



19.5.2019

Diplomová práce

Návrh estakády na silnici I/27



Babica, Jan

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ, FAKULTA STAVEBNÍ, KATEDRA
BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

Prohlašuji že se elektronická verze shoduje s verzí tištěnou.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Babica** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **395656**
 Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
 Zadávací katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**
 Studijní program: **Stavební inženýrství**
 Studijní obor: **Konstrukce a dopravní stavby**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Most na silnici I/27 v Plzni

Název diplomové práce anglicky:

Bridge structure on I/27 motorway in Pilsen

Pokyny pro vypracování:

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., katedra betonových a zděných konstrukcí FSV

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **26.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce: _____

 doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.
 podpis vedoucí(ho) práce

 podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

 prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
 podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

 Datum převzetí zadání

 Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně v součinnosti s vedoucí této práce a že jsem uvedl všechny použité zdroje.

V Olomouci

Dne: 23.5.2019

Podpis:

Rád bych poděkoval vedoucímu této práce panu docentovi Lukáši Vráblíkovi za cenné rady, připomínky a možnost tuto práci zpracovat. Déle bych rád poděkoval své partnerce Miluše Zmundové, svým rodičům za podporu a pomoc ve složitých životních situacích.

Děkuji Vám.

Abstrakt: Tato diplomová práce se zabývá možností přemostění údolní nivy řeky Mže. V úvodu nabízí uvažované varianty, kde je vybrána jedna možnost a ta je detailně rozpracována.

Klíčová slova: Silniční most, předpjatá konstrukce

Abstract: This thesis deals with the possibility of bridging the floodplain of the Mže River. In the introduction, it offers the options under consideration, where one selected option is elaborated in detail.

Key words: Road bridge, prestressed construction

Přehled použité literatury:

Použité normy:

- [1] ČSN EN 1990 ed. 2: 2015 (73 0002) Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí,
- [2] ČSN EN 1991-1-1: 2004 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb,
- [3] ČSN EN 1991-1-4 ed. 2: 2013 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem,
- [4] ČSN EN 1991-1-5: 2005 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou,
- [5] ČSN EN 1991-1-6: 2006 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-6: Obecná zatížení – Zatížení během provádění,
- [6] ČSN EN 1991-1-7: 2007 (73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení,
- [7] ČSN EN 1991-2 ed. 2: 2015 (73 6203) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou,
- [8] ČSN EN 1992-1-1 ed. 2: 2011 (73 1201) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby,
- [9] ČSN EN 1992-2: 2007 (73 6208) Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady,
- [10] ČSN 73 6214: 2014 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

Použitá skripta:

- [11] Procházka J., Kohoutková A., Vašková J.: Navrhování železobetonových konstrukcí příklady a postupy. ISBN 978-80-01-05587-8. Nakladatelství ČVUT, Praha 6
- [12] Šafář R.: Betonové mosty 2 – cvičení, návrh předpjatého mostu podle Eurokódů. ISBN 978-80-10-05690-5. Nakladatelství ČVUT, Praha 6
- [13] Stráský J., Nečas R.: Betonové mosty II – Modul M01, Technologie výstavby mostů. Brno 2007
- [14] Brožura VSL.cz – Post-Tensioning solutions EN. K dohledání na:
<http://www.vsl.cz/brozury/>

Obsah

1. Technická zpráva	9
1.1. Základní údaje o stavbě	9
1.2. Popis zájmového území	10
1.3. Dotčené orgány	12
1.4. Koncepce řešení	12
1.5. Varianty řešení	12
1.5.1. Ocelová trémová konstrukce se spřaženou deskou	13
1.5.2. Vieredeelúv nosník	17
1.5.3. Betonový dvoutrám	19
1.5.4. Vyhodnocení	20
1.6. Podrobný popis vybrané varianty	20
1.7. Výstavba konstrukce	21
1.7.1. Obecně výstavba betonových konstrukcí	21
1.8. Vybraná technologie výstavby	29
1.8.1. Provádění první části estakády	30
1.8.2. Provádění druhé části estakády	30
1.8.3. Provádění třetí části estakády	30
1.9. Výpočetní model	31
1.10. Předpětí	31
1.11. Rozvaha o založení stavby	34
1.12. Závěr	37
Seznam obrázků:	39

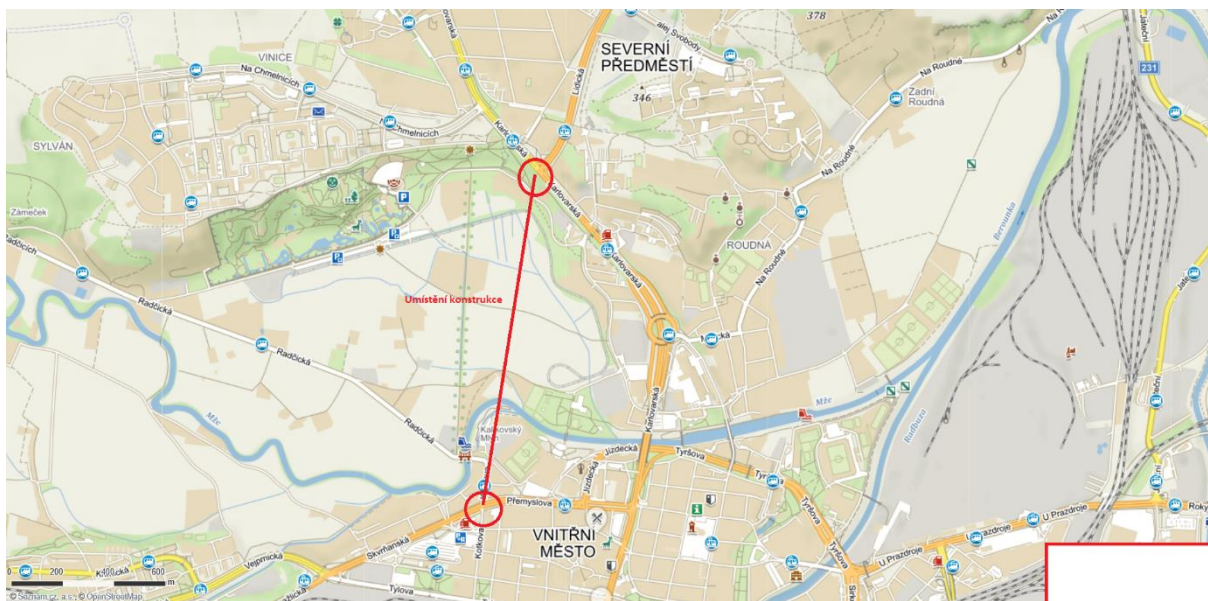
1. Technická zpráva

1.1. Základní údaje o stavbě

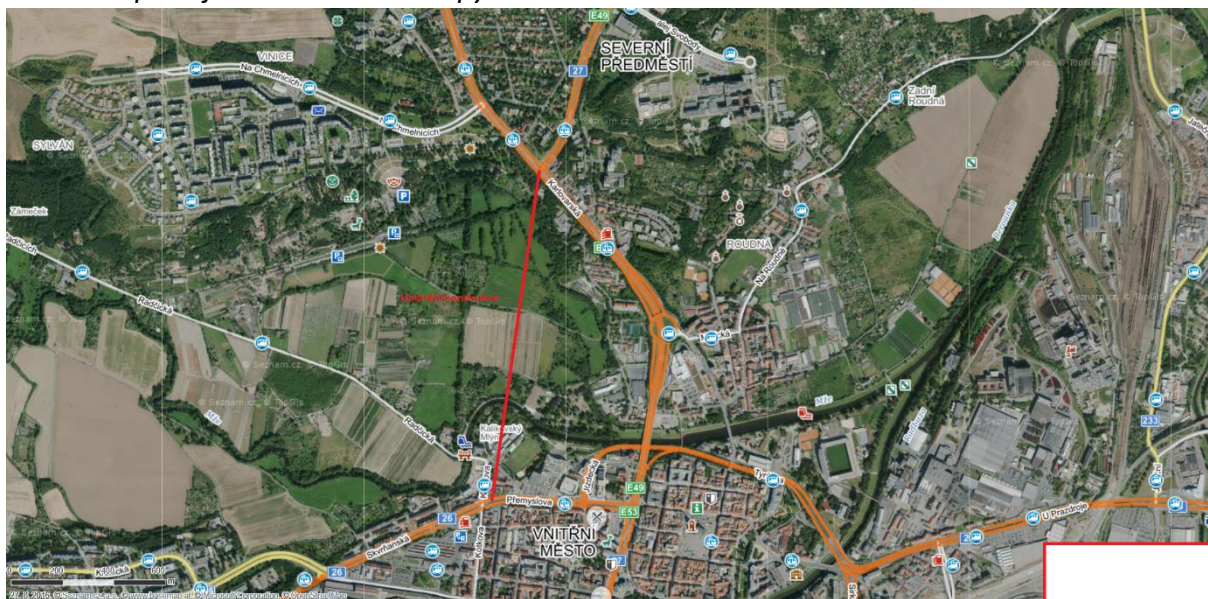
Název stavby:	I/27 Plzeň, úsek Karlovarská-Přemyslovská, TST - estakáda
Stupeň dokumentace:	Diplomová práce
Druh stavby:	Mostní konstrukce
Místo stavby:	Město Plzeň
Kraj:	Plzeňský
Katastrální území:	Plzeň (721891)
Objednatel:	ŘSD ČR Na Pankráci 546156, 14505 Praha 4
Zhotovitel:	Jan Babica
Vedoucí:	Doc. Ing. Lukáš Vráblík Ph.D.

