

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Bakalářská práce

2016/2017

František Köhler

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Bakalářská práce

Návrh lávky pro pěší přes Ohři v Karlových Varech

Design of pedestrian bridge over Ohře in Karlovy Vary

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.

2016/2017

František Köhler



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Köhler	Jméno: František	Osobní číslo: 424431
Zadávací katedra: K133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrh lávky pro pěši přes Ohři v Karlových Varech	
Název bakalářské práce anglicky: Design of pedestrian bridge over Ohře in Karlovy Vary	
Pokyny pro vypracování: Variantní studie přemostění Ohře - koncepční řešení Návrh konstrukce a ověření hlavních prvků nosné konstrukce lávky	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Drahorád, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2017	Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2017 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

24.2.2017	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržení etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

podpis

.....

.....

Místo zpracování, celé datum

jméno a příjmení

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalovi Drahorádovi, Ph.D. za veškerou pomoc k této práci a dále mé rodině a příbuzným, kteří mě podporovali a měli tu trpělivost se mnou do dnešních dnů.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem lávky pro pěší v Karlových Varech přes řeku Ohře. Popisuje základní informace o síťových obloukových mostech. V teoretické části se zabývá koncepčním návrhem konstrukce lávky a v praktické části výpočtem hlavních konstrukčních prvků síťového ocelového oblouku s předepnutou železobetonovou mostovkou.

ABSTRACT

This work deals with the design of the pedestrian footbridge in Karlovy Vary across the river Ohře. Describes basic information about network arc bridges. In the theoretical part it deals with the conceptual design of the footbridge construction and in the practical part the calculation of the main structural elements of the network steel arc with prestressed reinforced concrete tie.

OBSAH

1	ÚVOD.....	2
1.1	Všeobecně	2
1.2	Obloukové mostní konstrukce.....	3
1.3	Síťové obloukové mostní konstrukce.....	4
2	ZÁKLADNÍ ÚDAJE LÁVKY	12
2.1	Stručný popis lávky.....	13
2.2	Místní podmínky	14
3	TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU	15
3.1	Spodní stavba a založení mostu	15
3.2	Prvky nosné konstrukce	15
3.2.1	Oblouky.....	15
3.2.2	Mostovka.....	16
3.2.3	Předpětí	18
3.2.4	Závěsy	18
3.2.5	Zavětrování oblouků	20
3.3	Vybavení mostu	21
3.3.1	Odvodnění mostu	21
3.3.2	Ložiska	21
3.3.3	Mostní závěry.....	22
3.3.4	Zábradlí	22
4	VÝSTAVBA MOSTU	23
5	ZÁVĚR.....	25
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	26
7	SEZNAM PŘÍLOH	28

1 ÚVOD

1.1 Všeobecně

Historie výstavby mostů sahá až do starověku, a to do doby ještě před rokem 2000 před naším letopočtem. Lávky a mosty bezpochyby patří k důležitým konstrukcím každodenního života. Jedná se o dopravní stavby, které převádějí pěší, silniční nebo železniční dopravu přes překážku, kterou tvoří například řeka, moře, údolí nebo křížící se komunikace. [1]

Důvodem pro výběr tohoto tématu je přiblížení problematiky při návrhu lávek pro pěší. Řešení se bude zabývat konkrétním typem konstrukce. Přesněji lávkou se sítovými oblouky a zavěšenou dolní mostovkou pro její velmi zajímavou a ze statického hlediska velmi specifickou konstrukci.

Tato práce se věnuje konstrukčnímu řešení a předběžnému návrhu hlavních konstrukčních prvků obloukové sítové mostní konstrukce pro pěší. Výběrem vhodného idealizovaného statického modelu pro posouzení. Zmíněná lávka slouží jako alternativní řešení konstrukce, která již přes řeku Ohře v Karlových Varech stojí. Jedná se o ocelovou lávku o rozpětí 48 m, která je tvořena dvěma ocelovými parapetními nosníky a spodní ortotropní mostovkou. Celá stavba je založena plošně. [10] – viz Obr. 1.1



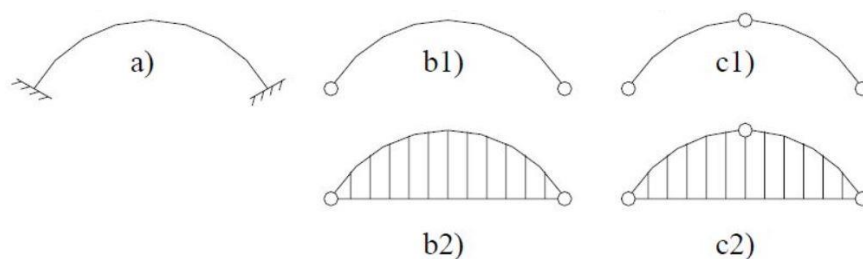
Obr 1.1 Současná lávka v Karlových Varech

1.2 Obloukové mostní konstrukce

Obloukové mosty obecně generují normálové síly působící na koncích oblouku směrem ven. Velikosti těchto sil jsou úměrné vzepětí oblouku. Tvar a výšku oblouku charakterizuje poměr vzepětí/rozpětí. Pro betonové oblouky je poměr obvykle roven 1 až 1/15 podle typu statického působení a obdobně u ocelových oblouků 1/5 až 1/10. Rozpětí se pohybují od 60 m až po 500 m. Vhodný tvar oblouku závisí především na zatížení. Ze statického hlediska je nejvhodnější tvar parabolický, který je nejvíce podobný výslednicové čáře od vnějšího zatížení. Nevýhodou obloukových mostů je nákladná výroba a montáž. [2]

Základní dělení oblouků vychází z jejich statického působení. Z hlediska tlaků na opěry hovoříme o pravých obloucích (obr. 1.2a, 1.2b1, 1.2c1), které i při svislém zatížení vyvozují šikmé podporové tlaky, anebo se jedná o nepravé oblouky (obr. 1.2b2, 1.2c2) s táhlem, které při svislém zatížení působí na základy svislými tlaky. [2]

Z hlediska statického systému hlavní nosné konstrukce rozdělujeme oblouky podle stupně statické neurčitosti na oblouky vetknuté (obr. 1.2a) – třikrát staticky neurčité, oblouky s jedním kloubem – dvakrát staticky neurčité, oblouky dvoukloubové (obr. 1.2b) – jedenkrát staticky neurčité a oblouky trojkloubové (obr. 1.2c) – staticky určité. [2] Z hlediska vnější statické určitosti je oblouk s táhlem možno navrhnout i bez kloubů jako staticky určitý (prostý nosník). Staticky neurčitý je potom vnitřně (rám).



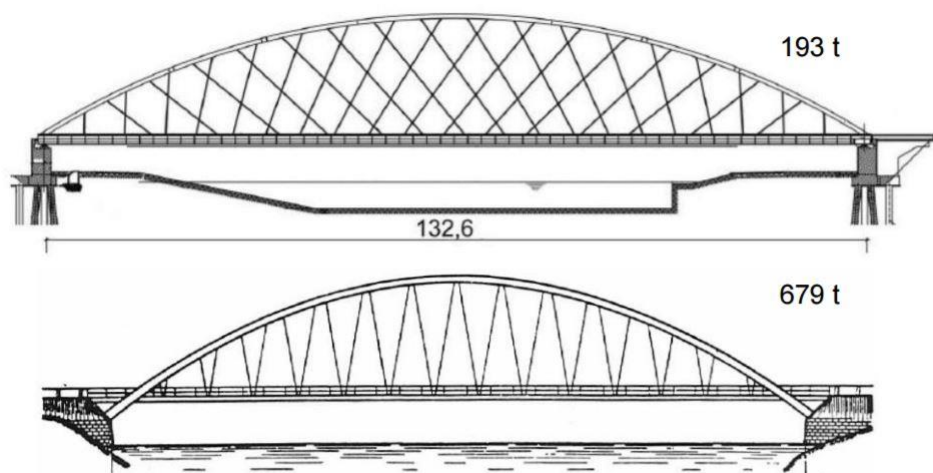
Obr 1.2 Oblouky podle stupně statické neurčitosti [2]

Betonové vetknuté oblouky se uplatní zejména pro malá rozpětí. Zatímco u ocelových mostů se uplatní štíhlá konstrukce až pro velká rozpětí. V reálné situaci se málokdy uplatní oblouk s jedním kloubem, protože konstrukci kloubu je nutno vhodně navrhnout a umístit. Stejně jako u trojkloubových oblouků, kde navíc nastává problém s velkými průhyby a ztužením konstrukce. Statická určitost konstrukce je výhodná

v těžkých základových podmínkách, kde konstrukce na základy vyvozuje pouze svislé a vodorovné síly. [2]

1.3 Síťové obloukové mostní konstrukce

Jedná se o obloukový most se šikmými závěsy, kde se závěsy kříží mezi sebou nejméně dvakrát. Konstrukci nazýváme jako síťový oblouk. Obloukové mosty se šikmými závěsy, které se vzájemně kříží maximálně jednou, nazýváme obvykle Nielsonův most. Optimálně navržený ocelový síťový oblouk může ušetřit až 2/3 hmotnosti oceli ve srovnání s běžnými ocelovými mosty viz obr. 1.31, kde jsou dva mosty o podobném rozpětí, ale s 3,5násobným váhovým rozdílem ve prospěch síťového obloukového mostu. [3]

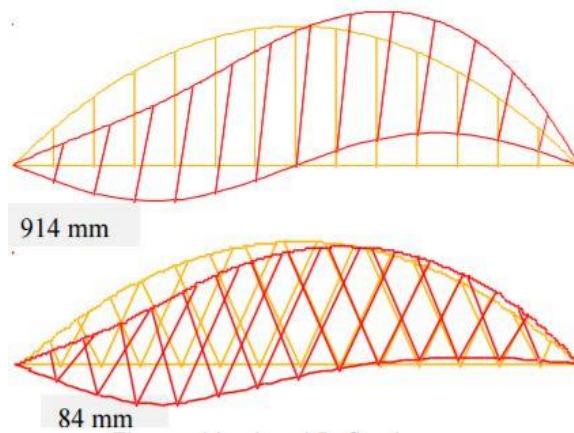


Obr. 1.31 Nahoře síťový obloukový most, dole Nielsonův most [3]

Optimální vzepětí oblouku se pohybuje v rozmezí 15–17 % rozpětí pro správné fungování konstrukce. [3] Při nedodržení doporučené hodnoty zvyšujeme náročnost optimalizace sítě a vznik nevhodných tlakových sil v závěsech.

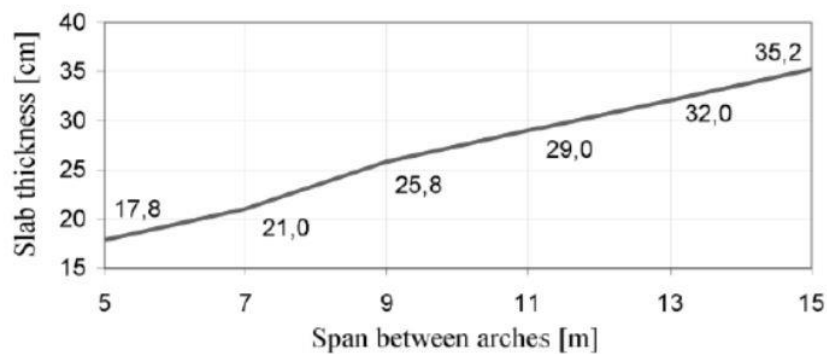
Obloukový most se svislými závěsy je velmi dobré řešení pro rovnoměrné zatížení. Oblouk je namáhán tlakovou silou a závěsy pouze tahovou. Pro nerovnoměrné zatížení použijeme křížící se závěsy síťového oblouku. Pak jsou všechna zatížení přenesena do oblouku takovým způsobem, že v podélném táhle nevznikají téměř žádné

ohybové momenty. [3] Viz Obr. 1.32 zobrazuje rozdíl účinků proměnného zatížení na konstrukci dvou typů zavěšení mostovky a vyvozenou deformaci celého oblouku.



Obr. 1.32 Deformace při zatížení proměnným zatížením [10]

Pro vzdálenost mezi oblouky do 15 metrů je nejvhodnějším řešením návrh železobetonové mostovky. Deska roznáší soustředěné kolové zatížení od dopravy. Vzhledem k malému podélnému ohybu v mostovce si můžeme dovolit navrhnout mostovku velmi tenkou. Tloušťka desky obecně závisí na vzdálenosti mezi oblouky mostu. [3]



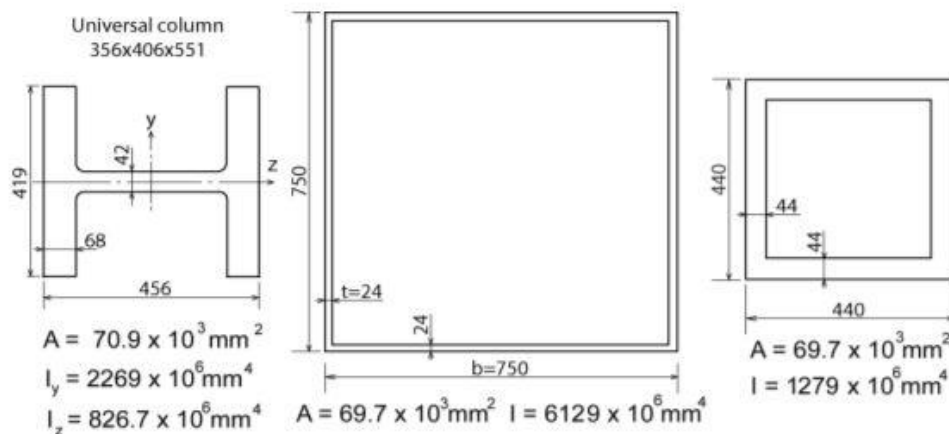
Obr. 1.33 Vztah závislosti tloušťky železobetonové mostovky na rozpětí mezi oblouky [5]

Tahovou sílu v mostovce eliminujeme zpravidla předpínacími kabely v okrajových nosnících. To vede k žádanému výslednému tlakovému napětí v mostovce. Dále k omezení vzniku trhlin a ke snížení jejich šířky. Snížení šířky trhlin ústí v menší náklady na údržbu a zvětší trvanlivost a stálost konstrukce. Podélné ocelové nosníky v táhle nejsou tak vhodné, protože jsou dražší a vedou k většímu počtu trhlin v mostovce, navíc se složitěji provádí. [3] Síťové oblouky lze ze statického

hlediska považovat za prostě podepřené trámy, kde oblouk je tlačena část a mostovka tažená část. [4]

