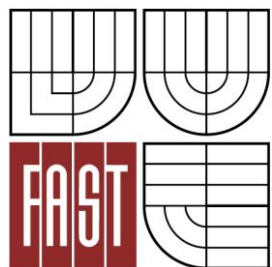




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

MOST PŘES PŘELOŽKU SILNICE I/46

THE BRIDGE ACROSS THE RELOCATION OF ROAD I/46

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. ADAM HURTA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. RADIM NEČAS, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Adam Hurta
Název	Most přes přeložku silnice I/46
Vedoucí diplomové práce	Ing. Radim Nečas, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce	15. 1. 2016
V Brně dne 31. 3. 2015	

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

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

Podklady a literatura

Podklady:

Situace, příčný a podélný řez, geotechnické poměry.

Základní normy:

ČSN 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.

ČSN 73 6214: Navrhování betonových mostních konstrukcí

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

Zásady pro vypracování

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

Ve výběru varianty se zaměřte na deskovou nebo trémovou spojitou mostní konstrukci.

Podrobný návrh nosné konstrukce vybrané varianty mostu proveďte podle mezních stavů 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 (1x).

Popisný soubor závěrečné práce (1x).

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

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....
Ing. Radim Nečas, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Tématem práce je bezpečný a hospodárný návrh nosné konstrukce mostu v souladu s platnými normami a předpisy. Posouzení konstrukce je provedeno dle mezních stavů únosnosti a použitelnosti. Řešení zahrnuje časově závislou analýzu konstrukce.

Klíčová slova

Most, předpjatý beton, předpínací kabel, betonářská výztuž, trémová konstrukce, spojitý nosník, časově závislá analýza, mezní stav únosnosti a použitelnosti

Abstract

The topic of the thesis is safe and economical design of a bearing bridge structure according to valid regulations and standards. The structure is reviewed by limit states of ultimate and serviceability. The solution includes time dependent analysis of the structure.

Keywords

Bridge, prestressed concrete, prestressing cable, reinforcement, girder structure, continuous beam, time dependent analysis, ultimate and serviceability limit state

...

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Adam Hurta *Most přes přeložku silnice I/46*. Brno, 2016. 22 s., 150 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Radim Nečas, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 6.1.2016

.....
podpis autora
Bc. Adam Hurta

Poděkování

Rád bych poděkoval panu Ing. Radimovi Nečasovi, PhD., za vedení a cenné rady v průběhu zpracování.

Rovněž děkuji rodičům za podporu v průběhu studia.

Rád bych poděkoval i všem vyučujícím, se kterými jsem měl tu čest se setkat a hlavně se něco naučit.

.....
Bc. Adam Hurta

Obsah

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY	1
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES	1
ÚVOD	9
VARIANTY TYPŮ MOSTŮ	10
Varianta A	11
Varianta B	12
NÁVRH MOSTU	13
ŠÍŘKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ	13
MOSTNÍ ŘÍMSY	13
ZÁCHYTNÁ ZAŘÍZENÍ	13
ZATÍŽENÍ	14
ZATÍŽENÍ STÁLE	14
ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ	14
ZATÍŽENÍ DOPRAVOU	14
ZATÍŽENÍ TEPLOU	14
NEROVNOMĚRNÉ SEDNUTÍ PODPĚR	15
VÝPOČTOVÝ MODEL	15
Prutový model 2D	15
Prutový model 3D	15
Deskový model	16
NÁVRH PŘEDPĚTÍ	16
PODÉLNÝ SMĚR	17
II. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	17
Fáze výstavby	17
Omezení napětí	17
Omezení šířky trhlin	18
Ohybová únosnost	18
Namáhání na posouvající sílu a kroucení	18
PŘÍČNÝ SMĚR	19
PŘÍČNÍKY	19
ZÁVĚR	20
Seznam použitých zdrojů:	21

ÚVOD

Úlohou diplomové práce bylo přemostění údolí, ve kterém se nachází silnice I/46.

Převáděná komunikace III. třídy je kategorie S9,5/80.

Polohy opěr a pilířů byly zadány. Jednalo se o most o třech polích.

Dále byl zadán povrch komunikace a šířkové uspořádání.

Na základě podkladů byly vypracovány 2 varianty. První variantou byl jednotrámový most s předem předpjatého betonu. Druhá varianta byl dvojtrámový most.

Z těchto variant je pro podrobnější posouzení vybrána varianta jednotrámového mostu.

