběžníková deska. Most je na opěrách uložen na elastomerová ložiska, která umožňují posun ve směru mostovky.

Príslušenství je ve všech variantách stejné a bude podrobněji popsáno v kapitole 6.

U této varianty je postup výstavby takový, že oblouk se postaví jako první a setrvá na pevné skruži až do doby odbednění posledního pole mostovky. Po oblouku se vybetonují podpěry, které setrvávají v bednění do odbednění přilehlého pole. Po odbednění podpěr dojde k aktivaci vrubových kloubů při dolním okraji. Mostovka bude betonována postupně po polích a to tak, že se pracovní spára vždy umístí 4 m v následujícím poli, a vždy bude v pracovní spáře zakotvena polovina předpínacích lan.



Obrázek 9 Příčný řez mostem uprostřed rozpětí 1:200



Obrázek 10 Model v programu Scia Engineer

6. Technické řešení mostu

6.1. Geometrie mostu

Poloha mostovky:	Horní
Doba trvání přemostění:	Trvalé
Počet mostních otvorů:	10
Šikmost mostu:	-
Úhel křížení:	70,08°
Délka přemostění:	180,350 m
Rozpětí:	181,650 m
Délka nosné konstrukce:	183,650 m
Délka mostu:	195,670 m
Kategorijní šířka:	MR4dc -/24,5/80
Šířka mezi římsami:	10,25
Chodníky:	Pravý únikový
Šířka chodníků:	0,75 m
Šířka levé římsy:	0,8 m
Šířka pravé římsy:	1,65 m
Šířka jednoho mostu:	12,70 m
Šířka celkem:	26,80 m
Šířka nosné konstrukce:	11,86 m
Šířka mezi mosty:	1,4 m
Výška Q100	V ₁₀₀ =215,13 m n.m.
Založení:	hlubinné

6.2. Zemní práce

V místě budoucího mostu dojde k sejmutí ornice dle pedologického průzkumu. Tato ornice bude uskladněna a následně použita pro úpravy kolem a pod mostem. Zemina za opěrami bude zvolena nenamrzavá a bude dle příslušných předpisů hutněna po předepsaných vrstvách. Výkopy budou zhotoveny ve sklonu 1:1 a řádně odvodněny, není-li uvedeno jinak. Podkladní beton třídy C12/15 X0 bude tloušťky 150-200 mm.

6.3. Založení

Oblouk bude založen do kotevních bloků, které budou opřeny do skalní horniny třídy R1. Tato hornina bude ještě zpevněna mikropiloty tak, aby případné diskontinuity neohrozily samotnou únosnost horniny. Opěry budou založeny stejně jako kotevní bloky. Založení pod podpěrou 10 bude zhotoveno z hlubinného založení provedeného pilotami o průměru 0,9 m.

6.4. Spodní stavba

6.4.1. Opěry

Opěry budou zhotoveny z betonu C30/37 XD1. Tloušťka dříku opěry je 2,85 m. Úložný práh je ve sklonu 4 % směrem k závěrné zídce, kde je následně voda odvedena odvodňovacím kanálkem z opěry. Podložiskové bloky a křídla opěr jsou navrženy z betonu C30/37 XD1. Závěrná zídka je v nejširším místě 0,9 m široká.

6.4.2. Přechodová deska

Přechodová deska se nachází za opěrami a je spojena se závěrnou zídou pomocí vrubového kloubu. Délka přechodové desky je 4 m a má sklon 10 % od závěrné zídky. Tloušťka je 0,35m a je z betonu C25/30 XF1, XD2, XC4.

6.4.3. Kotevní bloky

Tyto bloky slouží k opření oblouku do horniny a jsou z betonu C30/37 XA1, XF3. Bloky jsou dlouhé 7,2 m a široké 6 m. Základová spára bloků je odstupňována tak, aby se konstrukce patřičně opřela do skály.

6.5. Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci tvoří předpjatá lichoběžníková deska. Tato deska nemá konstantní výšku. Horní povrch desky má sklon 2,5 % směrem k úžlabí nosné konstrukce, kde je protispád 6 %.