1.2. Popis zájmového území

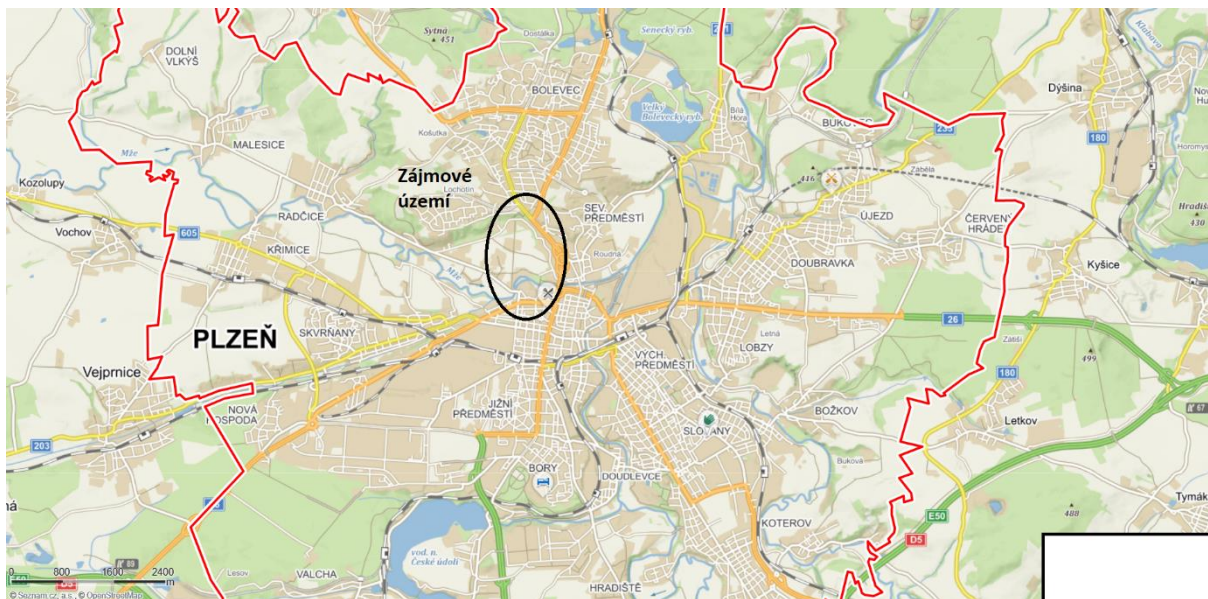
Území dotčené potenciální stavbou se nachází v Plzni mezi částmi Severní předměstí a částí Vnitřní město. Spojení dvou bodů vyžaduje překonat poměrně značnou vzdálenost. Nacházíme se uprostřed města, takže požadavkem je, aby konstrukce nenarušovala, ale vhodně doplňovala panorama města. Řešené území nezasahuje do památkové rezervace ani do památkové zóny dle zákona č. 20/1987 Sb. O státní památkové péči a nespadá do žádné chráněné krajinné oblasti. Zájmové území se nenachází v poddolované oblasti, nicméně se nachází v záplavové oblasti. Konstrukce prochází nezastavěnou částí města, a na koncích přechází opět do zastavěné části.



Obr. 1 mapa zájmového území. mapy.cz

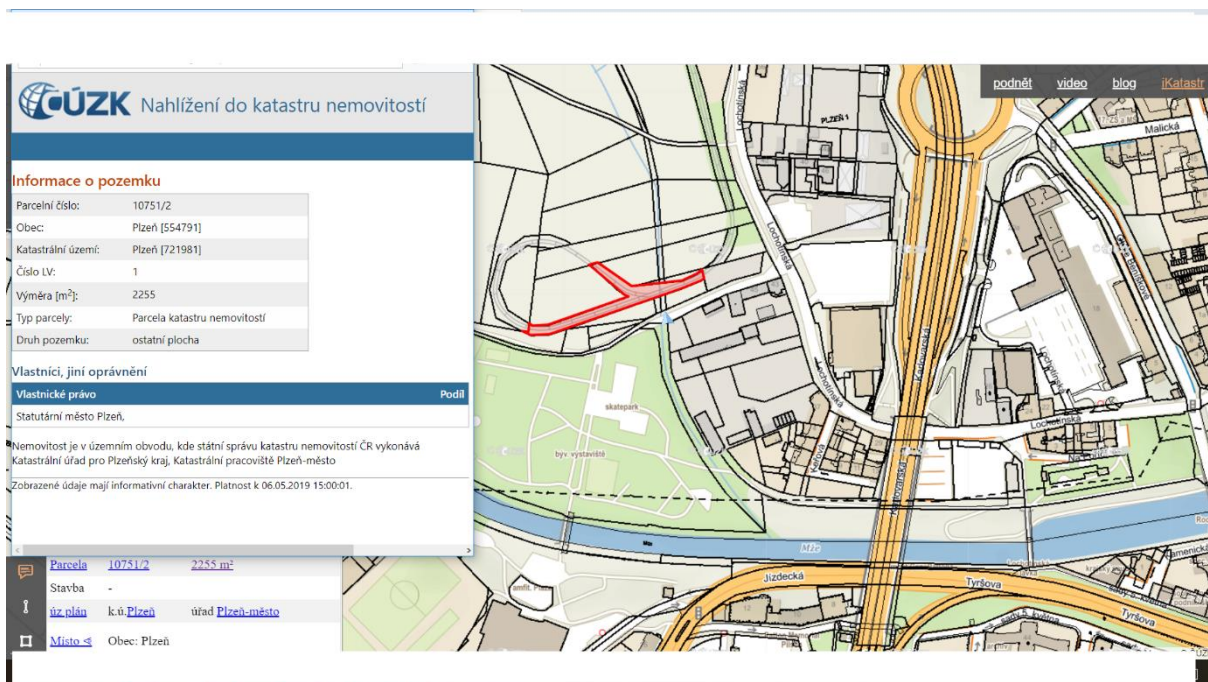


Obr. 2 mapa zájmového území letecký snímek. mapy.cz



Obr. 3 mapa zájmového území z větší perspektivy. mapy.cz

Navrhovaná konstrukce by v rámci širšího dopravně technického řešení měla odvést dopravu právě z Vnitřního města. V rámci tohoto projektu bude potřeba překlenout vzdálenost bezmála jeden kilometr. Pod uvažovanou konstrukcí se dle katastrálních map nachází velké množství katastrálních jednotek s různým zařazením. Nicméně veškeré zkoumané (dotčené) jednotky jsou v majetku obce (města Plzeň). Tato skutečnost může hrát důležitou roli v rámci schvalovacího procesu, protože odpadá povinnost investora tyto pozemky vykoupit. V rámci tohoto šetření bylo zkontrolováno ještě nejbližší okolí, a to z důvodu možnosti realizace konstrukce. Předpokládá se postupná výstavba. Více viz. kapitola výstavba konstrukce.



Obr. 4 Příklad mapy katastrální, dle ikatastr.cz

<https://www.ikatastr.cz/#kde=49.75228,13.371,17&info=49.75297,13.3717>

1.3. Dotčené orgány

V rámci plánování stavby bude potřeba kontaktovat správce jednotlivých inženýrských sítí, požádat je o podklady a o souhlasné stanovisko. Před začátkem stavby bude potřeba služeb specializované firmy věnující se geodézii. Tento problém se konstrukce dotýká pouze okrajově. A to konkrétně pouze v oblasti opěr. Nebudou-li se v daných podmínkách inženýrské sítě nacházet (bude určeno na základě podkladů od jednotlivých správců), tento odstavec nebude platný.

1.4. Koncepce řešení

Základní parametry pro návrh konstrukce jsou šířkové uspořádání komunikace, uvažovaná převáděná komunikace je dvoupruhová směrově rozdělená komunikace. Jízdní pruh je šířky $a = 3,25$ m, $v_1 = 0,5$ m. Celková šířka je 7,5 m. Konstrukce vozovky je uvažovaná jako třívrstvá v celkové tloušťce 85 mm. Skladba vozovky je ACO 11+ o tloušťce 40 mm, MA 16 IV v tloušťce 40 mm, natavený asfaltový izolační pás o tloušťce 5 mm a zakončená pečetící vrstvou. Po obou stranách komunikace jsou umístěny chodníky. Na krajích vozovky jsou umístěna ocelová svodidla se stupněm zadrženi 2. Na vnějších krajích chodníků jsou umístěna ocelová zábradlí se svislou výplní a výšky 1100 mm. Zábradlí i svodidla jsou umístěny na monolitických římsách. Římsy jsou upevněny pomocí kotev.

Na základě těchto vstupů, byly navrženy tři možnosti přemostění zájmové lokality. Základními požadavky na konstrukci jsou zaprvé, aby konstrukce byla štíhlá a aby nenarušovala panorama města. To ihned zpočátku vylučuje jakékoli konstrukce, které by zasahovaly nad niveletu komunikace (zavěšené konstrukce, obloukové konstrukce eventuálně visuté konstrukce...).

Dalším požadavkem je, aby konstrukce byla po statické stránce efektivně navržena, aby materiál konstrukce byl efektivně využíván.

Dále je od konstrukce požadováno, aby byla finančně efektivní. Aby výstavba byla řešena v širších souvislostech umístění stavby, aby bylo zohledněno, že konstrukce je situována v intravilánu. Je kladen důraz na jednoduchost provádění stavby. Více viz kapitola technologie výstavby.

V rámci sklonových poměrů je celá estakáda rozdělena na tři samostatné konstrukce každá s konstantním sklonem. Napojení jednotlivých konstrukcí je řešeno pomocí přechodového pilíře, respektive přechodových pilířů.

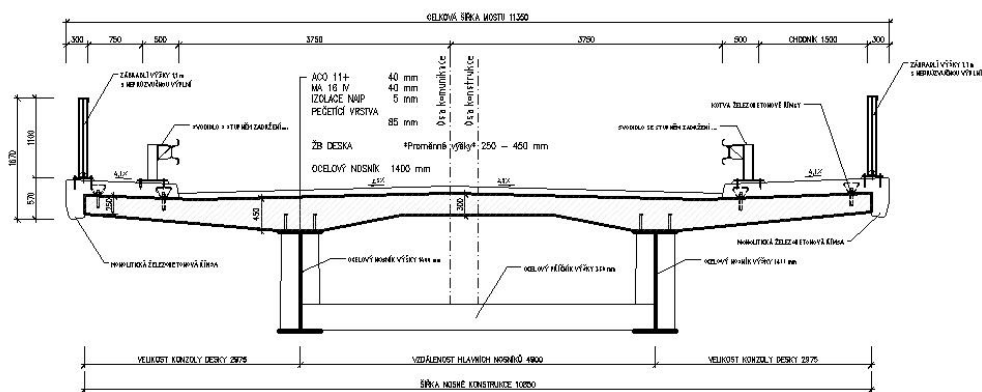
1.5. Varianty řešení

V rámci této práce byly vypracovány 3 varianty estakády, které budou v následujících řádcích představeny a po vyhodnocení bude jedna z nich vybrána a podrobně rozpracována.