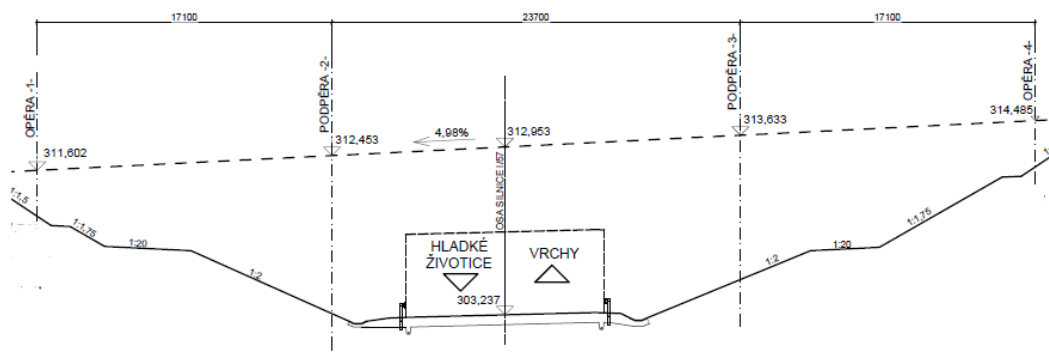
Zatížení je uvažováno dle ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou, ČSN EN 1991-1-5: Obecné zatížení – zatížení teplotou; ČSN EN 1991-1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná tíha pozemních staveb

Výpočetní modely konstrukce jsou zadány do programu Scia Engineer 2015.

VARIANTY TYPŮ MOSTŮ

Jsou navrženy 2 varianty typů mostů. Podrobně jsou rozkresleny v příloze „P1-Použité podklady a varianty řešení“.

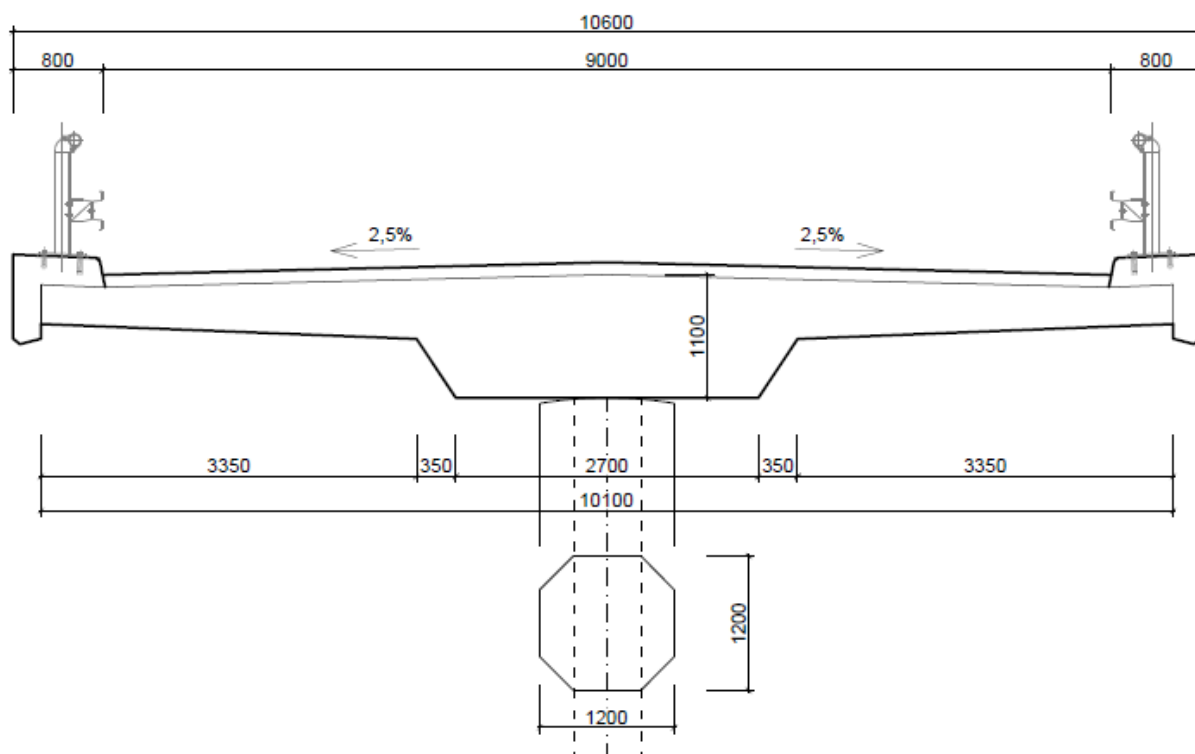
Varianty jsou tvořeny spojitým nosníkem a třech polích, které mají tyto rozměry:
17,1 – 23,7 – 17,1 m