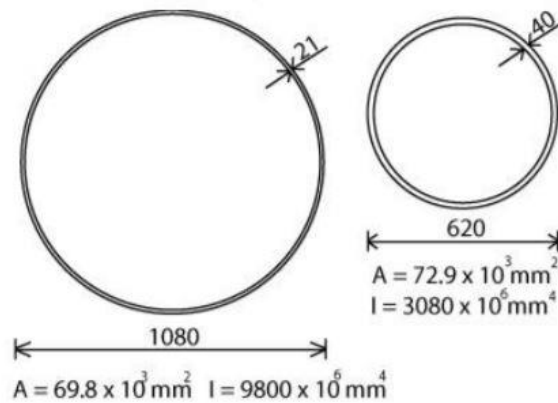
Nejčastější průřezy ocelového oblouku jsou univerzální profily typu H nebo pro větší rozpětí jsou to komorové uzavřené profily. [3]

Ve srovnání průřezů o stejné ploše má univerzální průřez viz obr.1.34 (vlevo) výhody ve svém jednoduchém tvaru, lehčími detaily, malé ploše sváření, menším dimenzím a štíhlým vzhledem při stejné spotřebě oceli. Oproti němu robustní komorový průřez (uprostřed) má 2,7krát vyšší moment setrvačnosti. Ve spodních částech se dá průřez vyplnit betonem, jako ochrana proti nárazu vozidlem, zvýšení tuhosti, únosnosti a zajištění stability při boulení. Štíhlý komorový průřez (vpravo) se svými rozměry velmi podobá prvnímu průřezu, ale v porovnání s ním není praktický nebo spíše není tak snadno proveditelný. [3]



Obr. 1.34 Nejčastější profily o stejné ploše [5]

Při vysokém zatížení od větru je vhodné použití kulatých trubek. Trubní profil viz Obr. 1.35 (vlevo) je obvykle klasifikován jako třída průřezu 1. Celý průřez může mít spoustu výhod před tím, než nastane vzpěr. Subtilnější profil (vpravo) má stejný průměr jako úhlopříčný rozměr univerzálního profilu, ale 1,3krát větší moment setrvačnosti k ose Y a 3,7krát větší moment setrvačnosti k ose Z při stejné spotřebě materiálu. [3]



Obr. 1.35 Trubní profil oblouku [5]

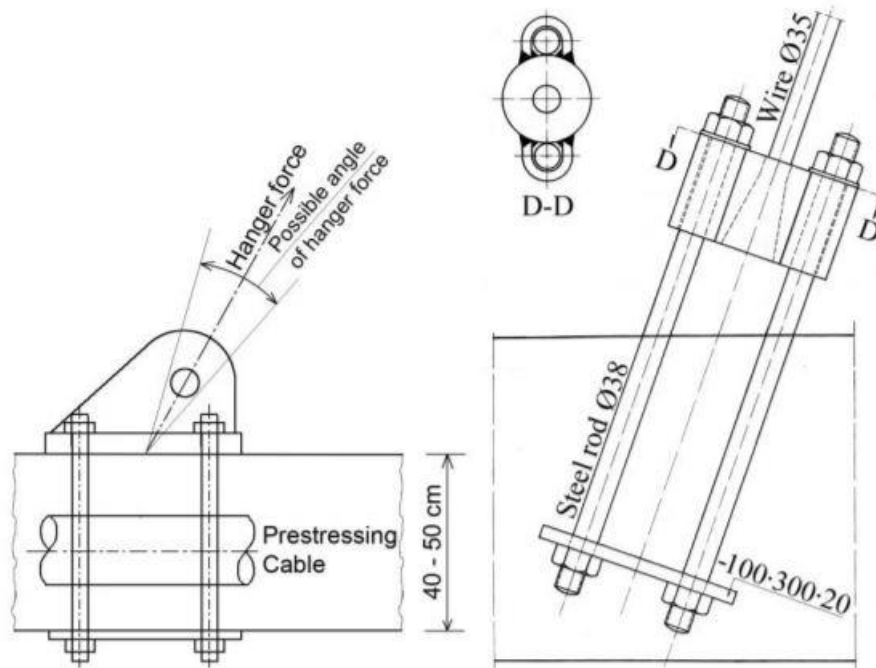
Síť je zpravidla tvořena ocelovými závěsy. Zejména lanovými či tyčovými prvky. Optimalizace sil v síti je nejpodstatnější problém, který nastává při výstavbě. Proto je velmi důležitý vhodný návrh a kontrola statického modelu k omezení vzniku tlakových sil v závěsech. Především tak nevhodnému chování konstrukce. V lepším případě táhla nejsou aktivována a pouze visí. V horším případě dochází k jejich vzpěru a kmitání.



Obr. 1.36 Pohled na táhla Trojského mostu [6]

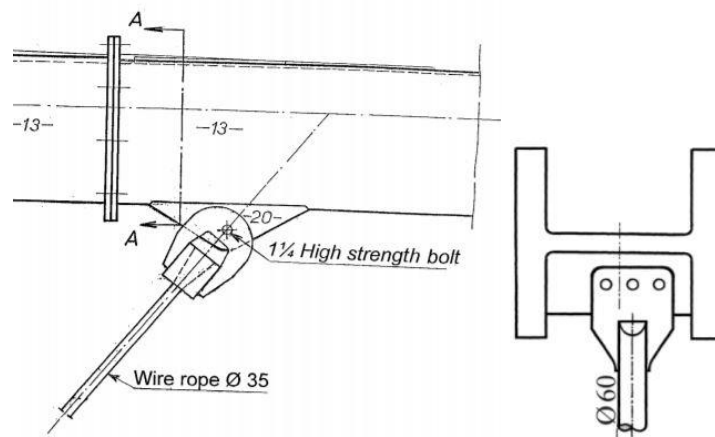
Způsob kotvení spodní části závěsů sítě je závislý na materiálu mostovky. Předem si musíme stanovit, jestli závěsy budou vyměnitelný či nikoli. V případě zabetonování spodního konce závěsu omezujeme životnost mostu životností závěsu. Druhý způsob vede k použití kotvicích přípravků. [11]

U železobetonové varianty mostovky se kotvící přípravek zabetonovává přímo do mostovky viz Obr. 1.37 (vpravo). Pokud bychom chtěli zaručit vyměnitelnost i samostatného přípravku, můžeme ho spojit skrz desku pomocí šroubů viz Obr. 1.37 (vlevo). [11]



Obr. 1.37 Způsoby kotvení kotvícího přípravku v železobetonové mostovce [11]

Při použití ocelových podélných nosníků se spojení nosníku s kotvícím přípravkem provede pomocí šroubů, svarů nebo jejich kombinací. Stejný způsob se užívá pro spojení vrchní části závěsů a oblouku viz Obr. 1.38. [11]



Obr. 1.38 Způsoby kotvení kotvícího přípravku na ocelový oblouk [11]

Neméně důležitým prvkem návrhu je přechod oblouku do podélných táhel mostovky. V Případě betonové mostovky se využívá zpravidla ocelového svařovaného příčníku pro spřažení, přenesení enormního napětí a zakotvení podélného předpětí konstrukce viz Obr. 1.39.



Obr. 1.39 Pohled na ocelový příčník [11]

Významné stavby

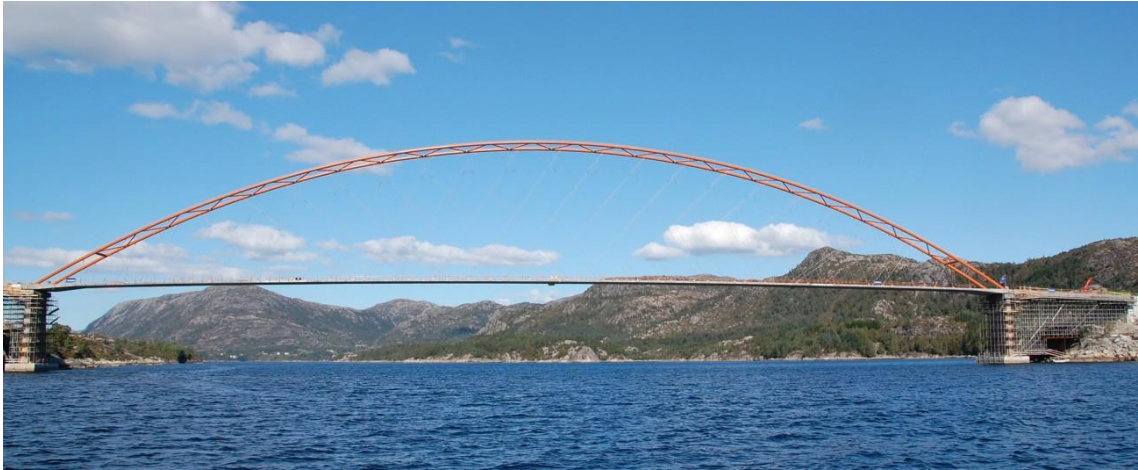
V Evropě bylo postaveno poměrně velké množství síťových oblouků. Po automatizaci výpočtu metody konečných prvků se tento konstrukční typ objevuje více. Ve světě je hlavní místem koncentrace síťových oblouků Japonsko.

Japonci mají malou zemi a je velmi důležité, aby stavěli krásné mosty. Oblouky mají skloněné směrem k sobě. Nazývají je Nielsen-Lohse. Možná nevědí, že O.F. Nielsen nikdy nekřížil závěsy mezi sebou. Ve většině japonských síťových obloucích jsou všechny závěsy skloněné pod stejným úhlem. Díky moderním metodám výpočtu je již snadné a ekonomičtější měnit sklony závěsů. [5]

Sít'ové obloukové mosty stojí nebo jsou ve výstavbě po celém světě v mnoha státech, jako je: Rakousko, Česká republika, Slovensko, Srbsko, Rumunsko, Španělsko, Lucembursko, Norsko, Německo, Polsko, Holandsko, Rusko, Nový Zéland, Argentina, Chile, Austrálie, Čína, Japonsko, Tchaj-wan, Filipíny, Šalamounovy ostrovy, Abu Dhabi, Bahraj a USA.



Obr. 1.40 Mapa výskytu mostů se sít'ovými oblouky v Evropě [8]



Obr. 1.41 Nejsubtilnější obloukový most na světě (Norsko). Rozpětí 220m [8]

Nejslavnějším mostem se síťovým obloukem v České republice je Trojský most přes řeku Vltavu. Převádí tramvajovou dopravu, 4 pruhovou městskou komunikaci, cyklisty a chodce. Svým rozpětím hlavního pole 200,4 m a šířkou 36 m se řadí mezi mosty s největším rozpětím hlavního pole v Česku. Vzepětí oblouku je pouhých 20 m, to s poměrem výšky ku délce konstrukce 1/10 řadí most ve své kategorii k nejplošším obloukům na světě. Nízké vzepětí vede k složitému systému napínání závěsů. V mostovce se nevyskytuje žádný běžný podélný ztužující prvek. Vzhledem k velké subtilnosti konstrukce mostu probíhá předpětí jak v podélném směru, tak v příčném směru v prefabrikovaných příčnicích. [7]



Obr. 1.42 Trojský most (Česká republika – Praha) [6]

2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE LÁVKY

Navrhovaná stavba se nachází v Karlových Varech v městské části Tuhnice, kde bude poskytovat propojení cyklostezky pro cyklisty a chodce přes řeku Ohře. Výběr varianty síťového oblouku proběhl na základě napodobení již současně stojící konstrukce ocelové obloukové lávky. Neopominutelným faktorem byl hojný výskyt zajímavých mostních konstrukcí v blízkém okolí.



Obr. 2.01 Lávka u KV Areny (Karlovy Vary) [9]

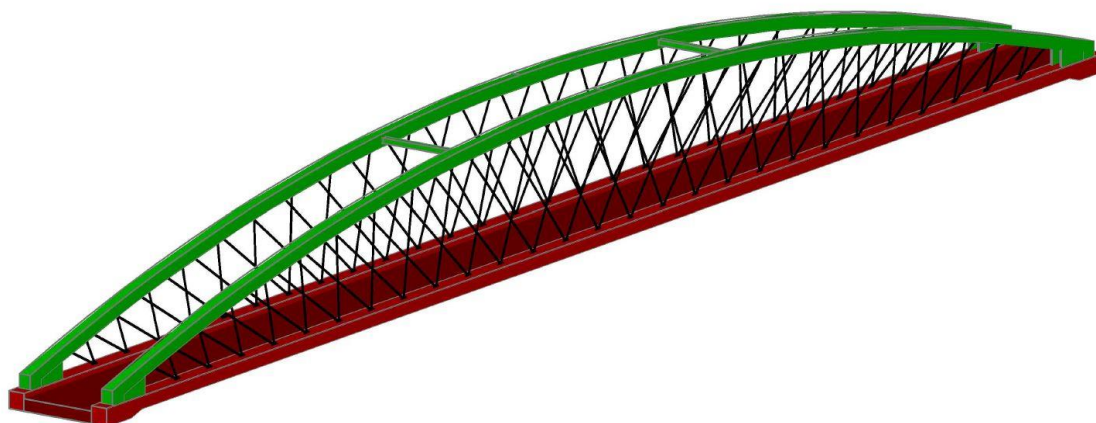


Obr. 2.02 Zavěšený most přes řeku Ohře [12]

2.1 Stručný popis lávky

Lávka o jednom poli je navržena jako prostý nosník tvořený síťovým obloukem. Konstrukce o rozpětí 45,0 m překračuje řeku Ohře. Šířka celé lávky je 5,0 m. Nosník oblouku je tvořen uzavřeným ocelovým průřezem se spodní zavěšenou železobetonovou předpjatou mostovkou s podélnými předepnutými železobetonovými nosníky působícími jako táhlo. Objekt je trvalý s omezenou volnou výškou. Na lávku je zamezeno vjezdu motorových vozidel.

Délka přemostění:	44,0 m
Délka mostu:	46,25 m
Teoretická délka konstrukce:	45,0 m
Volná šířka mezi zábradlím:	3,5 m
Šířka mostu:	5,0 m
Výška mostu nade dnem:	3,0 m
Stavební výška:	0,24 m
Zatížení mostu:	5kNm ⁻²



Obr. 2.1.1 3D Pohled. Zeleně ocel, červeně beton, černě táhla

2.2 Místní podmínky

Účelem stavby je propojení trasy pro pěší a cyklisty přes řeku Ohře. Trasa cyklistické a pěší stezky začíná v Tašovicích a končí v Drahovicích.