Konstrukce budou hodnoceny ze tří hledisek. Z hlediska funkčního (zejména statické hledisko), ekonomického (výstavba + udržování konstrukce), estetického (subjektivní pohled autora). Varianty budou obodovány 1-10 body, kde 1 je nejméně a 10 je nejvíce. Ke každému ohodnocení bude krátké zdůvodnění.

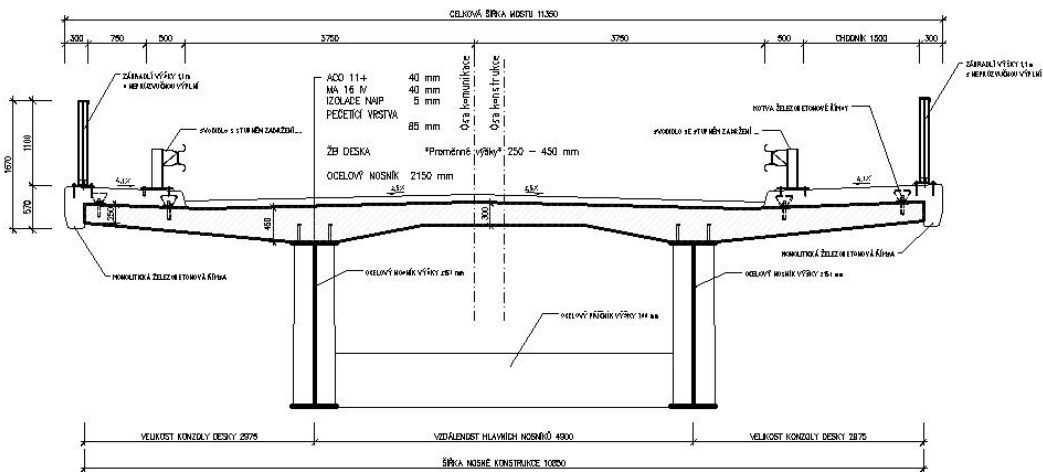
1.5.1. Ocelová trémová konstrukce se spřaženou deskou

PŘÍČNÝ ŘEZ 125
Příčný řez ocelovou trémovou konstrukcí



Obr. 5 Příčný řez konstrukcí v poli

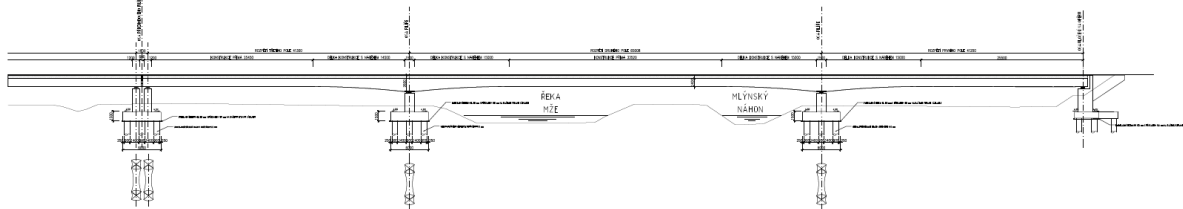
PŘÍČNÝ ŘEZ 1:25
Příčný řez ocelovou nosnou konstrukcí s mláčením



Obr. 6 Příčný řez konstrukcí na podporou

PODÉLNÝ ŘEZ 1:200

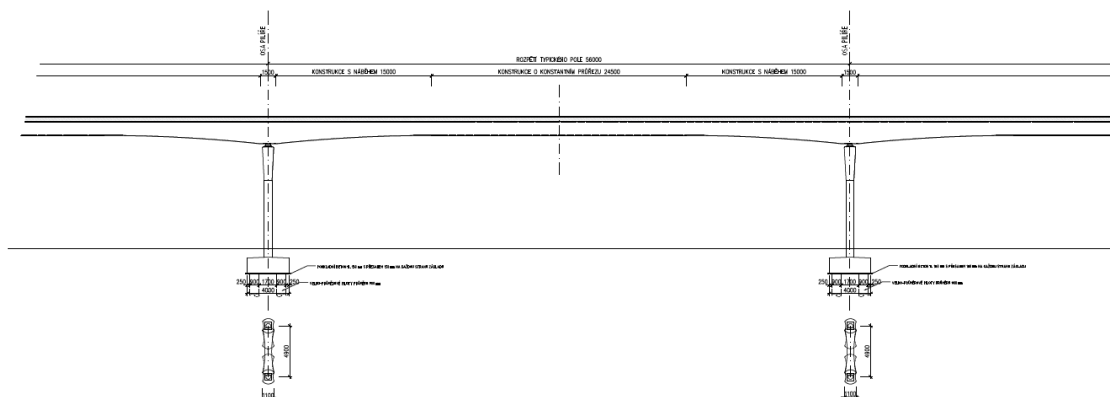
PODÉLNÝ ŘEZ OCELOVOU NOSNOU KONSTRUKCÍ - PILÍŘE
 ŘEZ JE VEDEN V OSE HLAVNÍHO NOSNÍKU



Obr. 7 Podélný řez první části konstrukce

PODÉLNÝ ŘEZ 1:200

PODÉLNÝ ŘEZ OCELOVOU NOSNOU KONSTRUKCÍ - PILÍŘE
 ŘEZ JE VEDEN V OSE HLAVNÍHO NOSNÍKU



Obr. 8 Podélný řez typického pole

První variantou je řešení pomocí ocelové konstrukce. Konkrétně pomocí dvou hlavních ocelových nosníků. Výška hlavních nosníků je v poli rovna dvěma metrům, směrem k podporám se výška začne postupně zvyšovat, až na tři metry. Hlavní nosníky jsou doplněny o spřaženou betonovou desku (spřaženou pomocí trnů). Déle konstrukce je doplněna o systém příčníků plus příčníky nadpodporové. Ze statického hlediska se jedná o velmi efektivní konstrukci. U nadpodporových oblastí je konstrukce v náběhu a při vhodném řešení boulení popřípadě klopení dostáváme variantu, které využívá materiál neefektivněji, protože v poli je beton tlačěn a ocel tažena. U nadpodporových oblastí by bylo potřeba navrhnout řešení, jak předejít trhlinám v desce průřezu. Z tohoto důvodu, dostává konstrukce v rámci kritéria číslo jedna **7/10 bodů**. Z hlediska ekonomického, je poměrně složité tuto konstrukci obodovat. Protože provádění takovéto konstrukce by znamenalo v nezastavěné části prostoru pod budovanou konstrukcí zřídit mostárnu. Dále dopravovat ocel přes centrální část Plzně, není technicky velký problém, nicméně politicky by se jednalo o velmi odvážné rozhodnutí a tudíž nepravděpodobné. Na druhou stranu oproti betonové variantě by ve prospěch této konstrukce mohla být rychlost s jakou by byla postavena. A co se týče mechanizace, tak pro osazení nosníků by stačilo pár jeřábů. Kdežto u betonové konstrukce se bavíme o použití předpínacích zařízení a hlavně o použití posuvně skruže. Takže se zde objevuje otázka jak moc bude pronájem posuvně skruže efektivní. Proto je hodnocení ovlivněno subjektivním pohledem autora. **6/10 bodů**. Co se týče estetiky, tak by tato varianta byla pravděpodobně nejlepší ze všech tří. Proto **8/10 bodů**.

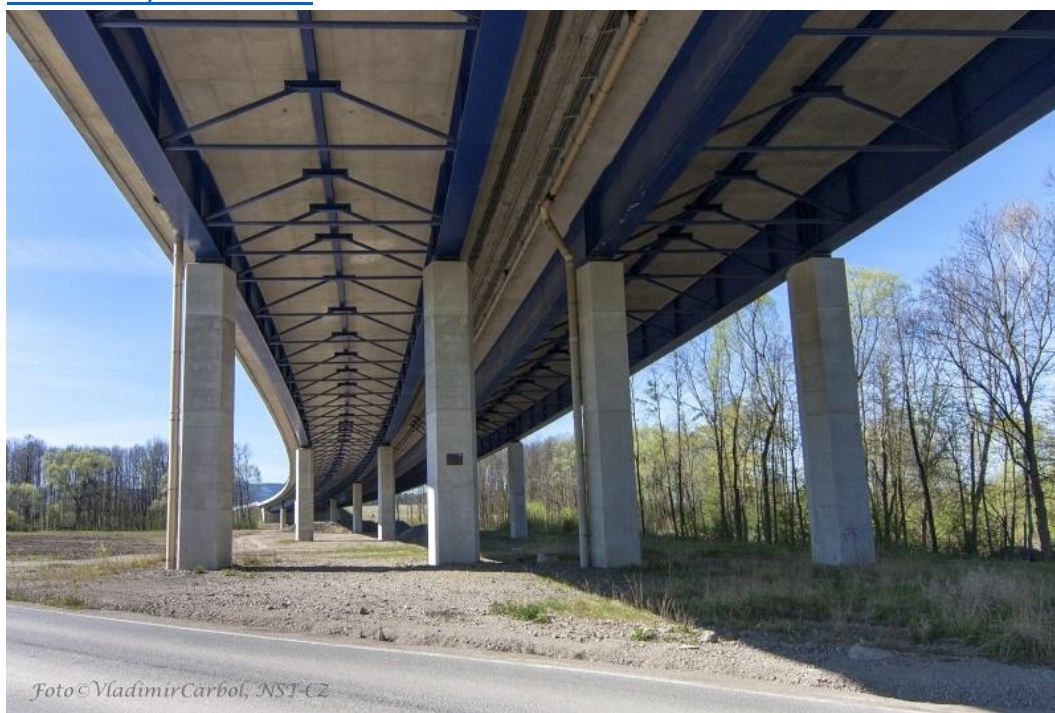
Celkové hodnocení konstrukce je tedy $(7+6+8) / 3 = 7/10$ bodů

Podobná konstrukce vyrostla například na R48 přes údolí Stonávky. Konstrukci v tomto případě tvoří spojitě ocelová konstrukce tvořená dvěma hlavními nosníky, systémem ztužidel a železobetonovou monolitickou deskou.