Obr.1: Schéma zadání s rozmístěním podpěr a sklonem nivelety

Varianta A

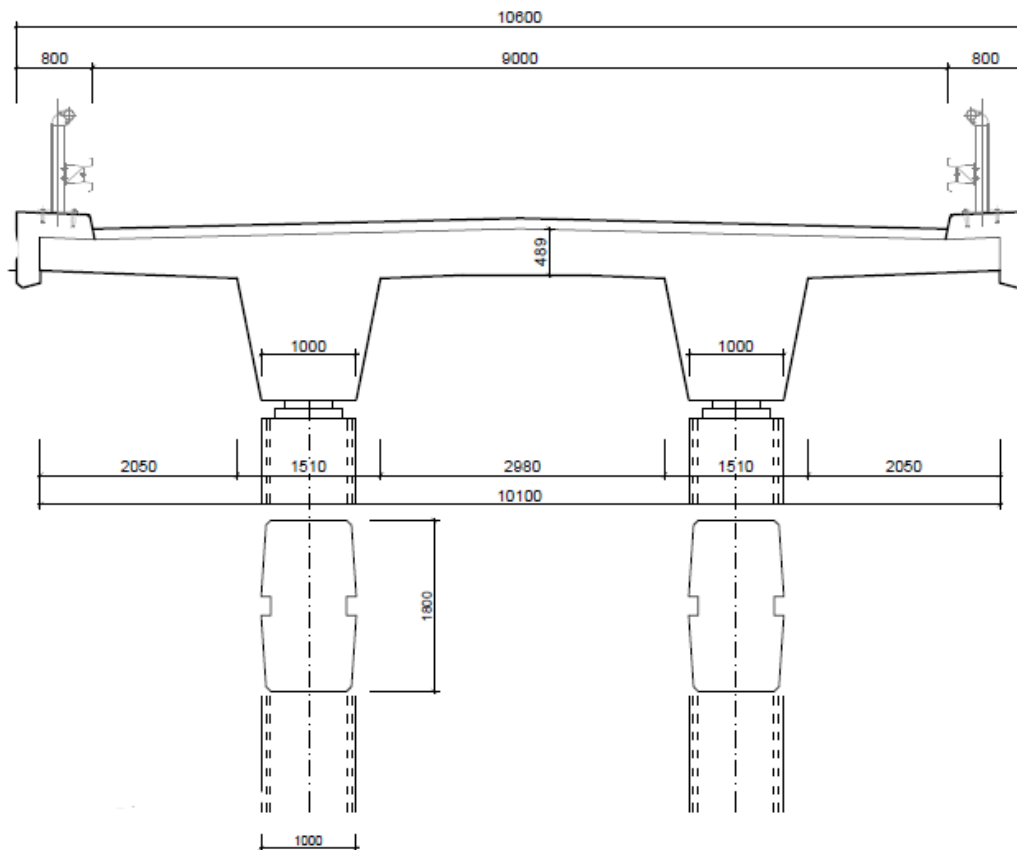
Průřez nosné konstrukce varianty A je tvořen jednotrámem s velmi vyloženými konzolami. Výška průřezu je 1,1m. Nad krajními podpěrami je příčník uložen na hrncových ložiskách s velkým rozpětím od sebe pro přenos kroutících momentů.



Obr. 2 Příčný řez, Varianta A

Varianta B

Průřez nosné konstrukce varianty B tvoří dvoutrám. Trámy jsou spojeny deskou mostovky, nad pilíři je podporový příčník. Výška průřezu je 1,8 m