Lávka se nachází v intravilánu města a překonává koryto Ohře. Šířka koryta pod mostem je 35 m. Podélný spád řeky je 0,46 %. Terén je v řešeném území rovinatý krom koryta řeky. Trasa na lávce je vedena v přímé v 1,0 % stoupání ve směru Meandr.

Geologické podmínky pro vypracování projektu nebyly v místě stavby zjištěny. Výpočet spodní stavby není součástí této práce.



Obr. 2.2.1 Pohled na místo stavby [7]

3 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ MOSTU

3.1 Spodní stavba a založení mostu

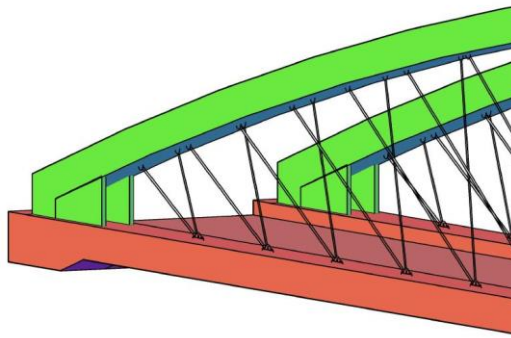
Spodní stavba bude provedena železobetonovým základem. Základ bude vetknut do podloží pomocí 4 vrtaných železobetonových pilot na každé straně založení lávky. Návrh spodní stavby není součástí této práce.

3.2 Prvky nosné konstrukce

3.2.1 Oblouky

Nosná konstrukce je tvořena dvojicí ocelových oblouků uzavřeného komorového profilu z oceli S355. Průřez je čtvercového tvaru o stálých vnějších neproměnných rozměrech 350x350 mm, tloušťka spodní a vrchní stěny 25 mm, tloušťka bočních stěn 13 mm viz Příloha A 21. Ocelový nosník má celkovou osovou výšku v ose uložení nad táhlem 300 mm u podpory a ve středu rozpětí má výšku 3750 mm. Poměr vzepětí ku délce konstrukce je roven 1/12. Oblouk je velmi plochý, proto je důležité zachytit všechny vodorovné normálové síly na koncích oblouků, aby reakce byly pouze svislé.

Nad osou uložení jsou oba oblouky příčně spojeny ocelovým příčnickem zabetonovaným do desky mostovky. V poli jsou oblouky nad vozovkou rozeprény dvěma ztužujícími příčníky ve vzdálenosti 16109 mm od osy krajní podpory. V místě přechodu oblouku do táhla je oblouk vyztužen dvěma svislými plechy tloušťky 15 mm a délky 1,0 m viz Příloha A 22.

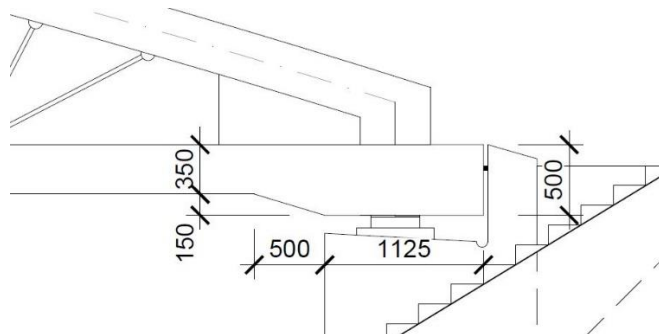


Obr. 3.2.1.1 Ztužující plechy oblouku

Ocelové svařované příčníky jsou navíc s výhodou použity pro kotvení podélného předpětí pro lepší spolupůsobení a přenesení normálových sil z oblouku. V ocelové konstrukci oblouku vzniká složitá prostorová napjatost. Stabilita ocelové konstrukce je zvýšena sprážením s betonem pomocí trnů, betonářské výztuže a ocelových perforovaných příčníků zabetonovaných do mostovky. [6]

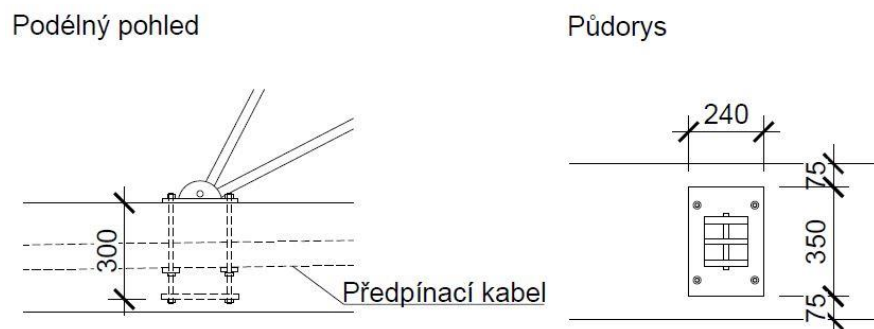
3.2.2 Mostovka

Mostovka je navržena jako přímo pochozí železobetonová deska z betonu C30/37 – XF3 tloušťky 200 mm s postranními předepnutými podélnými nosníky viz Příloha A 23. Tloušťka v místě příčníku je 500 mm, po 1125 mm se mění tloušťka na 350 mm. Přejchod tloušťky je na úseku dlouhém 500 mm.



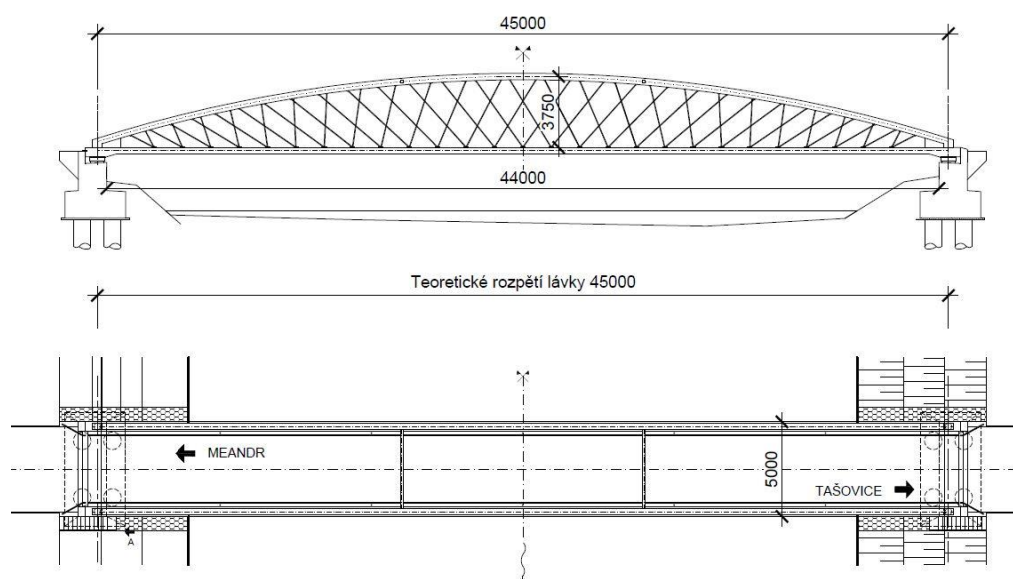
Obr. 3.2.2.1 Zvýšení tloušťky podélného táhla pro umístění ocelového příčníku

Mostovka je předepnuta v podélném směru. Do podélníků jsou zabetonovány závěsné ocelové prvky pro propojení mostovky a oblouku pomocí sítě závěsů.

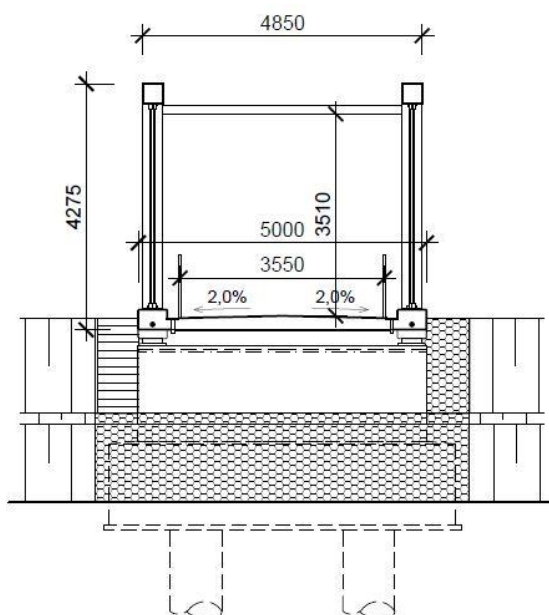


Obr. 3.2.2.2 Kotvicí přípravek

Střední část v příčném řezu mostovky je určena, jako pochozí plocha pro chodce šířky 3500 mm. Na lávce je střešovitý příčný sklon 2,0 %. Povrch mostovky tvoří přímo pochozí stříkaná izolace viz Příloha B B3.



Obr. 3.2.2.3. Podélný pohled nahoře. Půdorys dole.



Obr. 3.2.2.4 Příčný řez

3.2.3 Předpětí

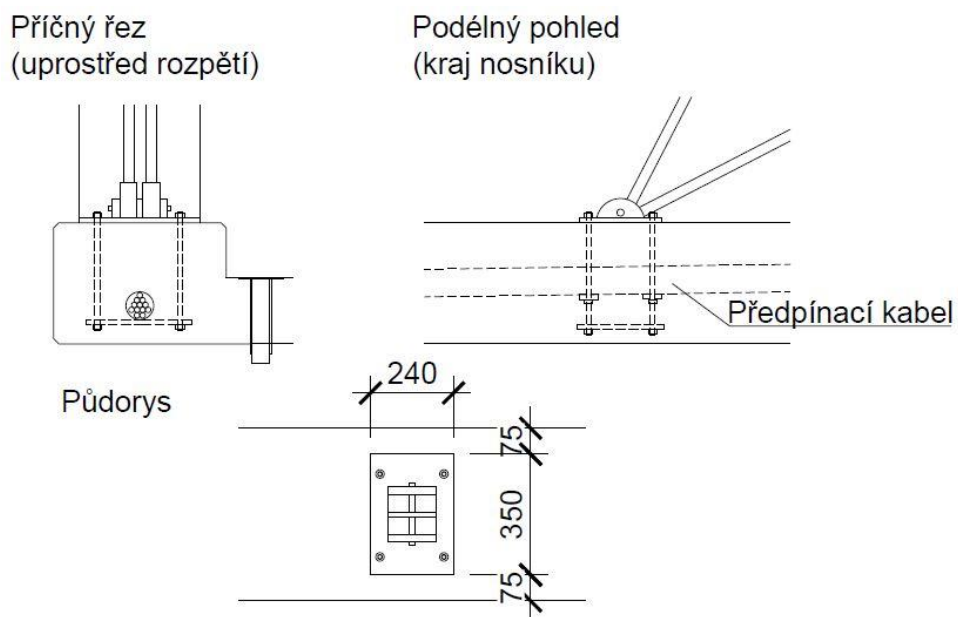
Krajní podélné nosníky mostovky plní funkci táhla oblouku a je v nich umístěno předpětí. Pásky jsou předepnuté předpínací výztuží Y1860S7. V každém krajním nosníku je právě jeden předpínací kabel s 15 lany o průměru 15,3 mm a celkové ploše 2100 mm² viz Příloha A 7. Předpínací výztuž je ukotvena do ocelových koncových příčníků k dostatečnému pochycení normálových sil a zajištění tlakového napětí v betonu. Kabley jsou umístěny v ocelových korugovaných trubkách pro jejich ochranu.

Podélné předpětí je navrženo na zachycení vodorovné síly a zajištění tlakové rezervy v mostovce po celou dobu její životnosti. Tím zvyšuje její trvanlivost.

3.2.4 Závěsy

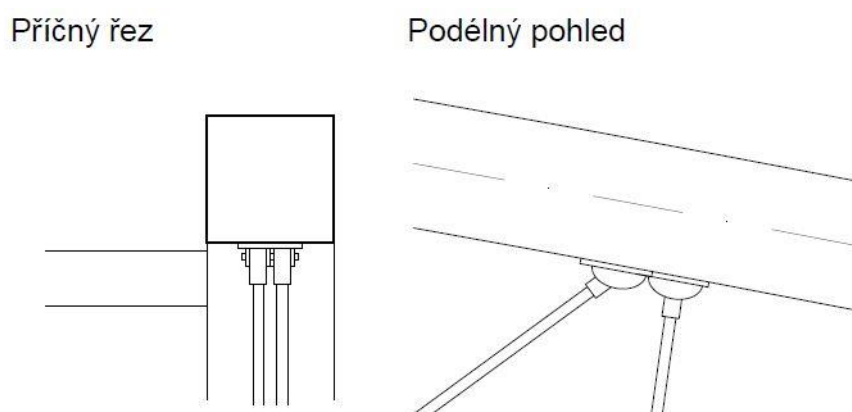
Mostovka je na oblouk zavěšena pomocí šikmých tyčových prutů. Společně přenášejí vodorovnou obloukovou sílu. Průměr závěsu je 30 mm viz Příloha A 24. Na jednom oblouku je 54 závěsů. Délky se pohybují od 950 mm do 4480 mm. Vzdálenost upevnění na mostovce je po 1500 mm. Závěsy jsou v horní části přivařeny k oblouku a v dolní části jsou zabetonovány do postranních nosníků mostovky pomocí kotvících přípravků. Do závěsů je vneseno předpětí pro jejich aktivaci na konstrukci.

Kotvení závěsů ve spodní části je provedeno pomocí zabetonovaných kotvících přípravků. Řešení umožňuje výškové nastavení podélného předpětí.