Obr. 9 Pohled na most přes údolí Stonávky

<http://www.silnice-zeleznice.cz/stavby/stavba/estakada-na-r48-pres-udoli-stonavky-v-tranovicich/?stavba=47>



Obr. 10 Další pohled na most přes údolí Stonávky

<http://www.silnice-zeleznice.cz/stavby/stavba/estakada-na-r48-pres-udoli-stonavky-v-tranovicich/?stavba=47>

větších délkách ve světě není. Nutno dodat, že z dobrého důvodu. Konstrukce je jako mostní nosník neefektivní, drahá, špatně by se dodávala. Jediné plus takto navržené konstrukce bylo to, že by se jednalo o naprostý unikát. Následuje nerealizované konstrukce Suchdolského mostu. Samozřejmě je potřeba namítnout, že takto navržená konstrukce působí jinak než jako Vierendeelův nosník v předkládané variantě. A ano, svým způsobem to tak je, ale i není. Je nutno se na tu konstrukci podívat pouze jako nosník, a neřešit co ho vlastně podpírá (jestli je to oblouk nebo pilíře nehraje takovou roli, zajímá nás jak a jestli by fungoval samotný nosník).



Obr. 13 Veirendeelův nosník – studie ČVUT

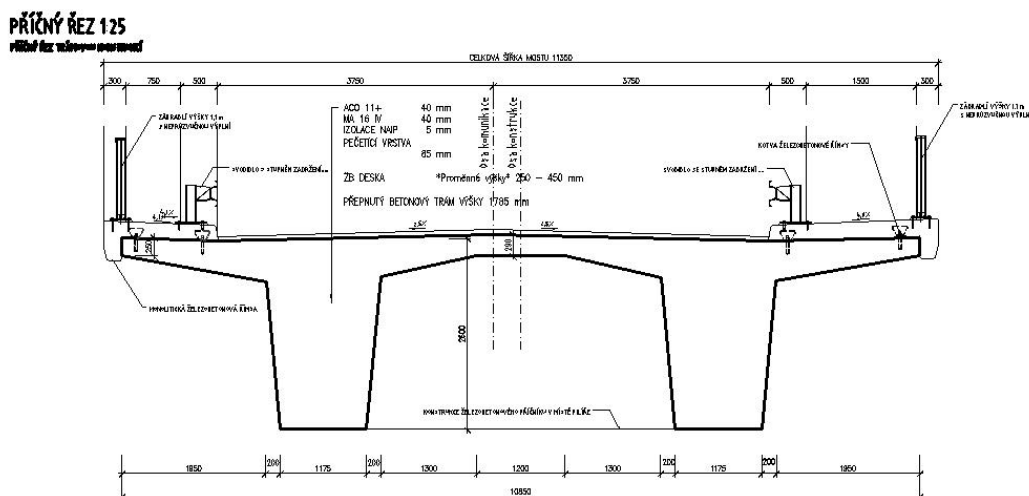
Jako příklad je uveden most autorského kolektivu ČVUT který byl představen v rámci studie možností jak přemostit suchdolského údolí.

Vzhledem k proporcionalitě k ostatním variantám, nelze takto navrženou konstrukci v rámci zadaných kritérií hodnotit moc dobře. Ze statického hlediska 1/10. Jak již bylo párkrát řečeno, Vierendeelův nosník je v rámci trámových konstrukcí něco jako Morandiho konstrukce u zavěšených mostů. Obě varianty řešení jsou zajímavé, ale ani jedna z nich nemůže dobře v praxi fungovat. Ekonomické hledisko je mimo jakoukoli reálnou mez. Postavit se dá prakticky vše, jen je otázka kdo to zaplatí. A odpověď je, že za takto navrženou konstrukci, nikdo nezaplatí. Proto 1/10 a z estetického 8/10 (z důvodu, že by se jednalo o naprostý unikát).

Celkové hodnocení této varianty je $(1+1+8)/3 = 3,334$

Varianta 2 získává 3,334/10 bodů.

1.5.3. Betonový dvoutrám



Obr. 14 Příčný řez konstrukcí

Poslední variantou řešení, je řešení pomocí betonové konstrukce. Konkrétně betonového dvoutrámu. Jedná se konstrukci v rámci estakád o hojně využívanou. Důvodem je poměrně jednoduchá výstavba (výstavba na skruži, viz následující kapitoly), a vysoká efektivita z hlediska využití materiálu. Nemělo by se zapomínat i na poměrně nenáročnou údržbu. Takto uvažovaná konstrukce bude tvořena dvěma betonovými trámy o výšce dva metry a směrem k podporové oblasti zvětšující se až na tři metry v rámci náběhů. Jedná se o konstrukci bez příčniců, o konstrukci předpjatou. Při vhodném vedení předpětí dostaneme vysoce efektivní poměrně „levnou“ konstrukci, která by splňovala i estetické nároky, specifikované v úvodu této práce. Konstrukce je nazvána levnou, v porovnání s předpokládanými náklady v porovnání s předchozími variantami.

Konstrukce navržena jako dvoutrám je ze statického hlediska velmi účinná. 8/10 bodů. Z hlediska rychlosti, a ekonomické výhodnosti je v porovnání s ocelovou konstrukcí hodnocení opět složité. Hlavní položkou rozpočtu bude pravděpodobně posuvná skuž, pomocí které se konstrukce bude provádět. Dle autorova názoru bude takto provedená konstrukce levnější než ocelová. 9/10. Co se týče estetického působení, konstrukce působí nevýrazným a štíhlým dojmem a nenaruší panorama města. 6/10 bodů.

Celkem tedy toto řešení dosahuje $(9+8+6)/3 = 7,34/10$ bodů.

Varianta 3 získává 7,34/10 bodů.

1.5.4. Vyhodnocení

Z takto strukturované předběžné úvahy vyplývá, že betonová konstrukce bude z hlediska těchto kritérií tou nejefektivnější jak z hlediska statického, tak z hlediska ekonomického. Samozřejmě by se v rámci širší studie provedlo rozpočtování dle předběžných podkladů, to ovšem není předmětem této práce. Pro výběr této varianty hovoří i velký prostor pod chystanou konstrukcí, který posouzí jako provizorní betonárka. Vzhledem k ohromnému množství betonu pro tento typ konstrukce, se dovoz betonu z lokální betonárky nezdá vhodný. Opět by podrobné stanovení bylo provedeno v rámci předběžného rozpočtování.

1.6. Podrobný popis vybrané varianty

Takto navržená betonová estakáda bude rozdělena na tři samostatné konstrukce respektující sklon a celkový prostor pod konstrukcí. První část konstrukce bude tvořena spojitým dvoutrámovým nosníkem o třech polích. První pole o rozpětí 41,25 m, druhé pole o rozpětí 65 m a třetí pole o rozpětí 41,25 m. Konstrukce bude ve sklonu 0,5% proti směru staničení. K překlenutí hlavního pole o rozpětí 65 m pomůžou směrem k mezilehlým pilířům náběhy. Průřez konstrukce v oblastech mezilehlých tvoří betonový dvoutrám o konstantní výšce dva metry. Jak již bylo napsáno, směrem k mezilehlým podporám se uvažují náběhy o délce 15 m. Nadpodporový průřez je tedy celkové výšky tři metry. Jednotlivé konstrukce od sebe oddělují přechodové pilíře. Oproti předběžným návrhům došlo k rozšíření druhého chodníku na šířku 1,5m.

Na mostě jsou osazeny na obou koncích monolitické železobetonové římsy, které jsou ke konstrukci přidělány kotvami. Na římsy je pak na krajích instalováno zábradlí. Zábradlí je ocelové se svislou výplní a výšky 1,1 m. Na hrany římsy u dopravních pruhů je pak instalováno svodidlo se stupněm zadržení Součástí konstrukce je také systém odvodnění, který se skládá z příčného střeovitého sklonu 2,5% a podélného sklonu 0,5 %. Pomocí těchto sklonových poměrů je voda k povrchu konstrukce odvedena odvodňovacím zařízením pryč k povrchu konstrukce. Všechny ostré hrany římsy jsou zkoseny 20/20 mm, není-li uvedeno jinak. Na spodním líci konstrukce je pak umístěna okapnička.

Celkovou konstrukci tvoří betony dle ČSN EN 206 + A1 a ČSN P 73 2404:

a. Nosná konstrukce	C50/60 – XF2, XD1, XC4
b. Římsa	C30/37 – XF4, XD3, XC4
c. Opěra + pilíře	C30/37 – XF4, XD2, XC4
d. Základy	C25/30 – XA2, XC2
e. Piloty	C25/30 – XA1, XC2

Na konstrukci je nanesena třívrstvá vozovka ve složení:

a. ACO 11+	40 mm
b. MA 16 IV	40 mm
c. NAIP	5 mm
d. Pečetíčí vrstva	-
<hr/>	
Celkem	85 mm

Spodní stavba je v rámci diplomové práce řešena pouze okrajově. Vzhledem k nedostatku vstupních údajů, by nebylo rozumné modelovat reakci konstrukce a podloží bez znalosti vlastností daného podloží. Proto je uložení konstrukce uvažováno jako tuhé, nicméně v rámci zatěžovacích stavů je počítáno s nerovnoměrným poklesem podpor o 5 mm. V rámci výkresových příloh je zpracované uložení na opěru a je konstrukčně řešeno odvodnění rubu opěry. Rozměry a dimenze základů pilot a opěr jsou pouze předběžné a v rámci dalšího stupně dokumentace by i spodní stavba předmětem statického výpočtu. Výpočet by vycházel z množství vrtů provedených v zájmové oblasti.

1.7. Výstavba konstrukce

1.7.1. Obecně výstavba betonových konstrukcí

Možností, jak postavit betonovou konstrukci je mnoho. Je rozdíl, jestli se jedná o monolitickou konstrukci nebo konstrukci prefabrikovanou. V následujících odstavcích se budeme věnovat výstavbě mostů, výhodám a nevýhodám jednotlivých typů a podrobněji popíšeme vybranou variantu a vysvětlíme si proč byla vybrána.