Deska je na podpěrách uložena na vrubových kloubech, na opěrách je uložena na elastomerových ložiscích.

Konstrukce desky je podélně předpjatá pomocí 12 předpínacích kabelů o 19 lanech Y1860-S7-15,7A. Konstrukce je předepínaná po polích. Vždy je polovina kabelů zakotvena v pracovní spáře. Jako betonářská výztuž byla zvolena B500B.

6.6. Uložení

UMÍSTĚNÍ	OZNAČENÍ	LEVÉ LOŽISKO	PRAVÉ LOŽISKO
OPĚRA 1	OP1	VŠESMĚRNÉ	PODÉLNĚ POHYBLIVÉ
PODPĚRA 2	PO2	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 3	PO3	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 4	PO4	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 5	PO5	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 6	PO6	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 7	PO7	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 8	PO8	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 9	PO9	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
PODPĚRA 10	PO10	VRUBOVÝ KLOUB (POOTOČENÍ V PODÉLNÉM SMĚRU)	
OPĚRA 11	OP11	VŠESMĚRNÉ	PODÉLNĚ POHYBLIVÉ

6.6.1. Ložiska

Elastomerová ložiska by se navrhla pomocí specifikací výrobce a reakcí z návrhových hodnot ze statického modelu.

6.7. Vozovka

Návrh vozovky byl vytvořen s přihlédnutím na dopravu v místě objektu. Vozovka má standardní příčný sklon 2,5 %.

VOZOVKA NA MOSTĚ:

OBRUSNÁ VRSTVA	SMA 11 S	40mm
SPOJOVACÍ POSTŘÍK	PS-EP	0,35 kg/m ²
LOŽNÍ VRSTVA	ACL 16 S	50mm
SPOJOVACÍ POSTŘÍK	PS-EP	0,35 kg/m ²
OCHRANA IZOLACE	MA 11 IV	35mm
NAIP (NA PEČETÍCI VRSTVĚ)	5mm	
2x KOTEVNÍ IMPREGNAČNÍ NÁTĚR		
CELKEM		130mm

6.8. Římsy

Římsy jsou navrženy z monolitického betonu C30/37 XF-4 a betonářské oceli B500B. Příčný sklon říms je 4,0 %. Na pravé římse je umístěn únikový chodník šířky 750 mm.

6.9. Odvodnění

Komunikace je odvodněna příčným sklonem do odvodňovacích proužků, následně je voda svedena do mostních odvodňovačů 300/500 a odvodnění izolace, ze kterých se voda dostává do podélného svodu, který je vyústěn na zpevněnou plochu před opěrou 1.

7. Statický výpočet

Statický výpočet je uveden v příloze P4. Součástí je výpočet hlavní nosné konstrukce a jejich částí dle platných EN. Výpočet je doplněn o podrobné výkresy v příloze P2.

Návrh a výpočet byl proveden ručně a za pomoci programu SCIA Engineer 19.1.

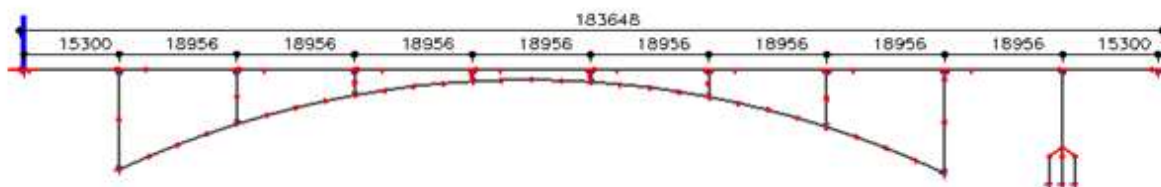
7.1. Model konstrukce z programu SCIA Engineer 19.1.

Konstrukce je tvořena deseti poli o rozpětí 15,3+8x18,955+15,3 m. Rozpětí mostu je 181,650 m a přesah na opěrách OP1 a OP11 je 0,7 m. Celková délka nosné konstrukce mostu je 183,650 m.