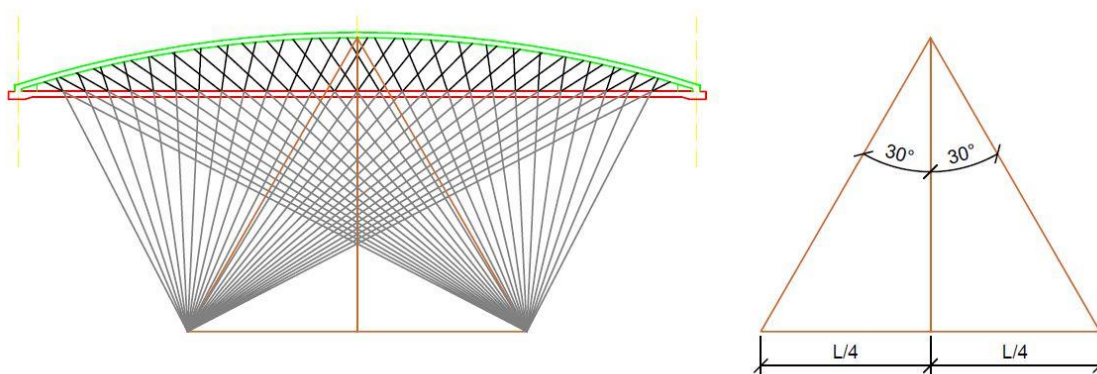
Obr. 3.2.4.1 Kotvící přípravek

Propojení závěsů s obloukem provedeme pomocí koutového svaru. Roznášecí destička závěsu bude přivařena ke spodní pásnici ocelového průřezu oblouku. V případě zvýšení únosnosti spoje můžeme zkombinovat spojení s mechanickým propojením pomocí šroubů.



Obr. 3.2.4.2 Kotvící přípravek v místě spojení s obloukem

Táhla jsou uspořádána do podoby sítě viz Obr. 3.2.4.3 kříží se mezi sebou nejméně jednou.



Obr. 3.2.4.3 Schéma návrhu sítě

3.2.5 Zavětrování oblouků

Vzájemné propojení oblouků nad vozovkou zavedeme pomocí uzavřených profilů o rozměrech 150x150 mm a tloušťce stěny 7 mm. Ztužení je provedeno v poli ve vzdálenosti 16109 mm od osy teoretické podpory symetricky na obou stranách konstrukce. Ztužení ve spodní části oblouku zajišťuje spolupůsobení s mostovkou pomocí perforovaného profilu I 100 přivařeného k ocelovému příčnicku. Koncové příčníky jsou propojeny a vetknuty do mostovky. V ose uložení oblouku jsou osazené kalibrační lany pro montáž a stabilizaci oblouku při výstavbě.

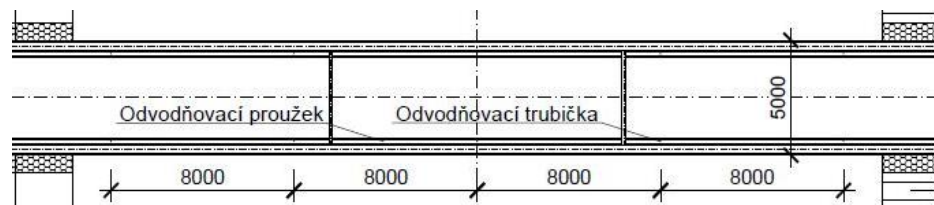


Obr. 3.2.5.1 Ocelový svařovaný příčník

3.3 Vybavení mostu

3.3.1 Odvodnění mostu

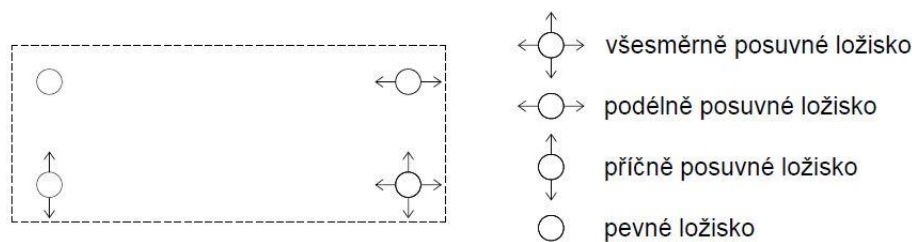
Voda z mostovky je odvedena přímo do řeky pomocí zabetonovaných odvodňovacích trubiček viz Vzorový list 4-406.11. Trubičky jsou osazovány po 8 m symetricky na obou stranách mostovky. Prostor mezi zábradlím a zvýšenou obrubou desky v krajní části tvoří odvodňovací žlábek zaústěující do odvodňovací trubičky v desce viz Příloha B.3. Odvodnění povrchu mostovky zajišťuje 2,0 % příčný sklon.



Obr. 3.3.1.1 Umístění odvodňovacích trubiček

3.3.2 Ložiska

Oba konce oblouku jsou spojeny s ocelovým příčnickem. Příčnick je přímo položen na hrncová ložiska.



Obr. 3.3.2.1 Schéma umístění ložisek

3.3.3 Mostní závěry

Na obou koncích lávky je navržen kobercový mostní závěr, umožňující vodorovné posuny konce mostu vůči opěře. Mostní závěr je navrhnut na dilatační posun 80 mm viz Příloha A 25.

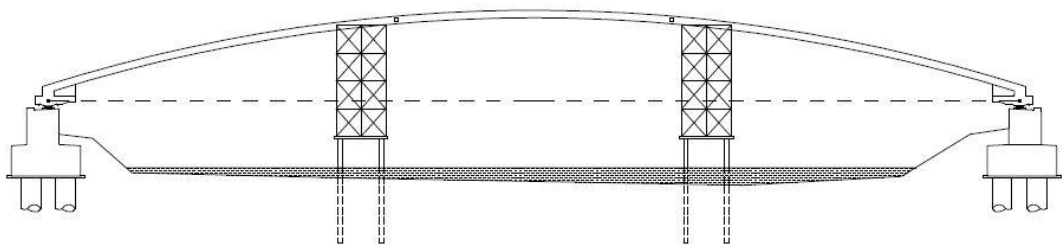
3.3.4 Zábradlí

Lávka je osazena ocelovým zábradlím se svislou výplní. Horní madlo zábradlí je ve výšce 1100 mm. Výplň zábradlí je navržena tak, aby uživatel konstrukce nepřišel k úrazu.

4 VÝSTAVBA MOSTU

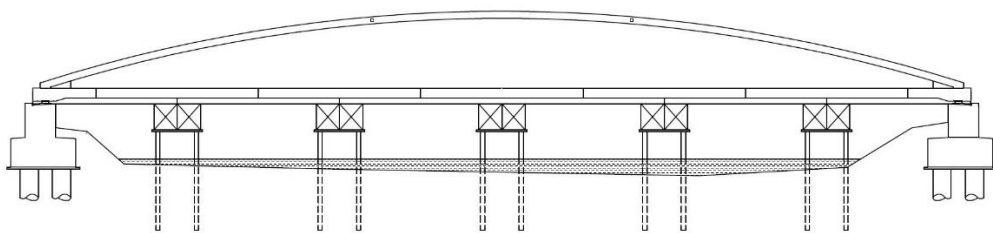
Konstrukce vzájemně spolupůsobí, a tím získává svou celkovou tuhost a únosnost. Části lávky jsou relativně subtilní (oblouk, deska, závěsy) a bez vhodného spojení či absence jednoho prvku nejsou samonosné. [6]

Nejprve provedeme založení a spodní stavbu mostu. Hlavní nosná konstrukce bude zahájena výstavbou ocelových oblouků. Po vybetonování základů a opěr budou jeřábem osazeny díly oblouků. Ty se spojí na dočasných podpěrách. Kalibrace jejich rozpětí bude provedena podélnými lany, která jsou osazeny na ztužujícím příčníku mezi oblouky v místě podpěr.



Obr. 4.1 Osazení ocelových oblouků s dočasnými podpěrami pro jejich spojení.

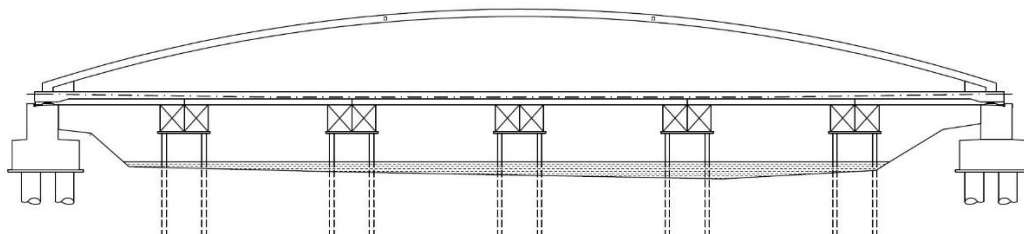
Po přesném osazení oblouků plyne omezení z osazení podpěr do řeky. Jedná se o klidný mělký tok. V korytě řeky bude osazeno 5 plošin, každá o 4 zaberaněných pilotách do dna řeky. Na tyto plošiny bude osazen systém bednění, které bude podepírat mostovku během betonáže a vnášení předpětí do podélných nosníků.



Obr. 4.2 Osazení podpěrného systému

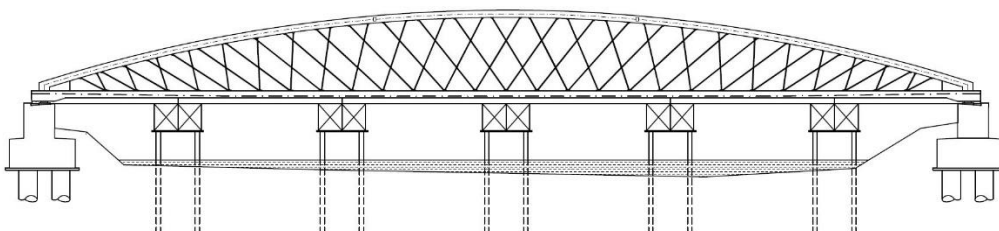
Mostovka bude betonována na místě. Betonáž desky bude rozdělena na 7 částí. Koncové oblasti nad příčníky jsou betonovány zvlášť, a to na délku 2,5 m. Zbytek betonáže v poli je navržen po 8 metrech. V podélném nosníku se osadí kanálek pro

předpínací výztuž a kotvící přípravky závěsů. V koncovém příčniku již bude připraven kanálek pro předpínací výztuž. V předpokládaném stáří 14 dní vybetonované konstrukce se vnese napětí do předpínací výztuže.



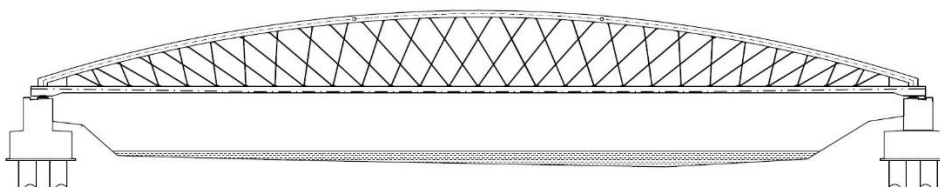
Obr. 4.3 Předepnutí konstrukce

Dále se nainstalují závěsy, které spřáhnou mostovku s obloukem. Důležitá je správná kalibrace každého závěsu pro fungování sítě.



Obr. 4.4 Instalace závěsů

Po dosažení požadované pevnosti v betonu je možné spustit podpory dolů.



Obr. 4.5 Výsledný stav konstrukce

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývala návrhem lávky pro chodce tvořený síťovým obloukem. Byla snaha, k napodobení současné lávky, která se již nachází v Karlových Varech i přes jisté komplikace vznikající zvolením nízkého vzepětí oblouku.

V rámci této práce byly navrženy rozměry hlavních nosných prvků lávky a proveden následný jejich posudek. Statický výpočet byl proveden pomocí počítačového programu Scia Engineer. Pro výpočet nebyl uvažován vliv sněhu a větru na konstrukci.

Síťový oblouk je velmi krásná a specifická konstrukce. O to více musíme dbát na preciznost našeho návrhu. Předjdeme tak zbytečným komplikacím při výstavbě i v běžném provozu stavby. Připravili bychom se o jedinečné výhody této konstrukce.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HANA, Malachová. Veřejná správa a její fungování v krizových situacích: Ministerstvo dopravy. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Most>
- [2] KARMAZÍNOVÁ, M.; BAJER, M.; ŠMAK, M.; SÝKORA, K.; PILGR, M.; VESELKA, M., Konstrukce a dopravní stavby, , VUT v Brně, Fakulta stavební, Brno, 2004
- [3] TVEIT, Per. *ABOUT THE NETWORK ARCH* [online]. 2011 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://home.uia.no/pert/data/About%20the%20network%20arch.pdf>
- [4] TVEIT, Per. *Efficient Utilisation of Optimal Network Arches* [online]. [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://home.uia.no/pert/data/Efficient%20Utilisation%20of%20Optimal%20Network%20Arches.pdf>
- [5] TVEIT, Per. *The Network Arch: Bits of Manuscript in March 2014 after Lectures in 50+ Countries* [online]. , 142 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://home.uia.no/pert/data/The%20Network%20Arch%2019-08-2014.pdf>
- [6] VRÁBLÍK, Lukáš, Milan ŠÍSTEK, Jan MUKAŘOVSKÝ, Jakub RŮŽIČKA, David MALINA, Jiří LUKEŠ a Tomáš WANGLER. NOVÝ TROJSKÝ MOST V PRAZE – ANALÝZA KONSTRUKCE BĚHEM VÝSTAVBY. *BETON TKS* [online]. 2013, **4/2013**, 14 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2013-4-86_0.pdf
- [7] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=12.8438719&y=50.2288518&z=17&l=0>
- [8] TVEIT, Per. *Information on the Network Arch* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://home.uia.no/pert/index.php/Home>

- [9] Google.cz/maps [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/Karlovy+Vary/@50.22433,12.8429792,3a,60y,28.98h,83.91t/data=!3m6!1e1!3m4!1s6uJZPbOxrsEgaJJir8GMvQ!2e0!7i13312!8i6656!4m5!3m4!1s0x47a099405da94d43:0x284baf8a43d431d0!8m2!3d50.2318521!4d12.8719616>
- [10] Stavby Karlovarského kraje: Víceúčelová lávka Meandr Ohře - Interspar. *Stavby Karlovarského kraje* [online]. [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.stavbykarlovarska.cz/cz/hlasovani/viceucelova-lavka-meandr-ohre-interspar-193>
- [11] TVEIT, Per. *Systematic Thesis on Network Arches* [online]. , 98 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://home.uia.no/pert/data/Systematic%20Thesis%20on%20Network%20Arches%2009-09-14.pdf>
- [12] Zavěšený most přes Ohři na I. etapě silničního propojení Tuhnice-Rybáře, Karlovy Vary: Informace o projektu. *SMP CZ* [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <http://www.smp.cz/referencni-projekty/detail/zaveseny-most-pres-ohri-na-i-etape-silnicniho-propojeni-tuhnice-rybare-karlovy-vary>

7 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – výpočtová část

Statický výpočet

Příloha B – výkresová část

B1	Podélný řez	1:50
B2	Půdorys	1:100
B3	Příčný řez	1:50
B4	Výkres předpínací výztuže	1:100
B5	Výkres výztuže mostovky	1:50