Typy výstavby mostu pro monolitické konstrukce:

- 1) Letmá betonáž
- 2) Výstavba na skruži
- 3) Výsuv konstrukce
- 4) Otáčení konstrukce

1.7.1.1. Letmá betonáž

Letmá betonáž je montáž monolitické konstrukce po jednotlivých částech (segmentech). Princip spočívá ve vybetonování segmentu, aplikaci předpínací výztuže, odbednění betonářského vozíku a jeho posunu na nově vybetonované pole. A celý postup se opakuje. Letmá betonáž ve většině případů provádí symetricky. Následující obrázek schématicky ukazuje postup betonáže třípolového mostu. Na obrázku je vidět, že základem je podporový příčník (zárodek délky cca 7-10 m), ze kterého se pak symetricky betonují jednotlivé segmenty. Velkou výhodou je, že je v podstatě jedno, co za terén se nachází pod konstrukcí. Jako nevýhodu bych označil změnu statického schématu v průběhu výstavby. Z konzoly a stane spojitý nosník. Což znamená velkou spotřebu předpínací výztuže pro pokrytí vnitřních sil stavebních stádií. Tento druh výstavby umožňuje betonáž proměnných

průřezů a i půdorysně zakřivených. Vhodným příčným řezem takto realizované konstrukce je komorový průřez. Proto je tento způsob výstavby pro naši posuzovanou konstrukci nevhodný.



Obr. 15. Schéma provádění letmé betonáže [14]

<http://www.vsl.cz/letma-betonaz/>

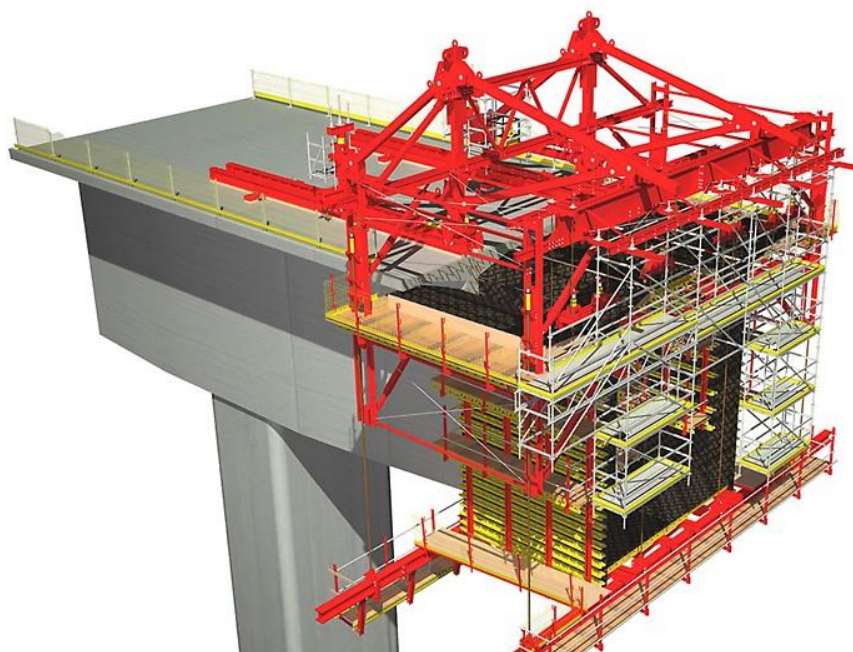
Následuje obrázek betonářského vozíku při práci.



Obr. 16 Provádění letmé betonáže [14]

<http://www.vsl.cz/letma-betonaz/>

Následuje ještě jeden obrázek betonářského vozíku.



Obr. 17 Ukázka betonářského vozíku

<https://www.peri.cz/produkty/inzenyrske-konstrukce/bedneni-pro-inzenyrske-stavby/zarizeni-pro-letmou-betonaz-variokit.html>

Je vidět, že betonářské vozíky a dalo by se říct, že obecně pomocné konstrukce pro výstavbu mostů, jsou vesměs tvořeny příhradovými konstrukcemi. A to hlavně proto, že poměr únosnosti a vlastní tíhy dosahuje výborných hodnot.

1.7.1.2. Výstavba na skruži

Skruže lze jednoduše rozdělit na dva různé typy. Pevná skruž a posuvná skruž. Pevnou skruží lze budovat konstrukce dlouhé cca 100 m. Takto budované konstrukce jsou realizovány celé. Takové konstrukce se pak předpínají soudržnými kabely z obou konců konstrukce pro eliminaci ztrát. Pokud realizujeme konstrukce o více polích, tak se konstrukce jednoho pole vybetonujeme s přesahem cca 1/5 pole následujícího. (V podstatě se snažíme konstrukci betonovat od místa nulového momentu do místa nulového momentu). Dále je potřeba v pracovních spárách spojovat maximálně polovinu kabelů. Takto se dají realizovat konstrukce, ke kterým je přístup z terénu. (Nejsou moc vysoko nad terénem, není tam například řeka atd..). Jako výborný příklad pevné skruže může posloužit skruž, pomocí které se betonoval most přes Masarykovo nádraží. Takto prováděné konstrukce mají obvykle

průřez trémový.

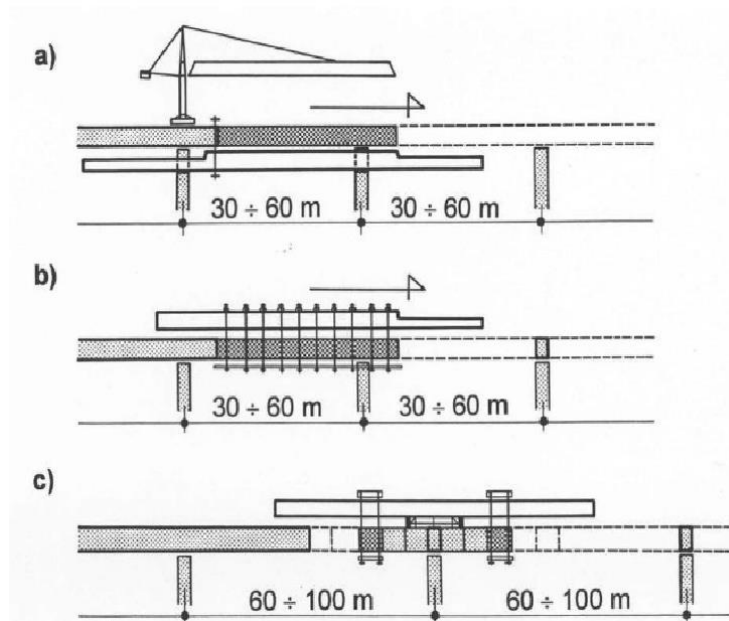


Obr. 18 Ukázka pevné skruže

<http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/estakada-pres-masarykovo-nadrazi-most-so-860/>

Pokud je konstrukce delší než 400 m a je nad nepřístupným terénem bylo by na zvážení použití posuvné skruže. Posuvné skruže se používají na betonáž celých polí, opět jako u pevných skruží, s přesahem 1/5 pole následujícího. Pomocí posuvné skruže lze betonovat celá pole o rozpětí 30 – 60 m. Popřípadě lze konstrukci betonovat symetricky po segmentech. Tento postup se používá pro konstrukce o rozpětí 100 m. Výsuvná skruž může být horní nebo dolní. Dolní skruž má velkou výhodu v tom, že neomezuje pracovní prostor na skruži. Vyžaduje ovšem dostatečný prostor pod konstrukcí na samotnou konstrukci skruže. Horní skruž má výhodu v tom, že neřešíme co za poměry máme pod konstrukcí. Nevýhodou je to, že bednění je zavěšené a závěsy omezují pracovní prostor na skruži. Obecně nevýhodou konstrukcí budovaných na výsuvné skruži je nepřítomnost podporových příčníků a obecně příčníků na konstrukci. Vhodné příčné řezy pro takto realizované konstrukce jsou obecně trámy a dvoutrámy (komorové průřezy).

Následující obrázek ukazuje výše uvedené možnosti výstavby:



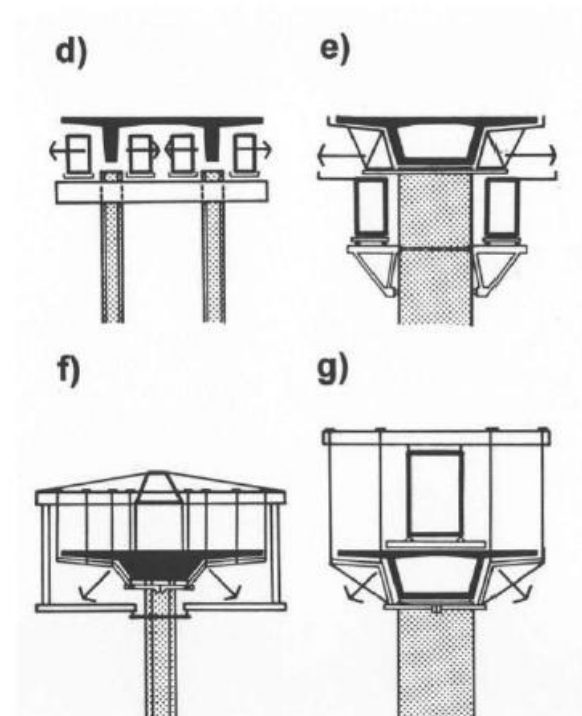
Obr. 19 Schéma možností výstavby na skruži [13]

a) výsuvná skruž – dolní

b) výsuvný skruž – horní

c) výsuvná skruž pro segmentovou výstavbu

Příčné řezy skružemi



Obr. 20 Příčné řezy těchto možností [13]

Následující obrázek se týká mostu na D1 Hubová–Ivachnová, který byl realizován právě na výsuvné skruži.