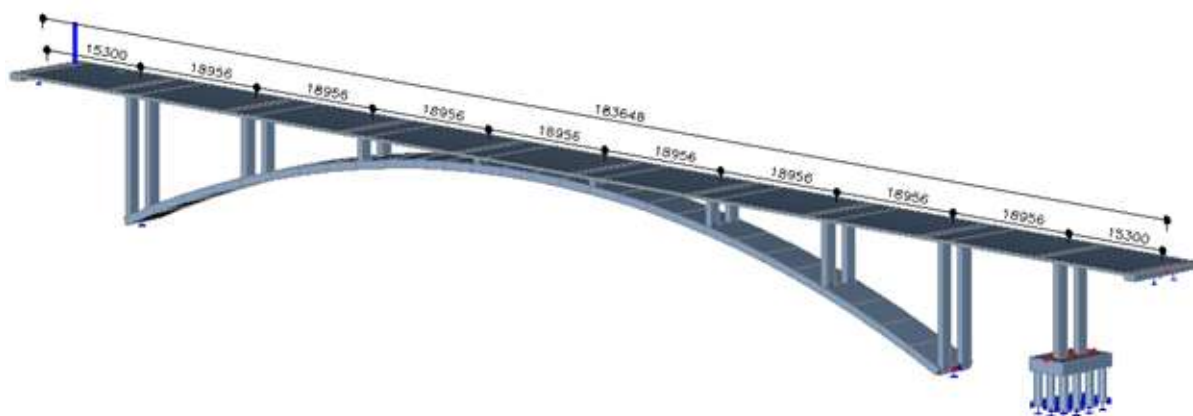
Model konstrukce je vytvořen v programu Scia Engineer 19.1. Nosná konstrukce je v podélném směru vymodelována jako spojitá lomená deska s proměnnou tloušťkou. Jedná se o spojitou konstrukci o 10 polích, podepřenou na opěrách dvojicí ložisek. Mezi opěrami je 9 podpěr, se kterými je nosná konstrukce spojena vrubovým kloubem. Podpěry PO2 až PO9 jsou opřeny do oblouku, se kterým jsou taktéž spojeny vrubovým kloubem. Podpěra PO10 stojí samostatně a je založena na hlubinných základech. Oblouk, do kterého se podpěry PO2 až PO9 opírají, je založen a opřen o skalní masiv u Brněnské vodní nádrže.

Založení oblouku není blíže řešeno z důvodu nutnosti provést podrobný geologický průzkum oblasti. Úroveň skalního masívu pod terénem je po konzultaci s odborníkem z oboru Geotechniky pouze odhadována. Předběžné zatřídění horniny v oblasti bylo stanoveno na R1, což je hornina se stupněm pevnosti velmi vysoká.

Byly vytvořeny dva modely. První model byl vytvořen v obecném XYZ, kde byla provedena globální analýza. Druhý model byl vytvořen jako rám XZ z důvodů výpočtu TDA. Výsledky z TDA byly použity pro stanovení dlouhodobých ztrát předpětí. Stáří betonu bylo zohledněno výpočtem efektivního modulu pružnosti závislého na čase.



Obrázek 11 Podélný pohled na statický model



Obrázek 12 Axonometrický pohled na statický model

7.2. Průvodní zpráva statického výpočtu

7.2.1. Základní informace

V této kapitole jsou stanoveny základní informace potřebné ke statickému výpočtu.

7.2.2. Zatížení

V této kapitole jsou stanoveny zatěžovací stavy a jejich charakteristické hodnoty.

7.2.3. Kombinace

V části kombinace jsou vysvětleny použité kombinace a jejich součinitelé pro požadované zatěžovací stavy.

7.2.4. Návrh předpětí

Zde je uvedený postup návrhu předpětí a jeho účinků v postupu výstavby a v čase životnosti.

7.2.5. Účinky reologických jevů na konstrukci ve fázích výstavby

V této kapitole je spočten efektivní modul pružnosti, který byl následně použit ve statických modelech. Tento modul zohledňuje vývoj dotvarování v čase.