STATICKÝ VÝPOČET

Příloha A

kapitola/odstavec	str.
1 Úvod	3
1.2 Identifikační údaje mostního objektu	
1.3 Popis konstrukce	
2 Geometrie, materiálové charakteristiky	4
2,1 Geometrie konstrukce	
2,2 Materiálové charakteristiky	
3 Zatěžovací stavy na 1/2 konstrukce	8
3.1 Vlastní tíha a ostatní stálé zatížení (na 1/2 konstrukce)	
3.2 Zatížení chodci (na 1/2 konstrukce)	
3.3 Klimatické zatížení (na 1/2 konstrukce)	
4 Kombinace vnitřních sil	12
4.1 Kombinace zatížení pro MSÚ	
4.2 Kombinace zatížení pro MSP	
5 Vnitřní síly	13
5.1 Vnitřní síly od MSÚ	
5.2 Vnitřní síly od MSP	
6 Napětí v betonu	18
6.1 Napětí v betonu v MSP - častá kombinace	
6.2 Napětí v betonu v MSP - charakteristická kombinace	
6.3 Napětí v betonu na konci životnosti v MSP - charakteristická kombinace	
7 Určení únosnosti oblouku	21
8 Únosnost ztužujícího prvku oblouku	22
9 Určení únosnosti desky v příčném směru	23
10 Určení únosnosti závěsu	24
11 Návrh mostního závěru	25
12 Deformace konstrukce	26
12.1 Průhyb konstrukce	
12.2 Dynamika konstrukce	
12 Závěr	27
12.1 Závěr	
12.2 Použité programy	

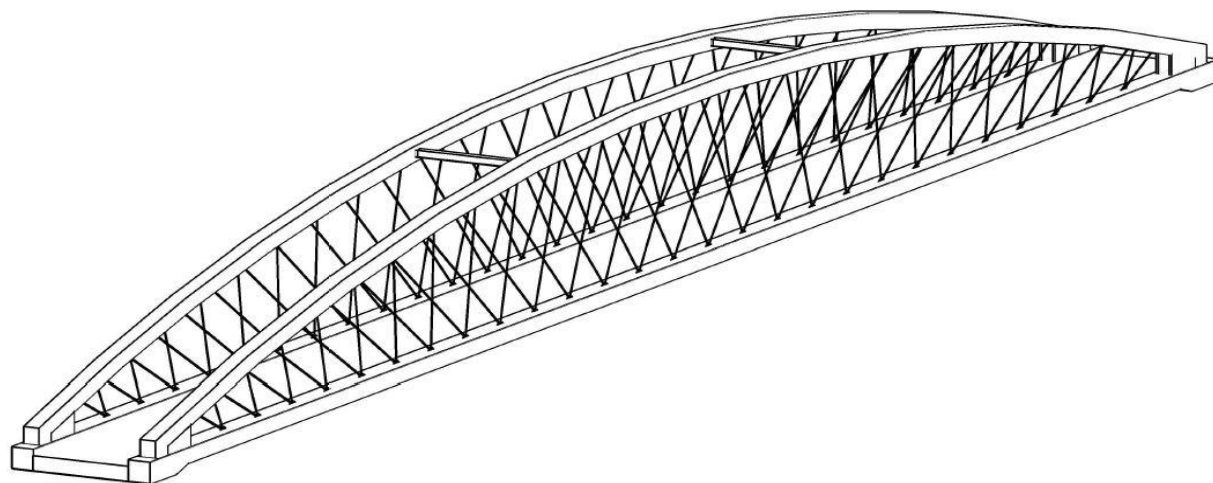
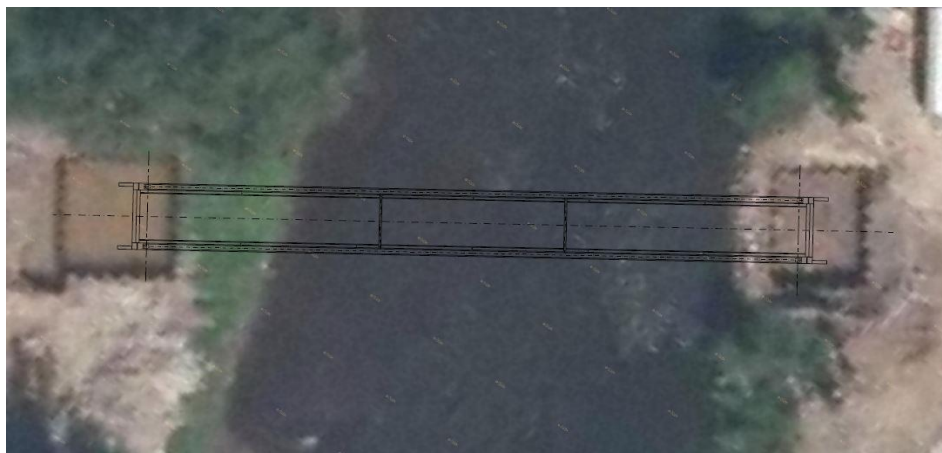
1 Úvod

1.1 Identifikační údaje mostního objektu

Lokalita:	Karlovy Vary
Typ	Lávka pro pěší
Typ překážky	řeka Ohře
Úhel křížení	83°
Délka přemostění	44 m
Délka teoretického rozpětí	45 m
Typ zatížení	Cyklistická stezka

1.2 Popis konstrukce

Cílem statického výpočtu je návrh hlavních konstrukčních prvků lávky pro pěší v Karlových Varech přes řeku Ohře. Nosná konstrukce je tvořena dvěma ocelovými síťovými oblouky. Vznikající normálové síly v patách oblouku jsou přeneseny předepnutými kabely v železobetonové mostovce. Mostovka je zavěšena na oblouky pomocí sítě závěsů, které jsou upevněné do oblouků pomocí kotvicích přípravků. Oblouky jsou rozepřeny příčnicky pro vyšší stabilitu.



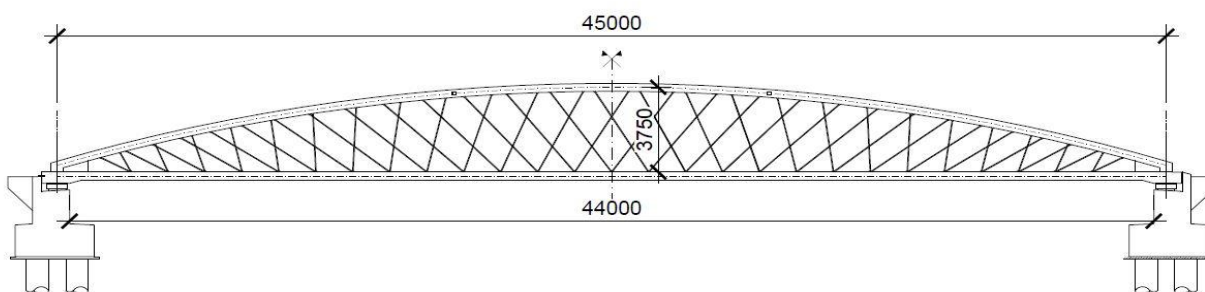
2 Geometrie, materiálové charakteristiky

2.1 Geometrie konstrukce

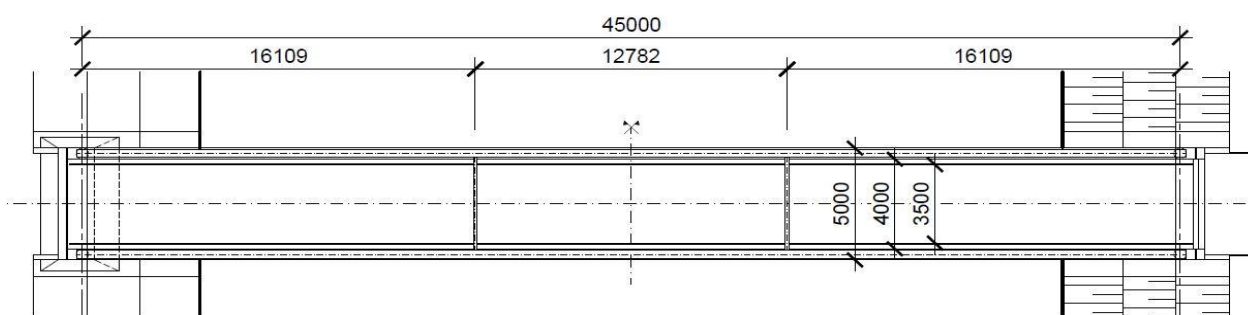
Posuzovanou konstrukcí je prostě uložený rám - oblouk se spodním táhlem. Táhleno je ze železobetonu s předpínací výztuží v krajních nosnících. Oblouky jsou tvořeny ocelovým čtvercovým dutým průřezem. Ocelové závěsy propojují táhleno s obloukem.

podélný směr	$L_1 = 45,00$	m
příčný směr	$L_2 = 5,00$	m
zatěžovací šířka chodci	$L_3 = 3,50$	m
vzepětí oblouku	$f = 3,75$	m
poměr vzepětí	$p = 8,3$	%

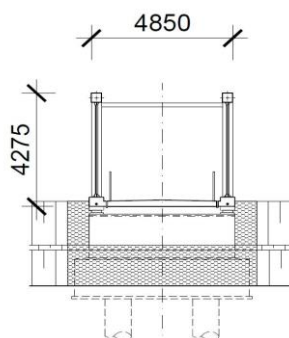
podélný řez



půdorys



příčný řez



- popis statického modelu

Celá konstrukce je modelována jako prutová. Všechny tvary prvků, byly importovány z programu Autocad

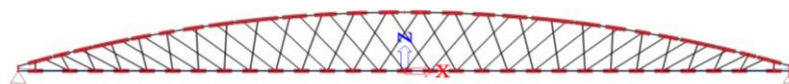
Model byl vytvořen jako rámová konstrukce v rovině XZ. Každému prvku byl přidělen odpovídající průřez.

Z hlediska statické určitosti je konstrukce vnitřně neurčitá. Celá konstrukce působí jako staticky určitá. Na jednom kraji mostovky podepřena posuvnou podporou a na druhém kraji kloubovou podporou.

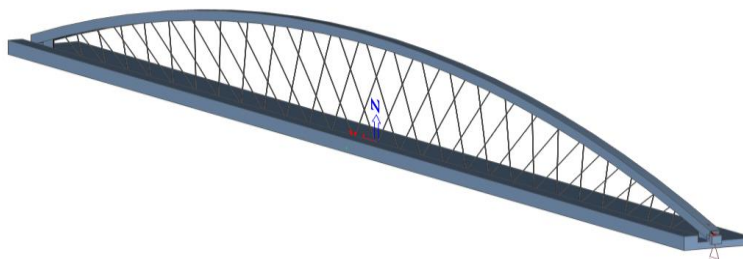
Závěsy jsou namáhány pouze osovými silami. Předpětí je vneseno dodatečně předpínaným kabelem.

Pro potřebu výpočtu model charakterizuje pouze polovinu celé konstrukce mostu podélně rozdělou podle osy mostu.

- 2D model v rovině XZ



- 3D model pohled



2. 2 Materiálové charakteristiky

• beton C 30 / 37 - XF3 - Cl 0,2 - Dmax 16mm - S3

	objemová tíha betonu	γ_c	=	25,0	kN/m ³
	redukční součinitel	α	=	0,9	-
	součinitel materiálu	γ_M	=	1,50	-
	mezní přetvoření	ε_{cu3}	=	-3,50	%
charakteristická	pevnost v tlaku	f_{ck}	=	30,0	MPa
střední hodnota	pevnost v tahu	f_{ctm}	=	2,90	MPa
dolní kvantil	pevnost v tahu	$f_{c,t,k0,05}$	=	2,03	MPa
střední hodnota	pevnost v tlaku	f_{cm}	=	38,0	MPa
střední hodnota	modul pružnosti	E_{cm}	=	32,8	GPa

návrhová pevnost v tlaku

$$f_{cd} = \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} \alpha = 18,0 \text{ MPa}$$

návrhová pevnost v tahu

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_M} = 1,35 \text{ MPa}$$

• betonářská výztuž B500B

	objemová tíha oceli	γ_s	=	78,5	kN/m ³
	součinitel materiálu	γ_M	=	1,15	-
charakteristická	mez kluzu	f_{yk}	=	500	MPa
	modul pružnosti	E_s	=	200	GPa
	mezní přetvoření	ε_{yd}	=	2,17	%

návrhová mez kluzu oceli

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 435 \text{ MPa}$$

• konstrukční ocel

	objemová tíha oceli	γ_s	=	78,5	kN/m ³
	součinitel materiálu	γ_M	=	1,00	-
	mez kluzu	f_{yk}	=	355	MPa
	modul pružnosti	E_s	=	210	GPa

návrhová mez kluzu oceli

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = 355 \text{ MPa}$$

• **předpínací výztuž (deska mostovky)**

průměr lana	\emptyset	=	15,3	mm
plocha jednoho lana	A_{p1}	=	140	mm ²
součinitel materiálu	γ_M	=	1,15	-
tahová pevnost	f_{pk}	=	1860	MPa
modul pružnosti	E_s	=	195	GPa

smluvní mez kluzu

$$f_{p0,1k} = f_{pk} \times 0,88 = 1637 \text{ MPa}$$

návrhová pevnost

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_M} = 1423 \text{ MPa}$$

○ maximální přípustné napětí v předpínací výztuži během předpínání

$$\sigma_{pmax} = \min(0,8 \times f_{pk}; 0,9 \times f_{p0,1k}) = 1473 \text{ MPa}$$

○ maximální přípustné napětí v předpínací výztuži bezprostředně po vnesení předpětí do betonu

$$\sigma_{pm0(x)} = \min(0,75 \times f_{pk}; 0,85 \times f_{p0,1k}) = 1391 \text{ MPa}$$

3 Zatěžovací stavy na 1/2 konstrukce

Vlastní tíha a ostatní stálé zatížení (na 1/2 konstrukce)

000	g_0	vlastní tíha konstrukce
001	g_1	zařízení mostu
002	g_2	předpětí desky
003	g_3	předpětí sítě

Zatížení chodci (na 1/2 konstrukce)

101	q_1	zatížení chodci
-----	-------	-----------------

Klimatické zatížení (na 1/2 konstrukce)

102	q_2	zatížení teplotou
103	q_3	zatížení rovnoměrnou teplotou (návrh mostního závěru)