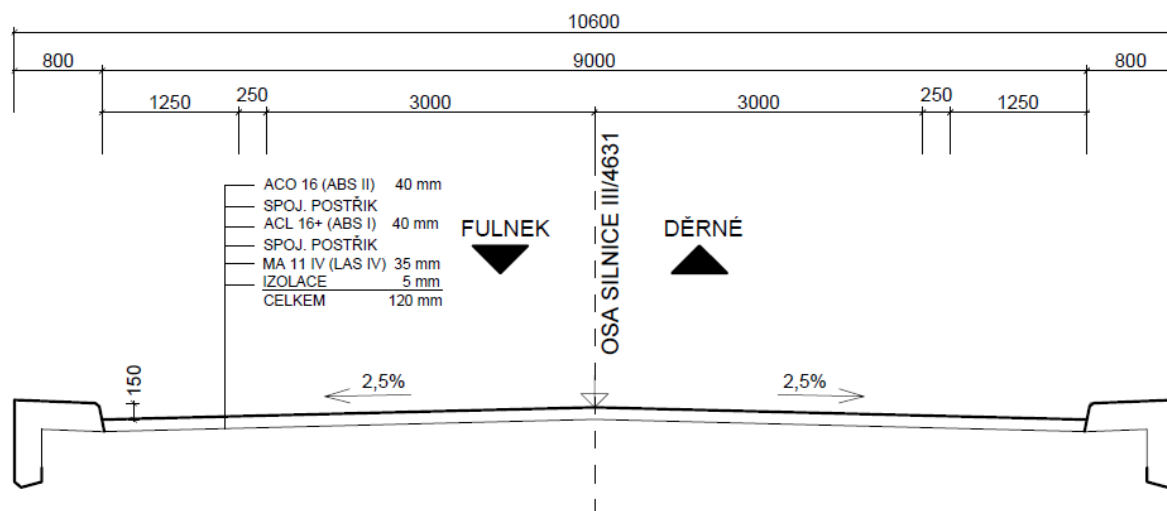


Obr.3: Příčný řez, Varianta B

NÁVRH MOSTU

ŠÍŘKOVÉ USPOŘÁDÁNÍ

Šířka mostu je dána zadáním, včetně mostního svršku



Obr.4: Zadání šířkového uspořádání mostu

Vozovkové souvrství

Asfaltový kober mastixový	ACO 16	40 mm
Spoj postřík		
Asfaltový beton hrubý	ACL 16+	40 mm
Spojovací postřík		
Litý asfalt	MA 11 IV	35 mm
Izolace		5 mm
Celkem		120 mm

MOSTNÍ ŘÍMSY

Mostní římsy jsou navrženy z betonu C30/37 – XF4.

Kotvení říms je uvažováno po 1m.

ZÁCHYTNÁ ZAŘÍZENÍ

Po obou stranách je navrženo ocelové zábradelní svodidlo typu RH2. Sloupky jsou umístěny po 2m. Výška zábradlí je 1,1 m.

ZATÍŽENÍ

ZATÍŽENÍ STÁLE

Je uvažována vlastní tíha a ostatní stáله zatížení, které zahrnuje vybavení mostu (římky, svodidla, vozovku).

Vlastní tíhu generuje výpočetní software Scia Engineer. Ostatní stáله zatížení je zadáno ručně.

ZATÍŽENÍ PROMĚNNÉ

ZATÍŽENÍ DOPRAVOU

Na konstrukci jsou ověřeny účinky všech zatížení od dopravy:

LM1 – TS + UDL

LM2 – Lokální ověření účinků od dvojnápravy

LM3 – speciální vozidla

LM4 – dav lidí

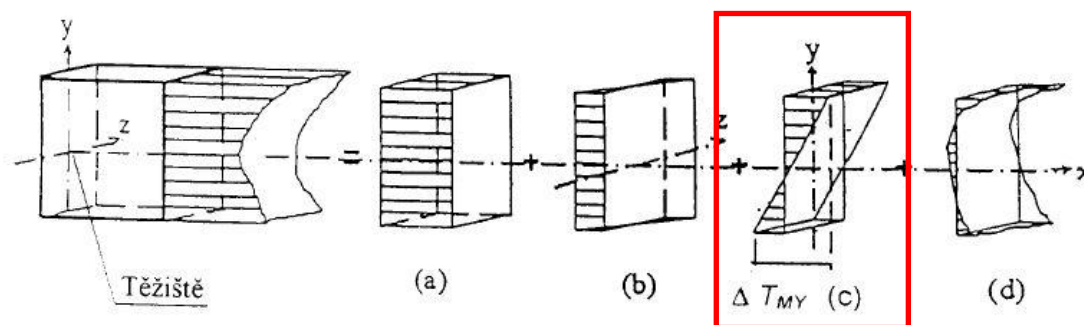
Na konstrukci mají rozhodující vliv účinky od zatížení LM1.

Podrobný popis proměnných zatížení od dopravy je v příloze P4 – *statický výpočet, kapitola ZATÍŽENÍ DOPRAVOU*

ZATÍŽENÍ TEPLOU

Uvažují lineární změnou teploty ve směru y.

ČSN P ENV 1991-2-5



Obrázek 4.1 - Základní složky průběhu teploty

Obr.5: Jednotlivé složky od zatížení teplotou

NEROVNOMĚRNÉ SEDNUTÍ PODPĚR

Uvažuji sedání podpěr o hodnotu 5 mm a to ve dvou variantách.

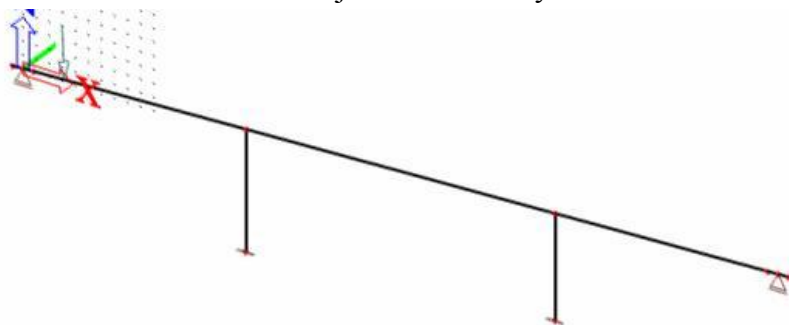
1. Pokles podpěr A + C
2. Pokles podpěr B + D

Momenty od sednutí podpěr v čase t_{00} vymyží. Proto jsou rozhodující jen pro výpočet II. Mezního stavu po uvedení do provozu.