7.2.6. Mezní stav použitelnosti

Zde je konstrukce posouzena na mezní stav použitelnosti. V tomto stavu je konstrukce posuzována na kombinace charakteristickou, častou a kvazistálou. Posudek byl proveden pro všechny prvky ve všech fázích životnosti konstrukce. Konstrukce **vyhověla** na všechny požadavky mezního stavu použitelnosti.

7.2.7. Mezní stav únosnosti

V této kapitole je konstrukce posouzena dle platných norem na mezní stav únosnosti. Konstrukce **vyhověla** na všechny požadavky mezního stavu únosnosti.

7.2.8. Kotevní oblast

Zde je posouzena kotevní oblast pod aktivní kotvou.

7.3. Materiály

Předpínací výztuž: Y-1860-S7-15,7

Charakteristická pevnost v tahu

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

Charakteristická smluvní mez kluzu

$$f_{p,0.1k} := 1640 \text{ MPa}$$

Součinitel spolehlivosti materiálu

$$\gamma_s := 1.15$$

Výpočtová pevnost v tahu

$$f_{pd} := \frac{f_{p,0.1k}}{\gamma_s} = 1426.087 \text{ MPa}$$

Průměr lana

$$d := 15.7 \text{ mm}$$

Plocha lana

$$A_{p1} := 150 \text{ mm}^2$$

Počet drátů

$$n := 7 \text{ drátů}$$

Lana s nízkou relaxací

$$\text{třída 2}$$

Modul pružnosti

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

Poissonova konstanta

$$\nu_p := 0.15$$

Objemová hmotnost

$$\gamma := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tepelná roztažnost

$$\alpha := 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

Beton: C50/60

Součinitel spolehlivosti materiálu

$$\gamma_c := 1.5$$

$$\alpha_{cc} := 0.85$$

Normová pevnost v tlaku

$$f_{ck} := 50 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{ct} := 1$$

Výpočtová pevnost v tlaku

$$f_{cd} := \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = 28.333 \text{ MPa}$$

Normová pevnost v tahu

$$f_{ctm} := 4.1 \text{ MPa}$$

0.05 kvantil

$$f_{ctk,0.05} := 2.9 \text{ MPa}$$

Výpočtová pevnost v tahu

$$f_{ctd} := \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1.933 \text{ MPa}$$

Poměrné přetvoření betonu

$$\varepsilon_{cu3} := 0.0035$$

Model pružnosti

$$E_{cm} := 37 \text{ GPa}$$

Poissonova konstanta

$$\nu_c := 0.2$$

Objemová hmotnost

$$\gamma := 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tepelná roztažnost

$$\alpha := 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

Betonářská výztuž: B 500B

Součinitel spolehlivosti materiálu

$$\gamma_s := 1.15$$

Charakteristická mez kluzu

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

Výpočtová mez kluzu

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$

Model pružnosti

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

Poměrné přetvoření výztuže

$$\varepsilon_{yd} := \frac{f_{yd}}{E_s} = 0.002174$$

Poissonova konstanta

$$\nu_s := 0.3$$

Objemová hmotnost

$$\gamma := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tepelná roztažnost

$$\alpha := 1.2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$$

8. Vytyčení

Vytyčení konstrukce bude provedeno vhodnými geodetickými metodami, a to v souřadném systému S-JTSK, výškově umístěného v systému Balt po vyrovnání. Během výstavby je nutná kontrola vytyčení konstrukce.

POPIS	Č. BODU	Y [m]	X [m]
HL. BODY	201 00 01	604028,070	1156013,867
	201 00 02	604023,566	1155999,244
	201 00 03	604017,986	1155981,128
	201 00 04	604012,406	1155963,012
	201 00 05	604006,826	1155944,896
	201 00 06	604001,246	1155926,780
	201 00 07	603995,666	1155908,664
	201 00 08	603990,070	1155890,553
	201 00 09	603984,508	1155872,431
	202 00 10	603978,927	1155854,317
	202 00 11	603974,423	1155839,695

9. Podmínky při výstavbě

Stavba musí být provedena v souladu s platnými příslušnými normami, technickými předpisy a platnou legislativou. Veškeré práce musí dodržovat technické a technologické postupy. Případné odchylky od projektové dokumentace musí být projednány se statikem a projektantem stavby.