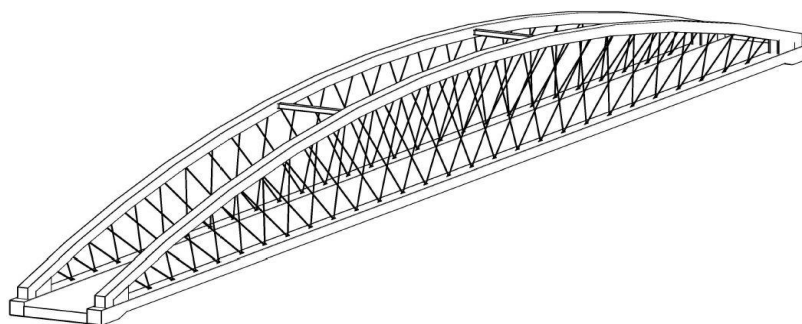
3.1 Vlastní tíha a ostatní stálé zatížení (na 1/2 konstrukce)

- **000** g_0 vlastní tíha konstrukce

Spočtena programem Scia Engineer.

objemová tíha betonu
objemová tíha oceli

$$\gamma_c = 25,0 \text{ kN/m}^3$$
$$\gamma_s = 78,5 \text{ kN/m}^3$$



- **001** g_1 zařízení mostu

Do stálého zařízení mostu spadá zábradlí a odvodnění mostu.

tíha zařízení

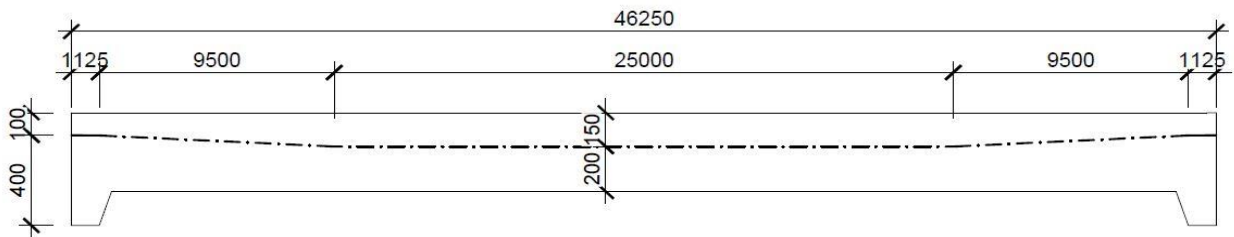
$$f_g = 0,5 \text{ kN/m}$$

počet kabelů
 počet lan v kabelu
 plocha jednoho lana
 celková plocha předp. výzt.

• **002 g₂ předpětí desky**

n = 1 ks
 n_s = 15 ks
 A_{p1} = 140 mm²
 A_p = 2100 mm²

- geometrie předpínacího kabelu



• **003 g₃ předpětí sítě**

Pro minimalizování vzniku nežádoucích sil je do závěsů vneseno předpětí. Předpětí je rozděleno do 6 skupin. Vlivem spolupůsobení síťového uspořádání se napětí rozloží do okolních prvků.

Předpětí se navrhovalo jako kompenzace účinků od zatížení na konstrukci. Výpočetní model pracuje na základě ochlazování závěsů sítě. Tím vnášíme do prvku požadované napětí. Výpočet vychází z předpokladu:

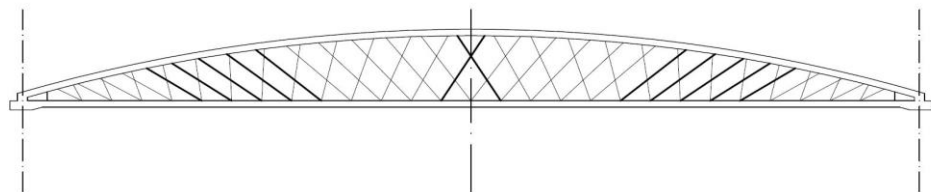
$\alpha_T = 12 \cdot 10^{-6}$
 E = 210 GPa
 A = 707 mm²

poměrné přetvoření od změny teploty $\epsilon_T = \alpha_T \times \Delta T$
 napětí od změny teploty $\sigma_T = \epsilon_T \times E$
 vyvozená síla od napětí $F = \sigma_T \times A$

$$F = \alpha_T \times \Delta T \times E \times A$$

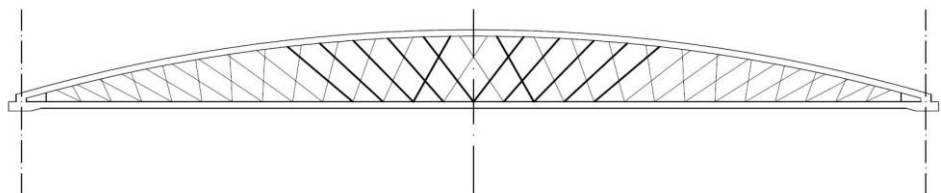
- skupina 1

$$F_1 = 97,97 \text{ kN}$$

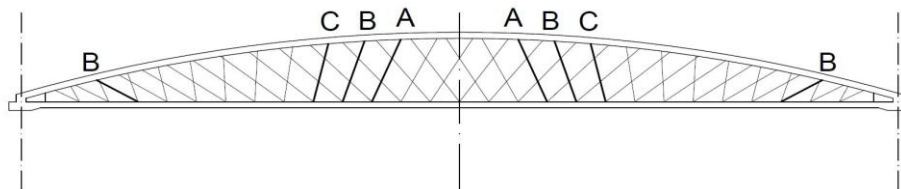


- skupina 2

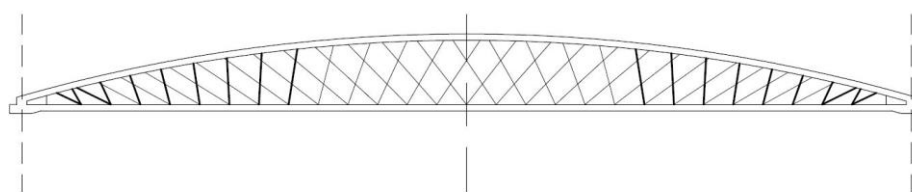
$$F_2 = 89,07 \text{ kN}$$



- skupina 3,4,5
 - $F_{3,A} = 80,16 \text{ kN}$
 - $F_{4,B} = 71,25 \text{ kN}$
 - $F_{5,C} = 62,35 \text{ kN}$



- skupina 6
 - $F_{6,A} = 80,16 \text{ kN}$



3. 2 Zatížení chodci (na 1/2 konstrukce)

- 101 q_1 zatížení chodci

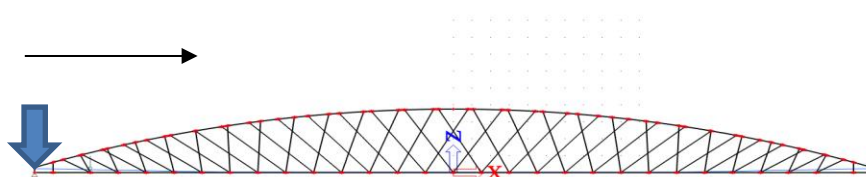
poloviční šířka zatížená chodci

$$f_{ch} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$L_3 = 1,75 \text{ m}$$

$$f = 8,75 \text{ kN/m}$$

zatížení chodci bylo uvažováno jako pohyblivé



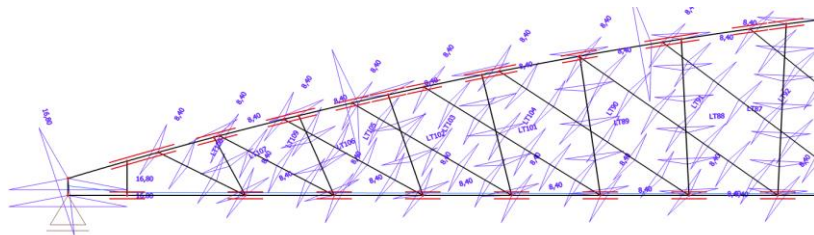
3.3 Klimatické zatížení (na 1/2 konstrukce)

- **102 q_2 zatížení teplotou**

Bylo uvažováno jen rozdílné oteplení/ochlazení jednotlivých částí konstrukce.

Deska jako masivní prvek si udrží průměrnou roční teplotu v Karlových Varech. Nejvyšší průměrnou teplotou je ohřátý oblouk. Závěsy budou průměrem teplot oblouku a desky.

prvek	absolutní teplota	relativní teplota
deska	19,3°C	0°C
oblouk	36,1°C	16,8°C
zavěsy	27,7°C	8,4°C



- **103 q_3 zatížení rovnoměrnou teplotou (návrh mostního závěru)**

Zatížení rovnoměrnou teplotou působí na celé konstrukci.

- Teplota

$$T_{\max} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\min} = -32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

teplota při osazení MZ

4 Kombinace vnitřních sil

Vzhledem k poměru velikosti zatížení od teploty k velikosti zatížení chodci, není uvažována taková kombinace zatížení, ve které je zatížení teplotou uvažováno jako hlavní proměnné zatížení.

4.1 Kombinace zatížení pro MSÚ

viz Norma EN 1990

- **trvalá návrhová situace**

rovnice 6.10

$$\sum_{j \geq 1} g_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + g_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} g_{Q,i} \gamma_{0,i} Q_{k,i}$$

kombinace			
γ_G/γ_Q	ψ_0 / ξ	zatěžovací stav	
		ozn.	popis
1,35	1,00	000	vlastní tíha konstrukce
1,35	1,00	001	zařízení mostu
1,00	1,00	002	předpětí desky
1,50	1,00	101	zatížení chodci
1,50	0,60	102	zatížení teplotou

4.2 Kombinace zatížení pro MSP

viz Norma EN 1990

- **častá kombinace**

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

kombinace			
γ_G/γ_Q	ψ_0 / ξ	zatěžovací stav	
		ozn.	popis
1,00	1,00	000	vlastní tíha konstrukce
1,00	1,00	001	zařízení mostu
1,00	1,00	002	předpětí desky
1,00	0,40	101	zatížení chodci
1,00	0,00	102	zatížení teplotou

- **charakteristická kombinace**

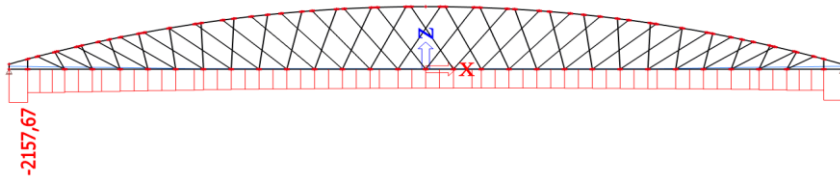
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

kombinace			
γ_G/γ_Q	ψ_0 / ξ	zatěžovací stav	
		ozn.	popis
1,00	1,00	000	vlastní tíha konstrukce
1,00	1,00	001	zařízení mostu
1,00	1,00	002	předpětí desky
1,00	1,00	101	zatížení chodci
1,00	0,60	102	zatížení teplotou