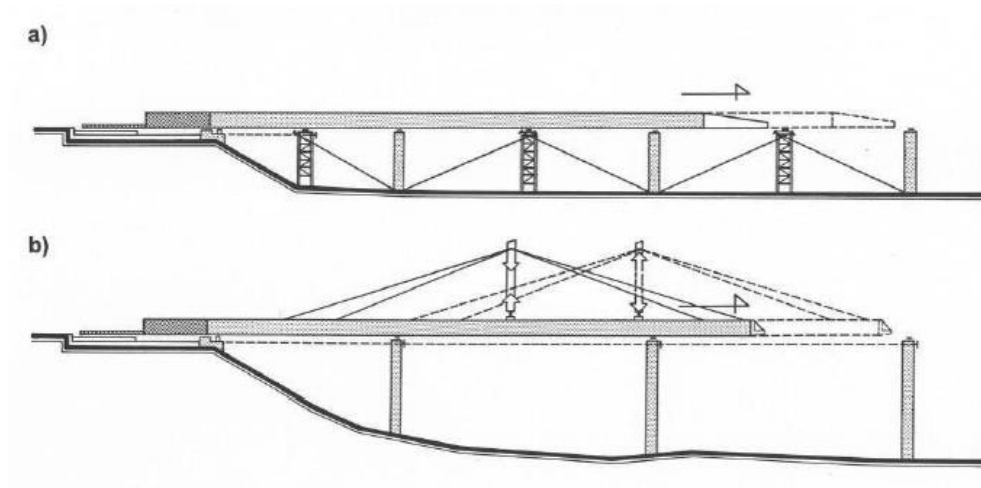


Obr.21 Ukázka výsuvné skruže

<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/mosty/realizace-mostu-technologie-vysuvne-skruze>

1.7.1.3. Vsouvání konstrukce

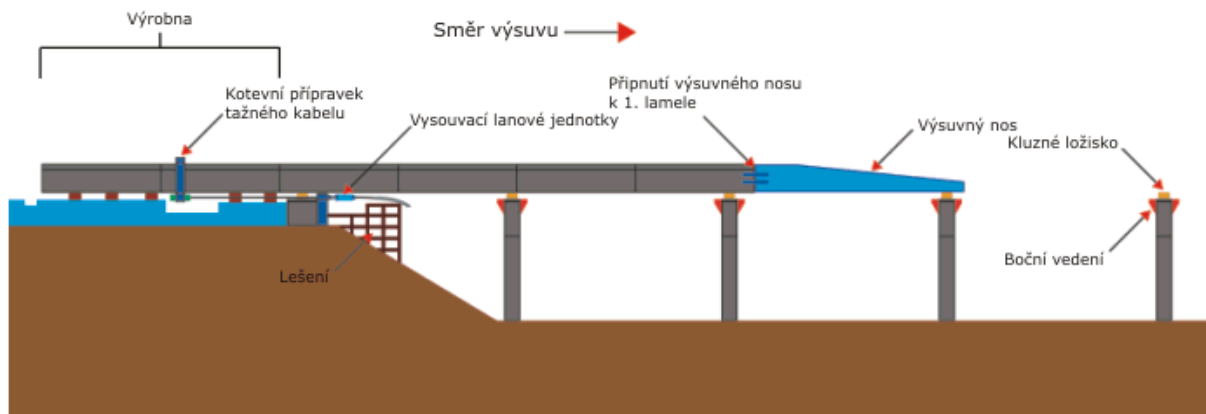
Vysouvání konstrukce je typ výstavby, který vyžaduje velký prostor v prostoru před samotnou konstrukcí. Konstrukce se provádí tak, že se před jednou z opěr vybuduje mostárna a konstrukce se po částech provádí. Vybetonuje se konstrukce, konstrukce se vysune a na uvolněném místě se začne betonovat další její část. Výsuv konstrukce se provádí pomocí hydraulických lisů, kde se konstrukce zvedne pomocí jednoho lisu a posune pomocí druhého. A celý tento postup se opakuje dokud není konstrukce na svém místě. V průběhu výsuvu je potřeba pokrýt vysoké konzolové momenty, které vznikají v rámci realizace. To je udělá například pomocí dočasné podpory, provizorního pylonu, na který je část konstrukce pověšena a v neposlední řadě pomocí tzv. výsuvného nosu. Ten je vyroben buď jako plnostěnná ocelová konstrukce, popřípadě příhradová konstrukce. Příčný řez takovéto konstrukce může být jak komorový, tak trámový.



Obr. 22 Možnosti vysouvání konstrukce [13]

a) můžeme vidět výsuv pomocí výsuvného nosu a provizorních příhradových podpor

b) Výsuv pomocí provizorního pylonu, na který je část konstrukce zavěšena



Obr. 23 Schéma vysouvání konstrukce, systém VSL [14]

<http://www.vsl.cz/vysuv-mostnich-konstrukci/>

Velmi zajímavá konstrukce prováděná pomocí výsuvu je jeden z nejzajímavějších mostů na světě. Tzv. mostu v oblacích neboli Viadukt Millau.

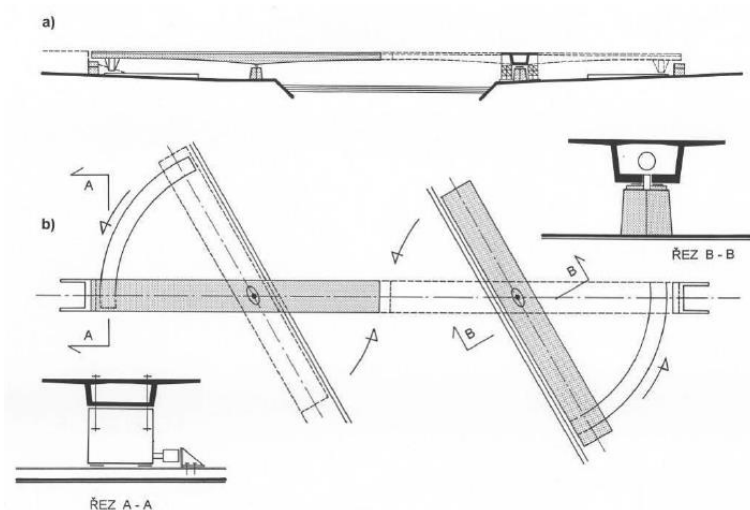


Obr. 24 Ukázka vysouvané konstrukce

<https://www.ceskatelevize.cz/porady/10158954851-millau-nejvyssi-most-na-svete/>

1.7.1.4. Otáčené konstrukce

Otáčené konstrukce jsou zvláštním typem výstavby. Konstrukce je provedena rovnoběžně z převáděnou překážkou. Po zhotovení konstrukce je na své místo otočena. Více viz následující schéma.



Obr. 25 Schéma provádění otáčené konstrukce [13]

Zajímavou konstrukcí, která byla prováděná pomocí otáčení je most Apollo v Bratislavě přes řeku Dunaj.



Obr. 26 Příklad zajímavé otáčené konstrukce

https://cs.wikipedia.org/wiki/Most_Apollo

1.8. Vybraná technologie výstavby

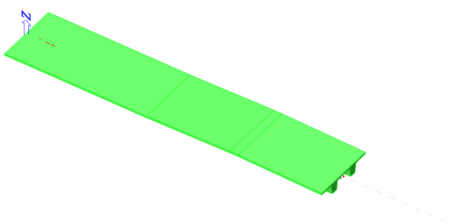
Celková délka estakády je kolem jednoho kilometru. A estakáda je rozdělena na tři samostatné konstrukce. První část je v podélném sklonu 0,5%, a jedná se spojitý nosník o třech polích. Rozpětí 41,25m, 65 m a 41,25 m. Druhá část estakády je tvořena spojitým nosníkem o celkem čtrnácti polích s rozpětím 30 m, a středním polem o rozpětí 40,08 m. A poslední část estakády je ve sklonu 2,32 % a tvoří ji spojitý nosník o osmi polích o rozpětí 60 m, krajním polem 40 m a posledním polem s rozpětím 50 m.

Máme tedy velmi dlouhou konstrukci doutrámového průřezu s rozpětím od 30 do šedesáti metrů. Z výše zmíněných možností se jeví jako vhodné výsuv, popřípadě výsuvná skruž. Dále je třeba zohlednit, že pod první částí konstrukce je vodní překážka, takže není možná pevná skruž (proto není v možnostech uvedena). Jelikož v oblasti opěr konstrukce opět přechází v zastavěnou oblast. Z tohoto důvodu není výsuv této konstrukce vhodným řešením. Takže jako technologie výstavby je zvolena výstavba na posuvné skruži. Z hlediska možností prostoru pod budoucí konstrukcí, volíme posuvnou skruž horní. Důvod je jasně vidět na výkresu podélného řezu.

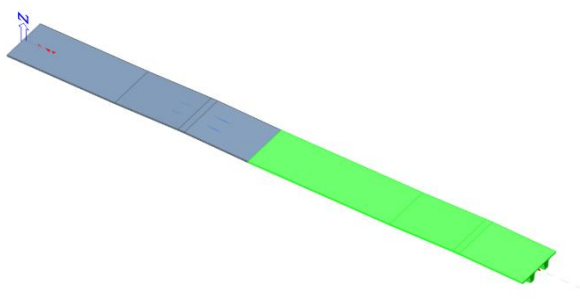
V rámci provádění konstrukce bude nutno dodržet určité konstrukční zásady. Jako je spojovat maximálně 50 % výztuže v jedné pracovní spáře, betonovat proti směru sklonu. Předpoklad je že beton bude ošetřován 3 dny. Předpětí bude do betonu vnášeno v čase 7 dní po betonáži a celková rotace skruže je uvažována jako 10 dní. Zde se může objevit poznámka, že standardní doba je 14 dní. To je pravda, ale výstavba takhle dlouhé konstrukce by se tak velice protáhla a prodražila, proto by měl být vyvinut tlak na co nejrychlejší realizaci konstrukce.

1.8.1. Provádění první části estakády

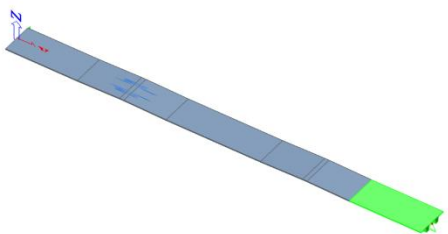
První část estakády v celkové délce 149 m, bude provedena ve třech takttech. První takt je celkové délky $41,25 \text{ m} + 15,0 \text{ m} = 66,25 \text{ m}$. V druhé části konstrukce bude 66,25 m první části již hotové, a vznikne 65 m konstrukce nové. V třetí části bude již 131,25 m konstrukce hotová, a vznikne 17,75 m konstrukce nové. V poslední fázi konstrukce je již 149 m konstrukce hotová.



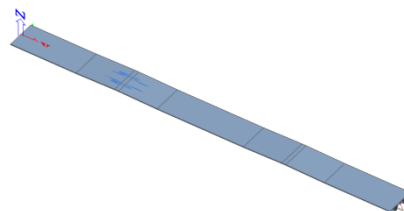
Obr.27 První část



Obr. 28 Druhá část



Obr.29 Třetí část



Obr.30 Čtvrtá část

1.8.2. Provádění druhé části estakády

Druhá část estakády se skládá z 14 polí. 13 polí má rozpětí má rozpětí 30 m. Prostřední pole má rozpětí 40,08 m. Vzhledem k velkému množství fází a obrázků, ale prakticky stejnému principu, zde nejsou již jednotlivé fáze rozepisovány. Podrobně jsou zpracovány v rámci statického výpočtu.