VÝPOČTOVÝ MODEL

Prutový model 2D

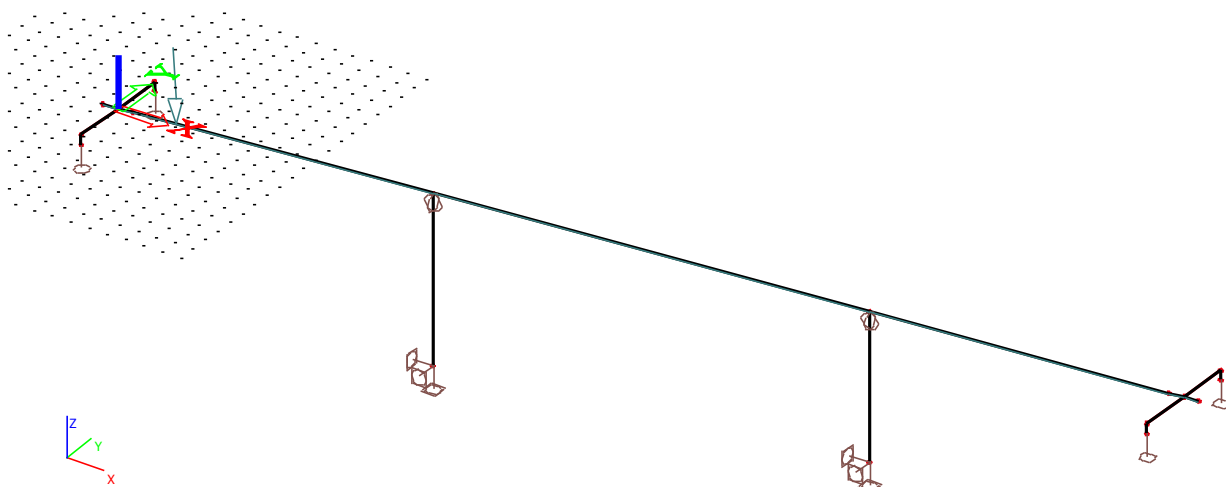
-slouží pro výpočet vnitřních sil a umožňuje časovou analýzu TDA



Obr.6: Prutový model 2D

Prutový model 3D

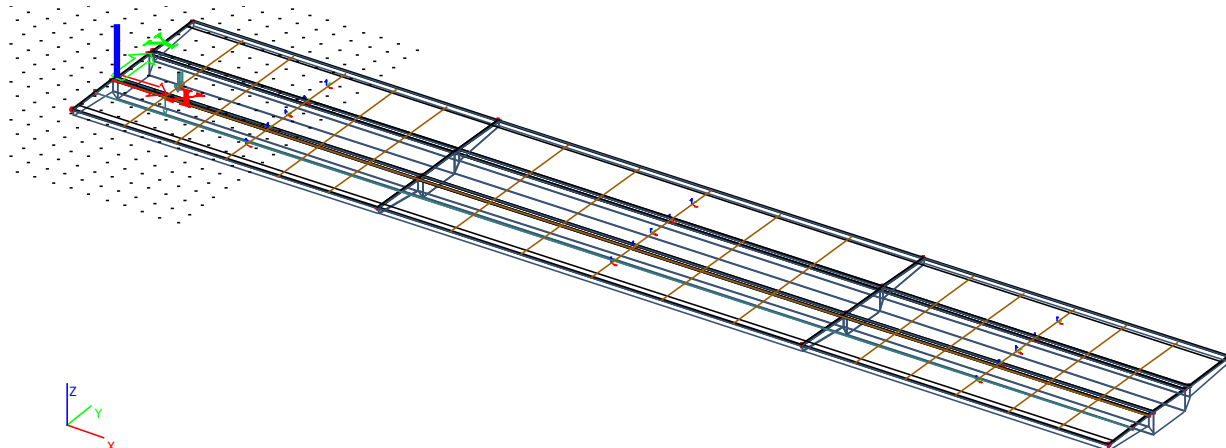
-po vytvoření prutového modelu 2D a posouzení na II. mezní stav, jsem potřeboval posoudit konstrukci na posouvající sílu a kroucení. Prutový model 3D, jsem získal vyexportováním 2D modelu. Pohyblivá zatížení jezdila excentricky po trase tak aby vyvolala maximální kroučící moment a maximální posouvající sílu. Uložení na koncové příčnický bylo provedeno pomocí tuhých ramen.



Obr.7: Prutový model 3D

Deskový model

Pro návrh a posouzení příčného směru byl vytvořen deskový model



Obr.8: Deskový model

Průřezové charakteristiky

Průřezové charakteristiky řezů byly po ručním výpočtu spolupůsobících šířek spočteny pomocí programu Autocad. I s vlivem příčného sklonu vozovky. Do výpočetního modelu byl zadávám T trám s vodorovnou horní hranou, kvůli pojezdovým drahám pro dopravní zatížení. Plocha řezu zadaných do výpočetního modelu a skutečná se liší minimálně.