Rovnice 6.10

• normálová síla

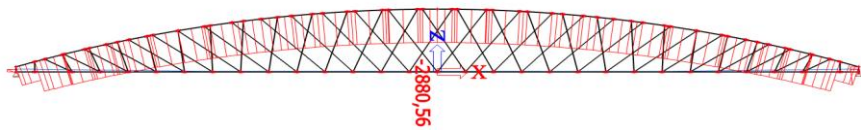
- deska

 N_k - síla na kraji N_p - síla uprostřed rozpětí

$$N_k = -2158 \text{ kN}$$

$$N_p = -1229 \text{ kN}$$

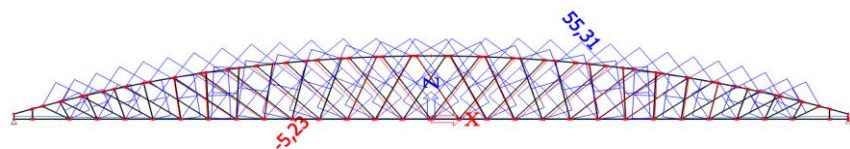
- oblouk



$$N_k = -2646 \text{ kN}$$

$$N_p = -2881 \text{ kN}$$

- závěsy

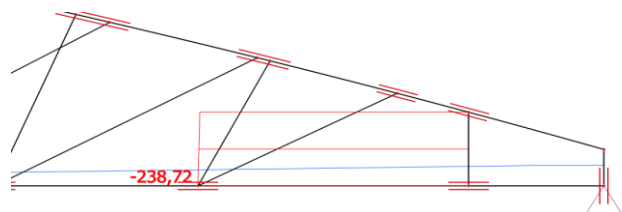


$$N_{\max} = 55,31 \text{ kN}$$

$$N_{\min} = -5,23 \text{ kN}$$

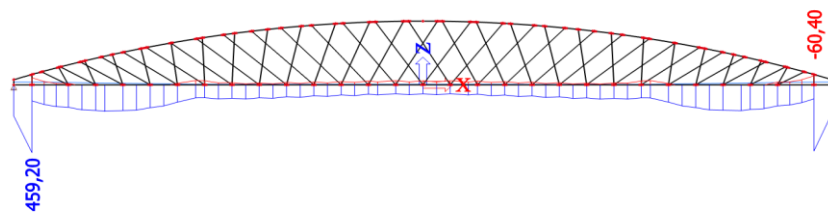
- Krajní ztužující plát oblouku

$$N_{\max} = -239 \text{ kN}$$



- ohybový moment

- deska



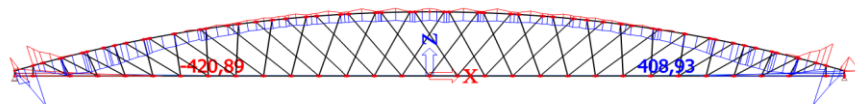
$$M_{k,1} = 459 \text{ kNm}$$

$$M_{p,1} = 68 \text{ kNm}$$

$$M_{k,2} = -60 \text{ kNm}$$

$$M_{p,2} = -27 \text{ kNm}$$

- oblouk



$$M_{k,1} = -421 \text{ kNm}$$

$$M_{p,1} = -10 \text{ kNm}$$

$$M_{k,2} = 409 \text{ kNm}$$

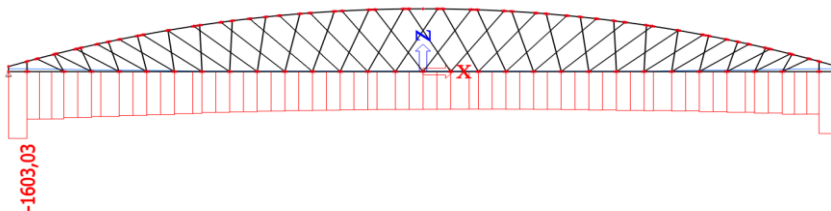
$$M_{p,2} = 31 \text{ kNm}$$

5. 2 Vnitřní síly od MSP

častá kombinace

- normálová síla

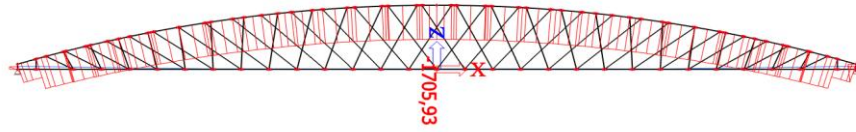
- deska



$$N_k = -1603 \text{ kN}$$

$$N_p = -906,5 \text{ kN}$$

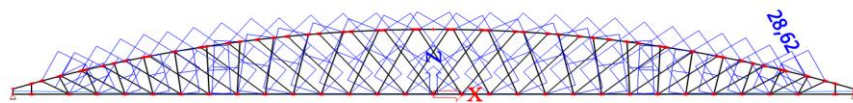
○ oblouk



$$N_k = -960 \text{ kN}$$

$$N_p = -1706 \text{ kN}$$

○ závěsy

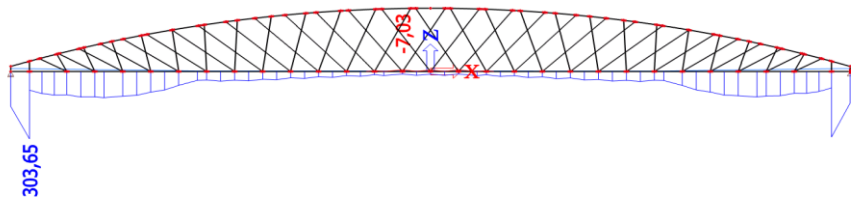


$$N_{\max} = 28,62 \text{ kN}$$

$$N_{\min} = \text{bez tahu}$$

● **ohybový moment**

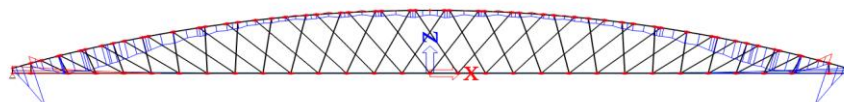
○ deska



$$M_{k,1} = 304 \text{ kNm}$$

$$M_{p,1} = -7 \text{ kNm}$$

○ oblouk



$$M_{k,1} = 42 \text{ kNm}$$

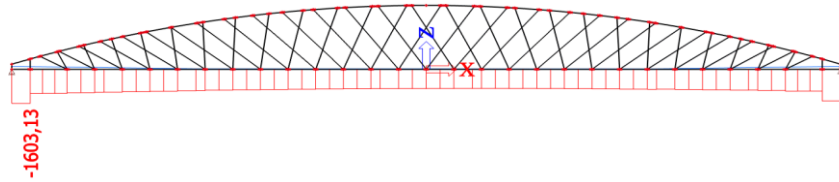
$$M_{p,1} = 15 \text{ kNm}$$

$$M_{k,2} = -14 \text{ kNm}$$

charakteristická kombinace

- normálová síla

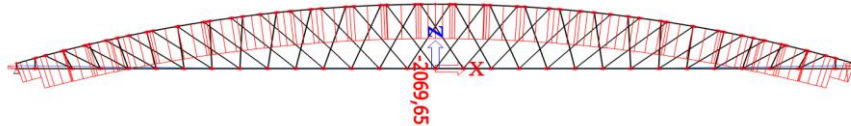
- deska



$$N_k = -1603 \text{ kN}$$

$$N_p = -907,7 \text{ kN}$$

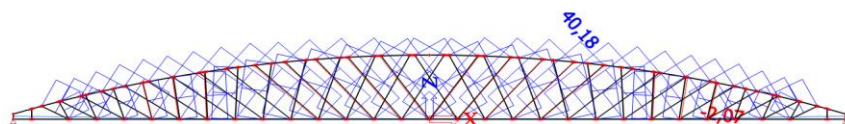
- oblouk



$$N_k = -1195 \text{ kN}$$

$$N_p = -2070 \text{ kN}$$

- závěsy

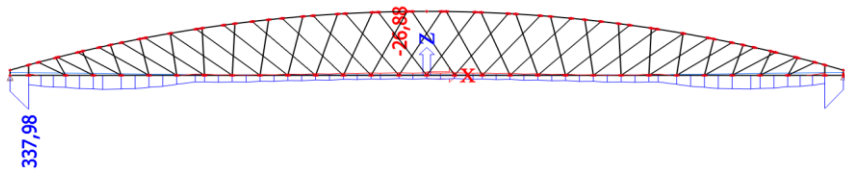


$$N_{\max} = 40,20 \text{ kN}$$

$$N_{\min} = -2,07 \text{ kN}$$

• ohybový moment

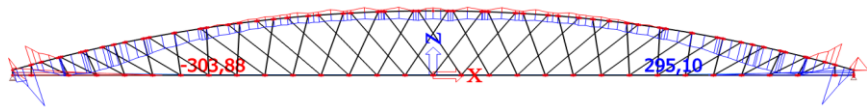
○ deska



$$M_{k,1} = 338 \text{ kNm}$$

$$M_{p,1} = -27 \text{ kNm}$$

○ oblouk



$$M_{k,1} = 295 \text{ kNm}$$

$$M_{p,1} = 22 \text{ kNm}$$

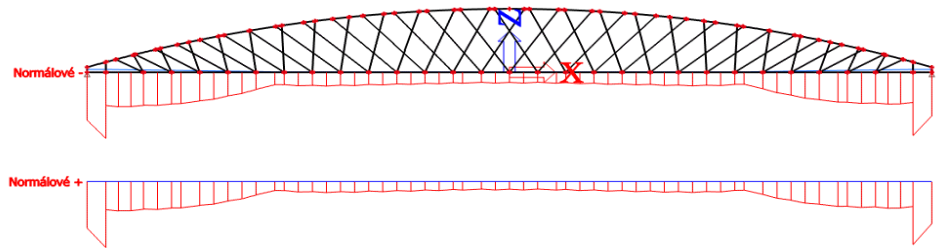
$$M_{k,2} = -304 \text{ kNm}$$

$$M_{p,2} = -7 \text{ kNm}$$

6 Napětí v betonu

6.1 Napětí v betonu v MSP - častá kombinace

• horní vlákna



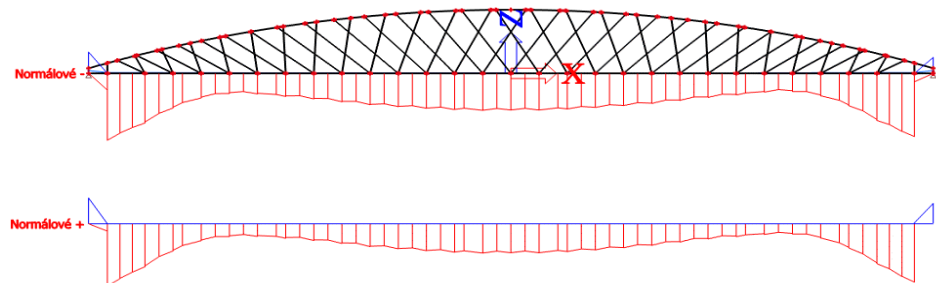
$$\sigma_{\check{c},h,tlak} = 7,3 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$
$$f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tlak} \leq 0,6 \times f_{ck}$$
$$7,3 \text{ MPa} \leq 18,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tlak} \leq 0,45 \times f_{ck}$$
$$7,3 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa}$$

• dolní vlákna



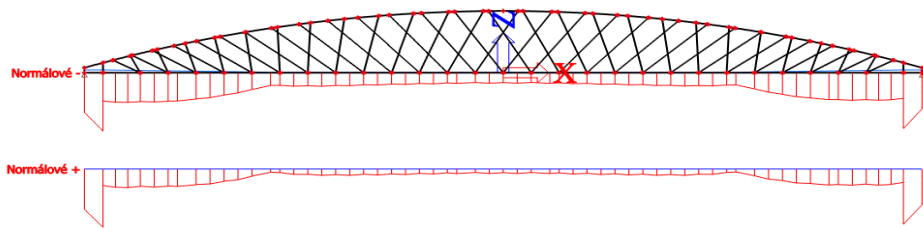
$$\sigma_{\check{c},d,tlak} = 3,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tlak} \leq 0,6 \times f_{ck}$$
$$3,4 \text{ MPa} \leq 18,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tlak} \leq 0,45 \times f_{ck}$$
$$3,4 \text{ MPa} \leq 13,5 \text{ MPa}$$

6.2 Napětí v betonu v MSP - charakteristická kombinace

• horní vlákna

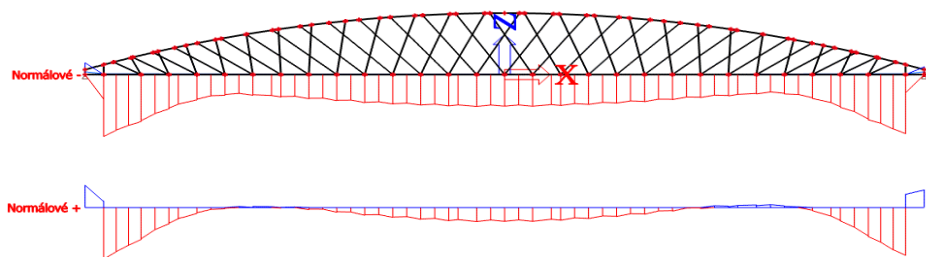


$$\sigma_{\text{ch,h,tlak}} = 7,5 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tlak}} &\leq 0,6 \times f_{\text{ck}} \\ 7,5 \text{ MPa} &\leq 18,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tlak}} &\leq 0,45 \times f_{\text{ck}} \\ 7,5 \text{ MPa} &\leq 13,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

• dolní vlákna



$$\sigma_{\text{ch,d,tlak}} = 4,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{ch,d,tah}} = 0,2 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tlak}} &\leq 0,6 \times f_{\text{ck}} \\ 4,1 \text{ MPa} &\leq 18,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

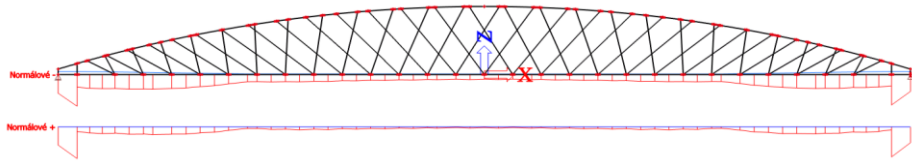
$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tlak}} &\leq 0,45 \times f_{\text{ck}} \\ 4,1 \text{ MPa} &\leq 13,5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tah}} &\leq f_{\text{ctm}} \\ 0,2 \text{ MPa} &\leq 2,9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6.3 Napětí v betonu na konci životnosti v MSP - charakteristická kombinace

Ztráty předpětí cca 20%.

- horní vlákna

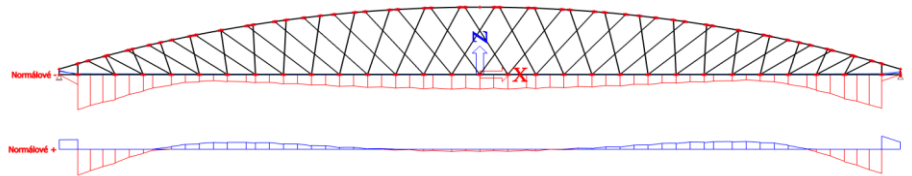


$$\begin{aligned}\sigma_{ch,h,tlak} &= 5,8 \text{ MPa} \\ \sigma_{ch,h,tlak,min} &= 0,4 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{tlak} &\leq 0,6 \times f_{ck} \\ 5,8 \text{ MPa} &\leq 18,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{tlak} &\leq 0,45 \times f_{ck} \\ 5,8 \text{ MPa} &\leq 13,5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- dolní vlákna



$$\begin{aligned}\sigma_{ch,d,tlak} &= 1,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{ch,d,tah} &= 0,8 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{tlak} &\leq 0,6 \times f_{ck} \\ 1,5 \text{ MPa} &\leq 18,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

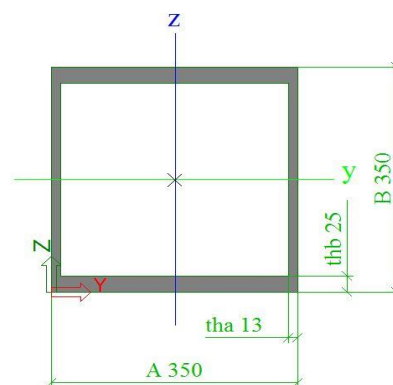
$$\begin{aligned}\sigma_{tlak} &\leq 0,45 \times f_{ck} \\ 1,5 \text{ MPa} &\leq 13,5 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{tah} &\leq f_{ctm} \\ 0,8 \text{ MPa} &\leq 2,9 \text{ MPa}\end{aligned}$$

7. Určení únosnosti oblouku

• geometrie průřezu

šířka pásnice	A	=	350	mm
výška stěny	B	=	350	mm
tloušťka pásnice	thb	=	25	mm
tloušťka stěny	tha	=	13	mm



$$f_y = 355 \text{ Mpa}$$

$$\gamma_M = 1,00$$

$$N_{ed} = 2881 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{y,ed} = 409 \text{ kNm}$$

$$A = 2,50E-02 \text{ m}^2$$

$$\alpha_{cr} = 37,24 \text{ -}$$

$$W_{pl,y} = 3,40E-03 \text{ m}^3$$

$$N_{cr} = \alpha_{cr} \times \frac{N_{ed}}{A} = 107288,4 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \times f_{yd}}{N_{cr}}} = 0,288$$

$$\lambda = 0,288 \rightarrow \chi = 0,954$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \times A \times f_{yd}}{\gamma_M} = 8466,75 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} = 8467 \text{ kN} > N_{ed,max} = 2881 \text{ kN}$$

kritická síla

VYHOVUJE

○ stabilitní únosnost

$$M_{ypl,Rd} = W_{pl,y} \times f_{yd} = 1207,00 \text{ kNm}$$

součinitel interakce

$$k_{yy} = 1,0$$

$$\frac{N_{ed}}{N_{Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,ed}}{M_{ypl,Rd}} \leq 1$$