9.1. Stavební postup

V místě budoucích stavebních jam je nutné provést skrývku ornice o tloušťce 200 mm. Výkop stavebních jam bude proveden pomocí svahování s výjimkou bloku pod PO2 a základu pod podpěrou PO10. U bloku pod PO2 bude provedeno pažení stavební jámy blíže k svahu, konkrétně pomocí pažení se zemními kotvami. U PO10 bude analogicky provedeno pažení stavební jámy se zemními kotvami.

Podpěry a základy oblouku budou uloženy na proinjektovaný skalní masív. Injektáž horninového masívu bude provedena mikropilotami bez nosné funkce. Základ pod PO10 bude uložen na opřených pilotách o průměru $R=900$ mm. Na tyto piloty se položí podkladní beton o tloušťce 200 mm a následně samotný základ PO10. Podpěry budou vybetonovány do úrovně úložného prahu s částmi mostních křídel a části závěrné zídky. Následně bude na opěry aplikována ochranná hydroizolace, rubová drenáž a prostor za opěrami se částečně zaveze vhodnou zeminou.

Z nosné konstrukce samotného mostu bude nejprve provedena konstrukce samotného oblouku, která bude betonovaná na pevné skruži. Tato skruž bude podpírat oblouk po celou dobu výstavby jeho nosné konstrukce. Po oblouku se budou betonovat podpěry, které budou odbedněny společně s přilehlým polem nosné konstrukce. U podpěr budou zhotoveny vrubové klouby. Tyto klouby budou na obou stranách podpěr. Kloub u paty podpěr bude během výstavby pevný a jeho funkce bude aktivována po odbednění dané podpěry. Aktivace bude provedena tím, že se přidáné pruty betonářské výztuže v určených místech přeříznou.

Betonáž nosné konstrukce bude provedena dle harmonogramu práce. Je navržena tak, aby byla vždy v pracovní spáře kotvena polovina předpínacích lan. Tyto pracovní spáry jsou umístěny přibližně v $1/5$ rozpětí pole. Poslední dvě pole jsou betonována zároveň. Návrhu receptury betonu nosné konstrukce C50/60 XF2 musí být věnována velká pozornost kvůli potřebě rychlého nárůstu pevnosti betonu. Dále je třeba navrhnout recepturu s dobrou zpracovatelností a technologií dopravy.

Po dokončení nosné konstrukce mostu se může dobudovat závěrná zídka a přechodová oblast za opěrami. Na povrchu nosné konstrukce bude aplikována hydroizolace. Následuje instalace odvodňovačů a vrtání kotevních přípravků říms po 1000 mm. Poté budou zhotoveny železobetonové římsy. Po odbednění říms bude zhotoveno souvrství vozovky. Následně budou osazena svodidla a protihlukové stěny z odrazivého materiálu. Nakonec budou zhotoveny úpravy kolem mostu a pod mostem.

Fáze 0 – Popisuje průběh od začátku stavebních prací až po dokončení spodní stavby.

Fáze 1-11 – Popisuje budování nosné konstrukce mostu.

Fáze 12 – Popisuje dokončení spodní stavby a přechodové oblasti za opěrami.

Fáze 13 – Popisuje instalaci příslušenství a zhotovení souvrství vozovky.

Fáze 14 – Popisuje dokončovací práce a uvedení do provozu.

Délky jednotlivých fází se mohou měnit s ohledem na počasí a neočekávané vlivy v průběhu stavby.

Podrobný časový harmonogram je uveden v příloze P3.17.

Podrobné schéma výstavby je zobrazeno v příloze P3.16.

10. Závěr

Úkolem práce bylo navrhnout a posoudit dálniční most na budoucí komunikaci D43 v místě u Brněnské přehrady. Pro podrobnější zpracování byla zvolena třetí varianta návrhu konstrukce.