1.8.3. Provádění třetí části estakády

Třetí část estakády je tvořena celkem 8 poli. Krajní pole mají rozměry 40,45m a 50,75 m. Ostatní pole mají rozpětí 60 m. Tato část konstrukce je ve sklonu 2,38 %. A vede

v poměrně velké výšce nad terénem. A opět zde nebudou obrázky jednotlivých fází výstavby. Ta je podrobně rozebrána v rámci statického výpočtu.

Z výše uvedeného by se tedy dalo vyvodit, že pro první část by byla nejvhodnější posuvná skruž horní, pro část dvě by to byla přestavná skruž (pevna skruž, která se pod hotovým polem rozebere a postaví pod nově chystaným). A na poslední část by byla nejlepší skruž přestavná dolní. Nicméně nejlepším způsobem bude když se objedná jedna skruž, se kterou bude možno zhotovit celou konstrukci. Takže tato konstrukce bude prováděna na posuvné skruži horní.

1.9. Výpočetní model

Výpočetní model je uvažován jako prutový pro zjištění globálního chování konstrukce. Pro potřeby posouzení v příčném řezu byl vytvořen deskostěnový model, kde jsou nosníky modelovány jako žebra desky. Pro návrh výztuže desky budou rozhodující umístění jednotlivých zatěžovacích soustav.

V rámci prutového modelu byla nastavena časově závislá analýza konstrukce TDA. Tato funkce umožní modelu respektovat historii zatěžování, věrně zachytí ztráty v jednotlivých kabelech a zachytí také reologické změny probíhající v betonu v čase. V rámci modelování výstavby je uvažováno, že po celou dobu výstavby pole, plní skruž nosnou funkci trámu místo něj. Proto je v TDA nastaveno, že po celou dobu jedné fáze je prováděné pole drženo liniovou podporou. Liniová podpora je v další fázi odstraněna a přesunuta na další pole, které se bude následně betonovat. A celý postup se opakuje, dokud není konstrukce hotová. V rámci provádění konstrukce bude po dokončení instalace nosné konstrukce nanášena vozovka a izolace. Poté budou na konstrukci vybetonovány římsy. Na římsy bude osazeno zábradlí a svodidla. Na tento stavební proces je v rámci časové osy vyčleněno 40 dní.

1.10. Předpětí

Předběžný i podrobný návrh předpětí je součástí statického výpočtu. Jako materiál je použitý Y1860S7 – 15,7. Podrobnější údaje jsou součástí statického výpočtu.

Při spojování kabelů, je potřeba pohlídat aby ve spojovaném kabelu napětí nepřesáhlo napětí v připojovaném kabelu.

Pro samotné předpětí bude potřeba vybavení ve formě samotných kotev, lan, kabelových kanálků, kabelových spojek, injektážní materiál, trubičky pro vývod injektážního materiálu.

Kotvy mohou být aktivní a pasivní. Aktivní kotvy slouží k samotnému napínání, pasivní kotvy jsou umístěny do konstrukce a slouží k tomu, že když se konstrukce napíná, tak pasivní kotvy udrží lana na místě.

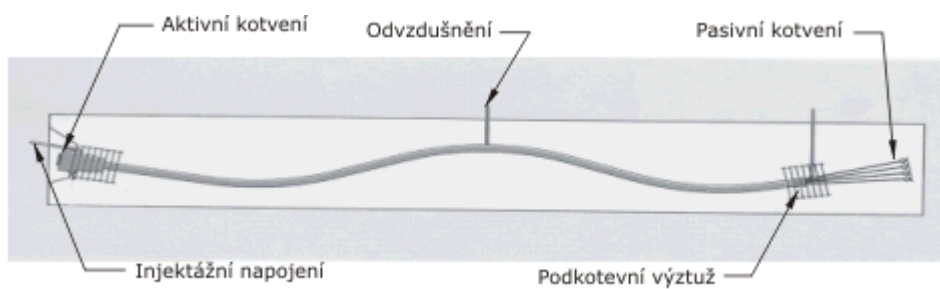


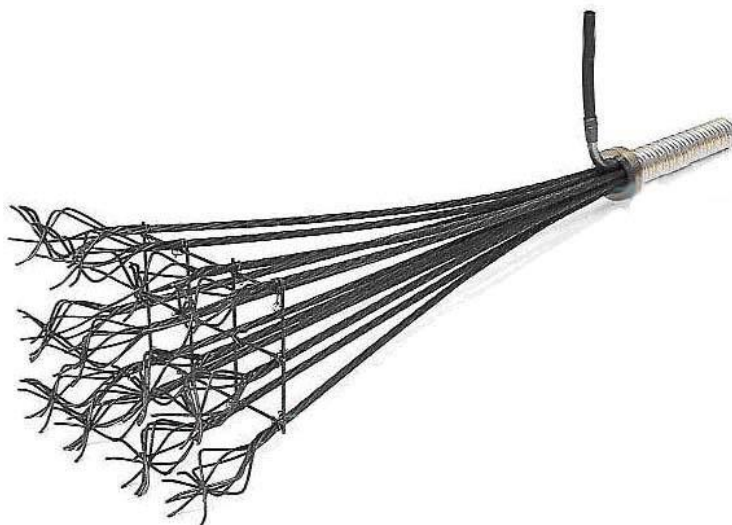
Schéma vícelanového předpínacího systému

Obr. 31 Schéma technologie předpínání [14]

System Vsl.cz

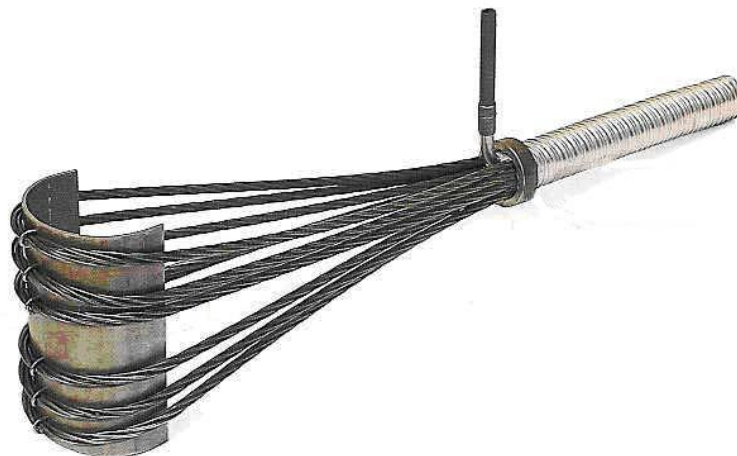


Obr. 32 Příklad aktivní kotvy, dle systému VSL [14]



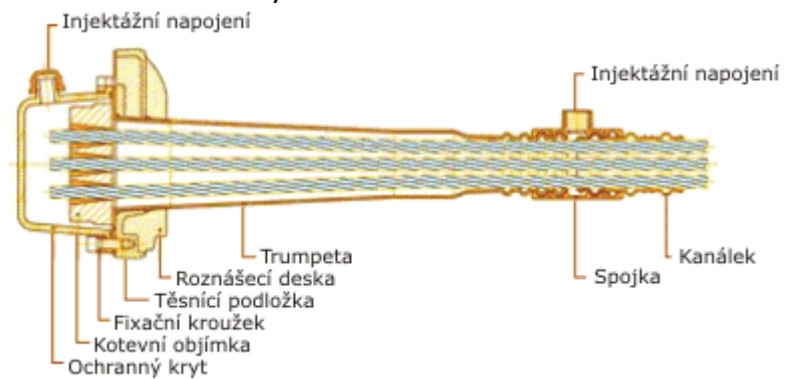
Obr. 33 Příklad pasivní „cibulové“ kotvy systému VSL [14]

Další příklad pasivní kotvy vsl.



Obr. 34 Pasivní kotva systém VSL [14]

Schéma aktivní kotvy



Obr. 35 Schéma aktivní kotvy [14]

Příklad spojky předpínacího systému vsl.



Obr. 36 Spojka předpínacího systému VSL [14]

Konstrukce bude napínána pouze s jedné strany. Pod každou kotvou bude umístěna podkotevní výztuž dle systému výrobce, aby bylo zabráněno příčnému poškození konstrukce (obvykle výztuž tvaru šroubovice). V dalších stupních dokumentace by měla být čela konstrukce, kde probíhá předpínání posouzena, zda-li tam nedochází k příliš velkým tahovým namáháním. Takové posouzení bude provedeno například pomocí příhradové analogie.

Samotná konstrukce bude napínána tak, že lana napneme pomocí předpínacích pistolí (hydraulické přístroje). Do konstrukce vneseme vypočtené napětí a napětí bude podrženo 300s. Poté bude výztuž zakotvena a zainjektována. Injektování konstrukce bude provedeno pomocí injektážního systému dodavatele předpětí.