NÁVRH PŘEDPĚTÍ

Při návrhu předpětí jsem postupoval pomocí metody vyrovnání zatížení.

Určil jsem si geometrii kabelů a předpínací sílu potřebnou pro vyrovnání účinků od stálé tíhy.

Po vložení do výpočetního modelu jsem se kvůli subtilnosti konstrukce rozhodl vyrovnat i časté hodnoty od proměnného zatížení dopravou – LM1.

Ztráty byly generovány výpočetním softwarem. Za tímto účelem byla použita časová analýza TDA.

Podrobný návrh předpětí je v příloze „P4-Návrh předpětí metodou vyrovnání zatížení“

PODÉLNÝ SMĚR

II. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Fáze výstavby

Pro ověření napětí v průběhu životnosti konstrukce byly do výpočetního modelu zavedeny tyto časově závislé fáze.

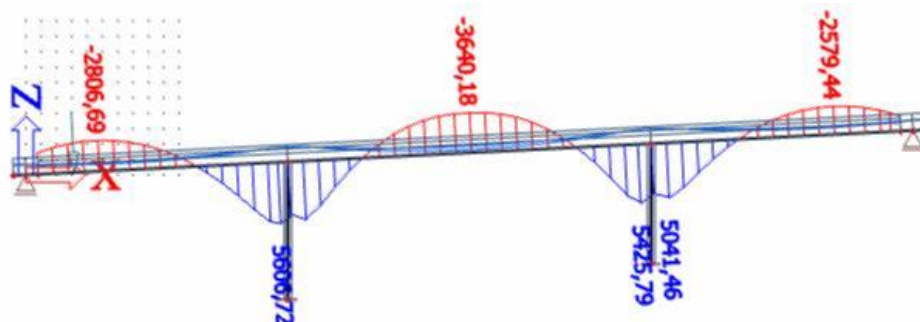
Číslo fáze	Název fáze	čas
ST1	BETONÁŽ	0
ST2	VNESENÍ PŘEDPĚTÍ	20
ST3	ODSKRUŽENÍ	25
ST4	OSTATNÍ STÁLE ZATÍŽENÍ	28
ST5	UVEDENÍ DO PROVOZU	95
ST6	CHARAKTERISTICKÁ t_q	95,1
ST7	KVAZISTÁLÁ t_q	95,2
ST8	PRVNÍ ROK	365
ST9	CHAR T_{rok}	365,1
ST10	KVAZI T_{rok}	365,2
ST11	ŽIVOTNOST	36500
ST12	CHAR T_{00}	36500,1
ST13	KVAZI T_{00}	36500,2
ST14	ČASTA T_{00}	36500,3

Omezení napětí

Pro omezení napětí byly rozhodující fáze ST3 a ST12.

Fáze ST3 byla problémová z důvodu přetlačení konstrukce předpětím. A naopak ve fázi ST12 už předpětí, díky maximálním výpočtovým ztrátám, nevyrovnávalo tolik zatížení od dopravy.

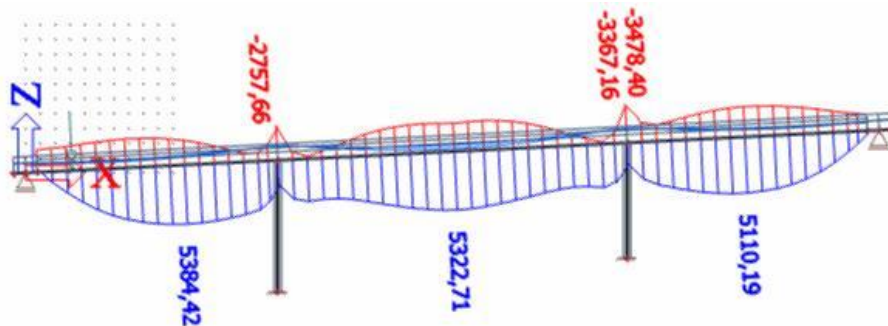
Momenty a napětí ve fázi ST3



Obr.9: Průběh momentů, fáze ST3

oblast	x [m]	N [N]	M [kNm]	A [m ²]	W _h [m ³]	W _d [m ³]	σ _h [MPa]	σ _d [MPa]
Pole1	4	-33212,59	-2806,69	6,2275	1,175957	0,734756	-2,95	-9,15
Podpora B	15,66	-33030,63	5606,72	6,2275	0,967627	0,691334	-11,10	2,81
Pole 2	12	-30053,40	-3640,18	6,2275	1,127879	0,742705	-1,60	-9,73
Podpora C	22,865	-32227,45	5425,79	6,2275	0,967627	0,691334	-10,78	2,67
Podpora C	1	-33454,73	5041,46	6,2275	0,967627	0,691334	-10,58	1,92
Pole 3	12	-33264,15	-2579,44	6,2275	1,175957	0,734756	-3,15	-8,85