Zvolenou variantou byl obloukový most s horní mostovkou. Úkolem bylo posoudit tuto konstrukci na mezní stavy použitelnosti a únosnosti dle platných norem. Tyto mezní stavy byly ověřeny v průběhu výstavby samotné konstrukce. V mezním stavu únosnosti byly tlačené prvky posouzeny na kombinaci M+N a na kroucení. Samotná mostovka byla posouzena na ohyb jak v podélném, tak příčném směru. Dále byla mostovka posouzena na kroucení. V neposlední řadě bylo provedeno posouzení kotevní oblasti. Ze statické výpočtu vyplívá, že konstrukce **vyhovuje** na všechny posuzované mezní stavy.

11. Seznam použitých zdrojů

11.1. Základní normy

ČSN 736201: 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

11.2. Literatura

- [1] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [2] ČAMBULA, Jaroslav. *Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódů*. Praha: Pro Ministerstvo dopravy a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. Technická knižnice (ČKAIT). ISBN 978-80-87093-90-0.
- [3] KADLČÁK, Jaroslav a Jiří KYTÝR. *Statika stavebních konstrukcí*. 3. vyd. Brno: Vutium, 2007. ISBN 978-80-214-3419-6.
- [4] STRÁSKÝ, Jiří. *Betonové mosty*. Praha: ŠEL, 2001. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86426-05-X.

11.3. Internetové zdroje

- [1] *Geoportal.gov*. [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- [2] *Geology* [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet>
- [3] *Cuzk* [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/>
- [4] *Freyssinet* [online]. [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <http://www.freyssinet.cz/>
- [5] *VSL* [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <http://www.vsl.cz/>
- [6] *Doka* [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://www.doka.com/cz/index?noredirect=1>

11.4. Software

- Microsoft Word 365 – Studentská verze
- Microsoft Excel 365 – Studentská verze
- AutoCAD 2019 - Studentská verze
- SCIA Engineer 19.1 - Studentská verze
- Midas Civil – Trial verze
- Lumion PRO 11.0.2 - Studentská verze
- Rhinoceros 7 – Studentská verze
- GEO5 – Demoverze
- PTC MathCAD – Zkušební verze

12. Seznam obrázků

Obrázek 1 Pohled na horní povrch opěry na pravém břehu	1
Obrázek 2 Pohled na lokalitu	2
Obrázek 3 Pohled na pilíř na levém břehu	2
Obrázek 4 Ortofoto snímek lokality	4
Obrázek 5 Příčný řez mostem uprostřed rozpětí 1:200	7
Obrázek 6 Předběžný model v programu Scia Engineer.....	8
Obrázek 7 Příčný řez mostem uprostřed rozpětí 1:200	9
Obrázek 8 Předběžný model v programu Scia Engineer.....	9
Obrázek 9 Příčný řez mostem uprostřed rozpětí 1:200	10
Obrázek 10 Model v programu Scia Engineer	10
Obrázek 11 Podélný pohled na statický model	15
Obrázek 12 Axonometrický podhled na statický model	15

13. Seznam příloh

P.1 Podklady a studie

1. Polohopisné a výškopisné zaměření lokality
2. Situace
3. Podélný profil
4. Studie 1 – Podélný řez a půdorys
5. Studie 1 – Příčné řezy
6. Studie 2 – Podélný řez a půdorys
7. Studie 2 – Příčné řezy
8. Studie 3 – Podélný řez a půdorys
9. Studie 3 – Příčné řezy

P.2 Výkresy řešené varianty

10. Výztuž nosné konstrukce
11. Předpínací výztuž nosné konstrukce
12. Výztuž oblouku
13. Výztuž podpěr

P.3 Stavební postup a vizualizace

14. Stavební postup (textová část)
15. Schéma postupu výstavby
16. Harmonogram výstavby
17. Vizualizace

P.4 Statický výpočet

18. Statický výpočet
19. Výkaz předpínací výztuže