1.11. Rozvaha o založení stavby

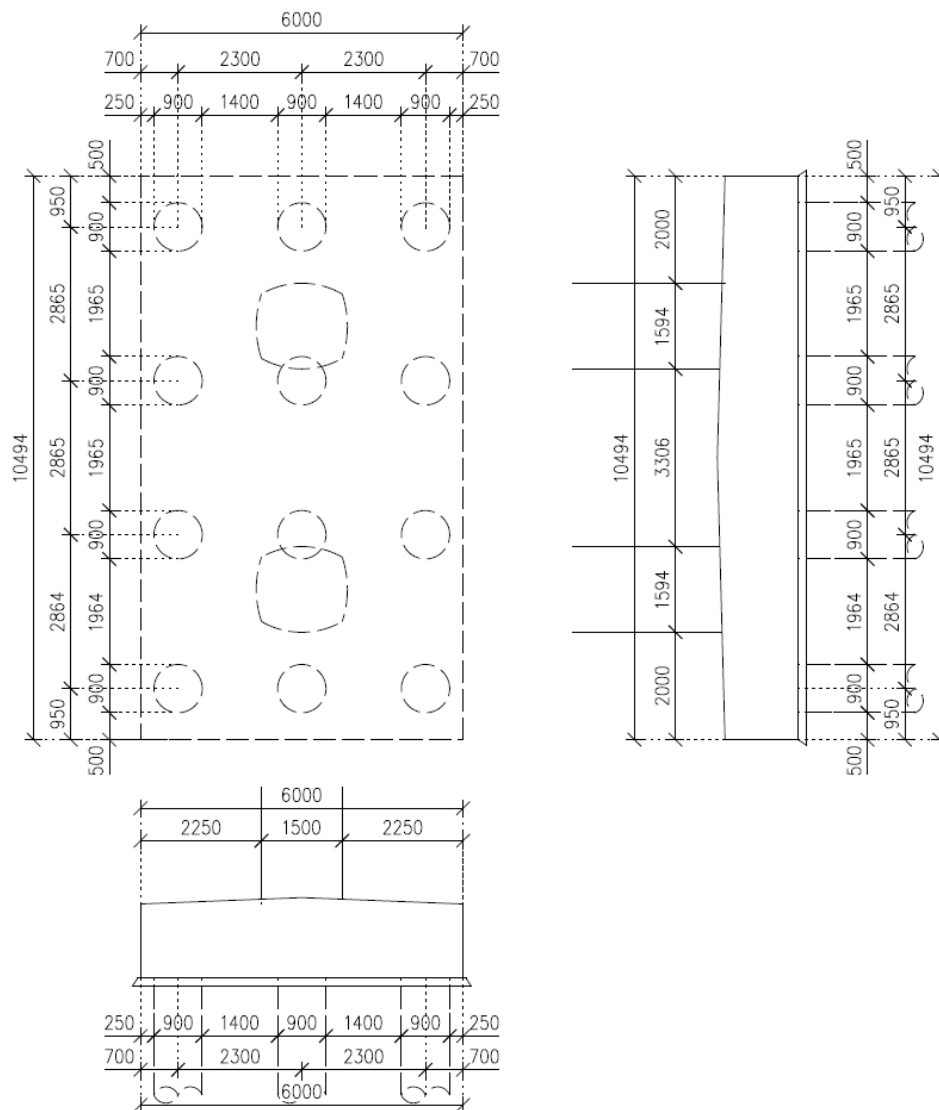
V této kapitole bude rozebrána možnost založení stavby. Lze vycházet ze studie společnosti SUDOP Praha, kde je obecně popsána geologie území. Založení stavby je uvažováno hlubinně na velkopřůmerných vrtaných pilotách. Stavba bude založena v údolí nivy řeky Mže. V těchto podmínkách lze předpokládat přítomnost spodní vody. Ze studie vyplývá, že cca 4,5 m zeminy, tvoří navážka. O složení dalších vrstev je ve studii psáno pouze obecně, bez

konkrétních mocností, objemové tíhy a dalších důležitých vlastnostech podloží. Pro jakýkoli konkrétní návrh spodní stavby by bylo potřeba provést několik průzkumných vrtů.

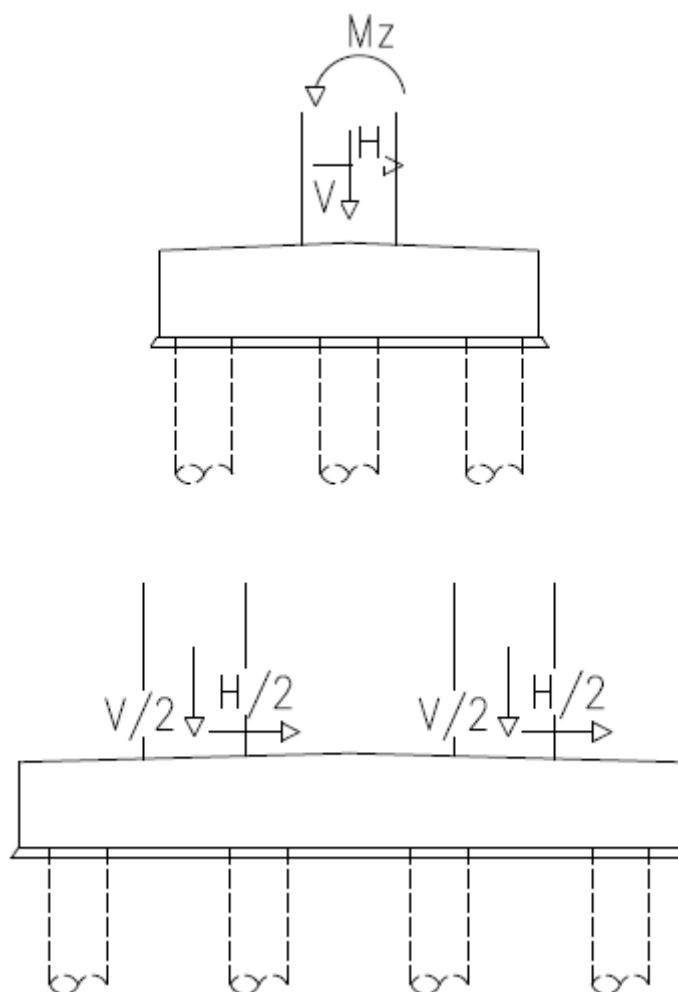
Dále studie uvádí, že by bylo vhodné založit konstrukci na pilotách opřené o skalní podloží. Nikde ovšem není napsáno v jaké hloubce se skalní podloží nachází, proto je poměrně obtížné provést jakýkoli návrh spodní stavby. Nicméně bude zde nastíněn postup pro návrh a posouzení piloty.

Bude uvažováno, že hlubinný základ bude pilotový rošt, kde piloty budou opřené o skalní podloží. Každá pilota bude mít průměr 900 mm.

Schéma je uvedeno na následujícím obrázku:



Obr. 37 Schéma předpokládané spodní stavby



Obr. 38 Schéma pro výpočet spodní stavby

Pro potřeby posouzení spodní stavby bude do modelu přidán zatěžovací stav simulující náraz vozidla.

Dále bude zatížení z pilířů rozpočítáno na jednotlivé piloty. Kruhové piloty budou převedeny na čtvercové průřezy a posouzeny pomocí interakčního diagramu.

1.12. Závěr

Navržená konstrukce byla posouzena dle platných norem, dle teorie mezních stavů. A to konkrétně na MPS (mezní stav použitelnosti) a MSÚ (mezní stav únosnosti). V rámci MSP byla dokázána životnost konstrukce, kde konstrukce byla posouzena na dekompresi v kvazistálé kombinaci a v částečné kombinaci. Dále ještě na posouzení z hlediska mezního stavu omezení napětí. V rámci MSÚ byla estakáda posouzena na kombinaci normálové síly a ohybového momentu, na smykovou únosnost, z hlediska vyloučení křehkého lomu, na účinky únavy, kroucení a na příčný ohyb. Celá konstrukce vyhověla a bylo dokázáno, takto navržená konstrukce může v praxi fungovat.

Takto navržená konstrukce si při návrhu předpětí vybrala určitou svoji „daň“ za svojí relativní štíhlost. Pro rozpětí dosahující k šedesáti metrům se průřez dvoutrámu o výšce pouhé dva metry může jevit neefektivní. Vzhledem k tomu, že se předpokládá, že konstrukce bude součástí panoramatu Plzně po dalších sto let, bylo k návrhu přistoupeno s velkým respektem právě k tomuto faktu. Proto byla konstrukce navržena tak, aby vhodně doplňovala, ale zároveň nedominovala nově vznikajícímu panoramatu Plzně.

Práce je strukturována jako textová část, část početní a výkresová část.

Součástí této práce jsou:

P1: Statický výpočet první konstrukce

P2: Statický výpočet druhé konstrukce

P3: Statický výpočet třetí konstrukce

P4: Výkresová dokumentace:

Navrhovaných variant:	Varianta 1:	Příčný řez v poli
		Příčný řez nad podporou
		Podélný řez první části
	Varianta 2:	Podélný řez typického pole
		Příčný řez v poli
		Příčný řez nad podporou
	Varianta 3:	Podélný řez
		Příčný řez v poli
		Příčný řez nad podporou
Výkres opěry O1		
Přehledné výkresy části jedna		
Přehledné výkresy části dvě		
Přehledné výkresy části tři		
Schéma předpětí první části		
Schéma výztuže první části		

Seznam obrázků:

Obr. 1 mapa zájmového území. mapy.cz

Obr. 2 mapa zájmového území letecký snímek. mapy.cz

Obr. 3 mapa zájmového území z větší perspektivy. mapy.cz

Obr. 4 Příklad mapy katastrální, dle ikatastr.cz

Obr. 5 Příčný řez konstrukcí v poli

Obr. 6 Příčný řez konstrukcí na podporou

Obr. 7 Podélný řez první části konstrukce

Obr. 8 Podélný řez typického poole

Obr. 9 Pohled na most přes údolí Stonávky,

zdroj: <http://www.silnice-zeleznice.cz/stavby/stavba/estakada-na-r48-pres-udoli-stonavky-v-tranovicich/?stavba=47>

Obr. 10 Další pohled na most přes údolí Stonávky

zdroj: <http://www.silnice-zeleznice.cz/stavby/stavba/estakada-na-r48-pres-udoli-stonavky-v-tranovicich/?stavba=47>

Obr. 11 Příčný řez konstrukcí

Obr. 12 Podélní řez konstrukcí

Obr. 13 Veirendeelův nosník – studie ČVUT

zdroj:https://web.archive.org/web/20081201094448/http://www.ceskedalnice.cz/prilohy/r1_suchmost.htm

Obr. 14 Příčný řez konstrukcí

Obr. 15. Schéma provádění letmé betonáže

Obr. 16 Provádění letmé betonáže

Obr. 17 Ukázka betonářského vozíku

Obr. 18 Ukázka pevné skruže

Obr. 19 Schéma možností výstavby na skruži

Obr. 20 Příčné řezy těchto možností

Obr.21 Ukázka výsuvné skruže

Obr. 22 Možnosti vysouvání konstrukce

Obr. 23 Schéma vysouvání konstrukce, systém VSL

Obr. 24 Ukázka vysouvané konstrukce

Obr. 25 Schéma provádění otáčené konstrukce

Obr. 26 Příklad zajímavé otáčené konstrukce

Obr.27 První část

Obr. 28 Druhá část

Obr.29 Třetí část

Obr.30 Čtvrtá část

Obr. 31 Schéma technologie předpínání

Obr. 32 Příklad aktivní kotvy, dle systému VSL

Obr. 33 Příklad pasivní „cibulové“ kotvy systému VSL

Obr. 34 Pasivní kotva systém VSL

Obr. 36 Spojka předpínacího systému VSL

Obr. 37 Schéma předpokládané spodní stavby

Obr. 38 Schéma pro výpočet spodní stavby