Momenty a napětí ve fázi ST12



Obr.10: Obálka momentů, fáze ST12

oblast	x [m]	N [N]	M [kNm]	A [m ²]	W _h [m ³]	W _d [m ³]	σ _h [MPa]	σ _d [MPa]
Pole 1	4	-32338,86	3254,74	6,2275	1,175957	0,734756	-7,96	-0,76
Pole 1	10	-30256,98	5384,42	6,2275	1,175957	0,734756	-9,44	2,47
Podpora B	16,32	-29045,35	-2757,66	6,2275	0,967627	0,691334	-1,81	-8,65
Pole 2	12	-26701,99	5322,71	6,2275	1,127879	0,742705	-9,01	2,88
Podpora C	23,729	-28690,61	-3367,16	6,2275	0,967627	0,691334	-1,13	-9,48
Podpora C	0	-29603,98	-3478,40	6,2275	0,967627	0,691334	-1,16	-9,79
Pole 3	8	-30019,36	5110,19	6,2275	1,175957	0,734756	-9,17	2,13
Pole 3	12	-29424,08	4105,27	6,2275	1,175957	0,734756	-8,22	0,86

Omezení šířky trhlin

V konstrukci vlivem velké tlakové rezervy nebyla překročena tahová únosnost betonu. Proto most maximální šířce trhlin 0,2 mm vyhoví.

Ohybová únosnost

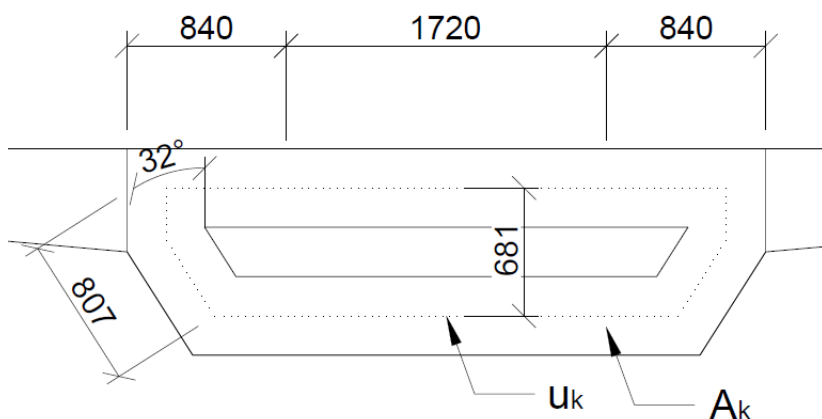
Mezní stav únosnosti na namáhání N+M byl posouzen na konci životnosti konstrukce. Konstrukce byla posuzována ve dvou řezech, a to poli a nad podporou. Vyhověla v obou případech a není nutný návrh betonářské výztuže. Při posuzování pevnosti průřezu při plném využití výztuže, průřez nevyhověl na vyčerpání pevnosti betonu. Při opačném postupu, tedy při plném využití betonu není výztuž plně využita, ale průřez bez problémů vyhoví. To je dáno tlakovou rezervou, která byla do konstrukce vnesena kvůli požadavkům na omezení napětí.

Namáhání na posouvající sílu a kroucení.

Pro tento typ posudku byl použit 3D model doplněný o tuhá ramena

Jsou uvažovány 2 kombinace zatížení, pro vyvození maximálního krouťícího momentu $T_{Ed,max}$ a maximální posouvající síly $V_{Ed,max}$.

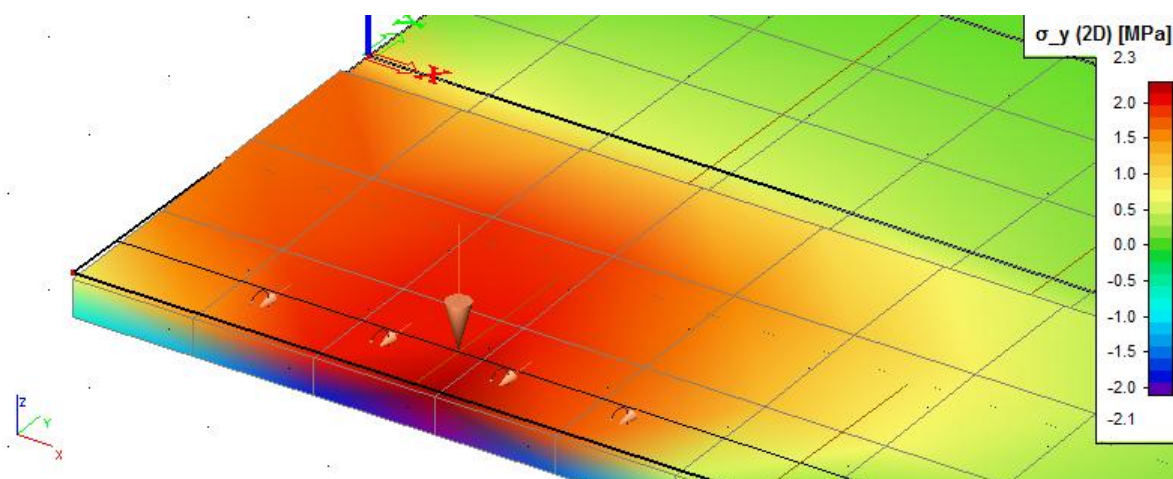
Průřez je nahrazen tenkostěnným průřezem dle obrázku:



Obr.11: Rozdělení trámu pro posouzení na $V+T$

PŘÍČNÝ SMĚR

Proměnné zatížení je uvažováno LM1 a to pouze v prvním dopravním pruhu, tak aby vyvodilo maximální moment a posouvající sílu. Dále je ověřeno mimořádné zatížení od nárazu vozidla do svodidel. Toto zatížení však nerozhoduje.



Obr.12: napětí od nárazu vozidla do svodidel

PŘÍČNÍKY

Pro posouzení příčníku je uvažován S&T model. Který je zatížen ekvivalentními silami v uzlech od podpor. V modelu je postupně ověřena tlaková únosnost vzpěr, navržena výztuž v táhlech a posouzení uzlů.

Dále je v příčníku ověřena kotevní oblast a navržena výztuž na štěpné síly od podporových reakcí.

ZÁVĚR

Na základě zadání byly zpracovány 2 možné varianty mostu. Z nichž byla vybrána jedna, která byla důkladně posouzena.

Geometrie vybrané varianty byla vložena do výpočetního softwaru Scia Engineer, pomocí kterého jsem získal vnitřní síly od jednotlivých zatížení a mohl provést návrh předpětí.

Vnitřní síly generované softwarem byly ve vybraných případech ověřeny ručním výpočtem za pomoci tabulek.

Konstrukce vyhověla pro oba mezní stavy. Nicméně návrh průřezu a tím pádem i hmotnost konstrukce nevyvolávají takové účinky, aby bylo možné předpětí navrhnout pouze na vyrovnání stálých složek zatížení. Z tohoto důvodu byla konstrukce předeprnuta více, než se počítalo v původním návrhu. Nicméně současné řešení vede na subtilní most, který lépe zapadá do krajiny. Posouzení spodní stavby nebylo předmětem diplomové práce.

Seznam použitých zdrojů:

- [1] NAVRÁTIL J., Předpjaté betonové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2008
- [2] STRÁSKÝ J., Betonové mosty, ČKAIT, Praha 2001
- [3] PROCHÁZKA J., ŠMEJKA J., VÍTEK J.L., VAŠKOVÁ J., Navrhování betonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1992-1-1 A ČSN EN 1992-1-2, ČKAIT, Praha 2010
- [4] ČAMBULA J., DRAHORÁD M., FOGLAR M., HRDOUŠEK V., KOS J., KUKLÍK P., NAVRÁTIL J., ROTTER T., STUDNIČKOVÁ M., STUDNIČKA J., ŠAFÁŘ R., VÍTEK L., VRÁBLÍK., Navrhování mostních konstrukcí podle Eurokódu, ČKAIT, Praha 2010
- [5] ČSN EN 1992-1 Eurokód 1 Zatížení konstrukcí – část 2 : zatížení mostu dopravou. Český normalizační institut, 2005
- [6] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí –část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Český normalizační institut, 2006
- [7] ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady. Český normalizační institut, 2007
- [8] VSL. VSL European Technical Approval. Dostupní z:
<http://www.vsl.cz/download>

SEZNAM PŘÍLOH

	ČÍSLO VÝKRESU
P1	POUŽITÉ PODKLADY A VARIANTY ŘEŠENÍ
P1.1	ZADÁNÍ 1
P1.2	VARIANTA A 2
P1.3	VARIANTA B 3
P2	VÝKRESY
P2.1	PŮDORYS 4
P2.2	PODÉLNÝ ŘEZ 5
P2.3	PŘÍČNÝ ŘEZ NAD PILÍŘEM 6
P2.4	PŘÍČNÝ ŘEZ NAD OPĚROU 7
P2.5	VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE 8
P2.6	VÝKRES BETONÁŘSKÉ VÝSTUŽE 9
P2.7	LOŽISKA 10
P3	STAVEBNÍ POSTUP A VIZUALIZACE
P3.1	STAVEBNÍ POSTUP 11
P3.2	VIZUALIZACE
P4	STATICKÝ VÝPOČET