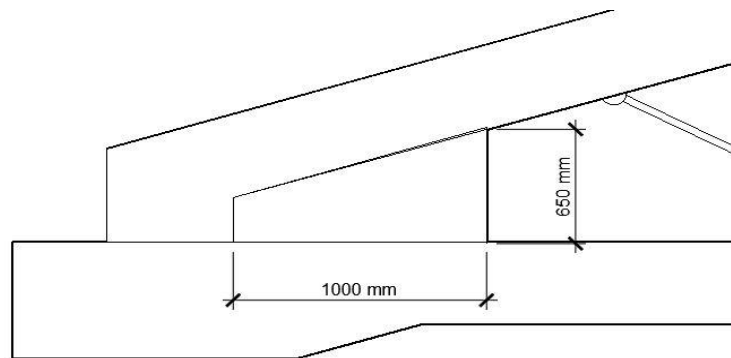
$$\frac{2881}{8467} + 1,0 \frac{408,9}{1207} \leq 1$$

$$0,679 < 1$$

využití stabilitní únosnosti **67,91 %**

VYHOVUJE

8. Únosnost ztužujícího prvku oblouku

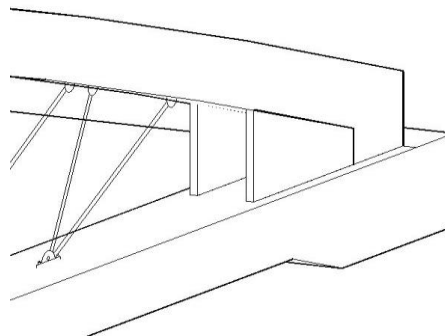


$\beta = 0,5$
tloušťka prvku

$$\begin{aligned}
 N_{ed,max}/2 &= 119,5 \text{ kN} \\
 L_{cr} &= \beta \times L = 0,5 \times 0,65 = 0,325 \text{ m} \\
 t &= 15 \text{ mm} \\
 I_{cr} &= 1,83E-07 \text{ m}^4 \\
 A_{prov} &= 9,75E-03 \text{ m}^2 \\
 i &= \sqrt{\frac{I}{A_{prov}}} = 0,004 \text{ m} \\
 \lambda &= \frac{L_{cr}}{i} = \frac{0,16}{0,004} = 37,53 \\
 \varepsilon &= 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 76,4 \\
 \lambda &= \frac{\lambda}{\varepsilon} = \frac{37,53}{76,4} = 0,491 \\
 \lambda &= 0,491 \\
 \phi &= 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,692 \\
 \chi &= \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda^2)}} = 0,848 \\
 N_{b,Rk} &= \chi \times A_{prov} \times f_{yd} = 2935 \text{ kN} \\
 N_{b,Rk} &= 2935 \text{ kN} > N_{ed,max} = 119,5 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$\alpha = 0,49$
pro vzpěrnou křivku c

VYHOVUJE

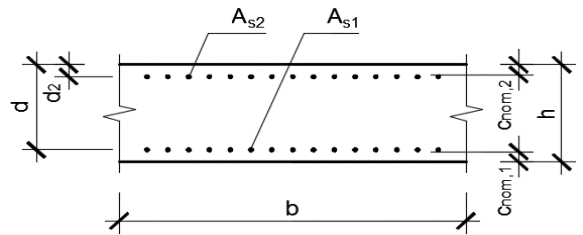


9. Určení únosnosti desky v příčném směru

teoretické rozpětí mostovky
 průměrná výška mostovky
 výška desky v nejslab. místě
 objemová tíha betonu
 návrhový součinitel
 materiálový součinitel
 návrhová pevnost betonu
 návrhová mez kluzu
 modul pružnosti výztuže
 plocha dolní výztuže
 plocha horní výztuže

• únosnost ŽB mostovky

$$\begin{aligned}
 L &= 4,50 \text{ m} \\
 h &= 0,32 \text{ m} \\
 h_{\min} &= 0,20 \text{ m} \\
 \gamma_c &= 25 \text{ kN/m}^3 \\
 \gamma_G &= 1,35 \\
 \gamma_Q &= 1,50 \\
 f_{cd} &= 18,0 \text{ MPa} \\
 f_{yd} &= 435 \text{ MPa} \\
 E_s &= 200 \text{ GPa} \\
 A_{s1} &= 754 \text{ mm}^2/\text{m} \\
 A_{s2} &= 523,6 \text{ mm}^2/\text{m}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 A_{s1} &= 754 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \blacktriangleleft \quad \Phi 12 \text{ á } 150 \text{ mm} \times 1 \quad \text{redukce 100\%} \\
 A_{s2} &= 523,6 \text{ mm}^2/\text{m} \quad \blacktriangleleft \quad \Phi 10 \text{ á } 150 \text{ mm} \times 1 \quad \text{redukce 100\%}
 \end{aligned}$$

○ krycí vrstva výztuže

$$\begin{aligned}
 c_{\min,b} &= 12 \text{ mm} \\
 c_{\min} &= (c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,Y}; - \Delta c_{dur,st}; - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm}) \\
 c_{\min} &= (12; 0 + 0 - 0 - 0; 10 \text{ mm}) \\
 c_{\min} &= 12 \text{ mm} \\
 c_{nom} &= c_{\min,b} + c_{\min} = 12 + 12 = 24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Z důvodu použití betonu jako přímo pochozí vrstvy konstrukce, bude krycí vrstva výztuže zvětšena.

krytí dolní výztuže
 krytí horní výztuže

$$\begin{aligned}
 c_{nom,1} &= 50 \text{ mm} \quad \blacktriangleright \quad d = 264 \text{ mm} \\
 c_{nom,2} &= 50 \text{ mm} \quad \blacktriangleright \quad d_2 = 55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

• MSÚ ohybový moment

$$\begin{aligned}
 f_{deska} &= \gamma_c \times L \times h \times \gamma_G + f_{chodci} \times \gamma_Q \\
 f_{deska} &= 18,30 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Ed} &= \frac{1}{8} \times f_{deska} \times L^2 \\
 M_{Ed} &= 46,322 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{cd} \times 0,8 \times x \times b &= A_{s1} \times f_{yd} \\
 18,0 \times 0,8 \times x \times 1000 &= 754 \times 435 \\
 x &= 22,77
 \end{aligned}$$

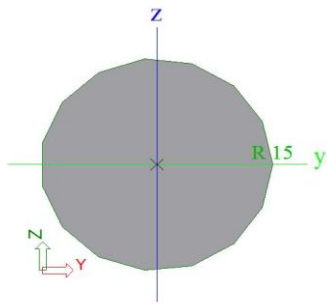
$$\begin{aligned}
 z &= d - 0,4x = 264 - 0,4 \times 22,77 = 255 \text{ mm} \\
 M_{Rd} &= A_{s1} \times f_{yd} \times z = 83,559 \text{ kNm} \\
 M_{Rd} &= 83,56 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 83,559 \text{ kNm} > M_{Ed} = 46,322 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

$$f_{chodci} = 5,0 \text{ kN/m}$$

10. Určení únosnosti závěsu

	průměr	profil táhla: tyčový průřez r = 15 mm		
				
		<ul style="list-style-type: none"> • tažený závěs 		
f _y = 355 Mpa	poloměr	profil táhla: r = 15 mm	N _{ed,max} = 55,31 kN	kombinace MSU
			A _{min} = 155,8 mm ²	
			A _{prov} = 706,9 mm ²	
Y _M = 1,00			N _{t,Rd} = $\frac{A_{prov} \times f_y}{\gamma_M} = 250,9$ kN	
			N _{t,Rd} = 250,9 kN > N _{ed,max} = 55,31 kN	
			VYHOVUJE	
		<ul style="list-style-type: none"> • tlačený závěs 		
	poloměr	profil táhla: r = 15 mm	N _{ed,tlak} = 2,07 kN	MSP - char. kombinace
β = 1,00			L _{cr} = β × L _{cr,max} = 1,00 × 2,619 = 2,619 m	
			I _y = 3,23E-08 m ⁴	
			A _{prov} = 7,07E-04 m ²	
	poloměr setrvačnosti	i = $\sqrt{\frac{I_y}{A_{prov}}} = 0,007$ m		
		λ = $\frac{L_{cr}}{i} = \frac{2,619}{0,007} = 387,4$		
		ε = 93,9 × $\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 76,4$		
		λ = $\frac{\lambda}{\epsilon} = \frac{387,4}{76,4} = 5,071$		
		λ = 5,071		
α = 0,49 pro vzpěrnou křivku c		φ = 0,5 × [1 + α × (λ - 0,2) + λ ²] = 14,55		
		χ = $\frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda^2)}} = 0,035$		
	kritická síla	N _{b,Rk} = χ × A _{prov} × f _{yd} = 8,90 kN	N _{b,Rk} = 8,90 kN > N _{ed,tlak} = 2,07 kN	
				VYHOVUJE

11. Návrh mostního závěru

teplota při osazení MZ

$$\alpha_{st} = 12 \cdot 10^{-6}$$

$$L = 45,0 \text{ m}$$

- Teplota

$$T_{\max} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \quad T_{\min} = -32 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{e,\max} = 40 + 4,5 = 44,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{e,\min} = -32 + 4,5 = -27,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{exp,d}} = T_{e,\max} - T_0 + 20 = 54,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{N,\text{con,d}} = T_{e,\min} - T_0 - 20 = -57,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- Návrhové dilatační posuny

$$u_{x,\text{exp}} = \alpha_{st} \times \Delta T_{N,\text{exp,d}} \times L = 29,43 \text{ mm}$$

$$u_{x,\text{noc}} = \alpha_{st} \times \Delta T_{N,\text{con,d}} \times L = -31,05 \text{ mm}$$

- Zatížení dopravou a ostatní stálé

$$u_{x,\text{exp}} = \gamma_f \times u_{x,q,k} = 1,35 \times 3,7 = 5,00 \text{ mm}$$

- Celkový návrhový posun závěru

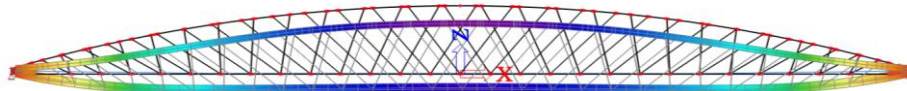
$$\Delta u_x = u_{x,\text{exp}} + u_{x,\text{exp}} - u_{x,\text{noc}}$$

$$\Delta u_x = 29 + 5,00 - -31,05 = \mathbf{65,48 \text{ mm}}$$

Mostní závěr byl navrhnout na dilatační posuny 80 mm.

12. Deformace konstrukce

12.1 Průhyb konstrukce



$$\delta_{\max} = 34,4 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{L_1}{250} = \frac{45,00}{250} = 180 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = 34,4 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = 180 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

12.2 Dynamika konstrukce

- vlastní frekvence

první vlastní frekvence $f_{v,1} = 2,94 \text{ Hz}$

druhá vlastní frekvence $f_{v,2} = 4,16 \text{ Hz}$

třetí vlastní frekvence $f_{v,3} = 5,89 \text{ Hz}$

čtvrtá vlastní frekvence $f_{v,4} = 8,08 \text{ Hz}$

- omezení

svislé vibrace lávky $f_{v,\max} = 5,0 \text{ Hz}$

frekvence lidského kroku $f_{l,\max} = 1-3 \text{ Hz}$

Vlastní frekvence kmitání se blíží frekvencím, které na lávce budí pohybující se chodci. Pokud dojde k vybuzení frekvence blízko hodnoty z vlastních tvarů, může dojít k rezonanci konstrukce.

Je nutné provést podrobný dynamický výpočet pro ověření kmitání. Na základě výpočtu případně navrhnout tlumiče kmitání. Podrobný dynamický výpočet není součástí této práce.

13. Závěr

13.1 Závěr

Výpočet vnitřních sil, napětí a deformací byl proveden na počítači. Model byl sestaven v programu Scia Engineer.

Celá konstrukce je modelována jako prutová. Všechny tvary prvků, byly importovány z programu Autocad.

Ve statickém výpočtu byly určeny nejvýznamější zatížení působící na konstrukci. Proveden návrh a ověření hlavních nosných prvků lávky. Pro výpočet nebyl uvažován vliv sněhu a větru na konstrukci.

V Praze _____

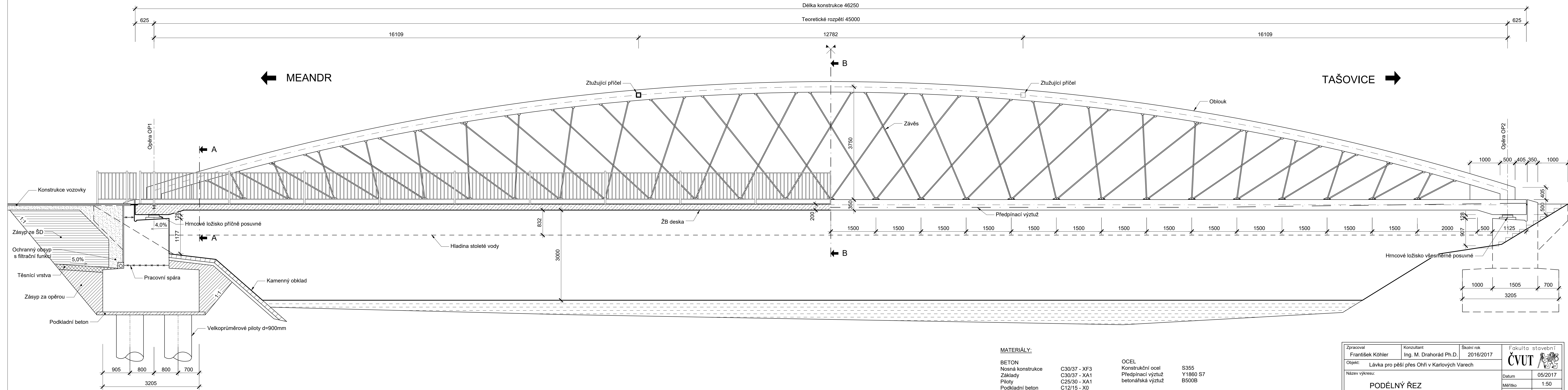
František Köhler

13.2 použité programy

Microsoft Excel
Autodesk AutoCAD
Bentley MicroStation
Scia Engineer

ŘEZ V OSE LÁVKY

POHLED

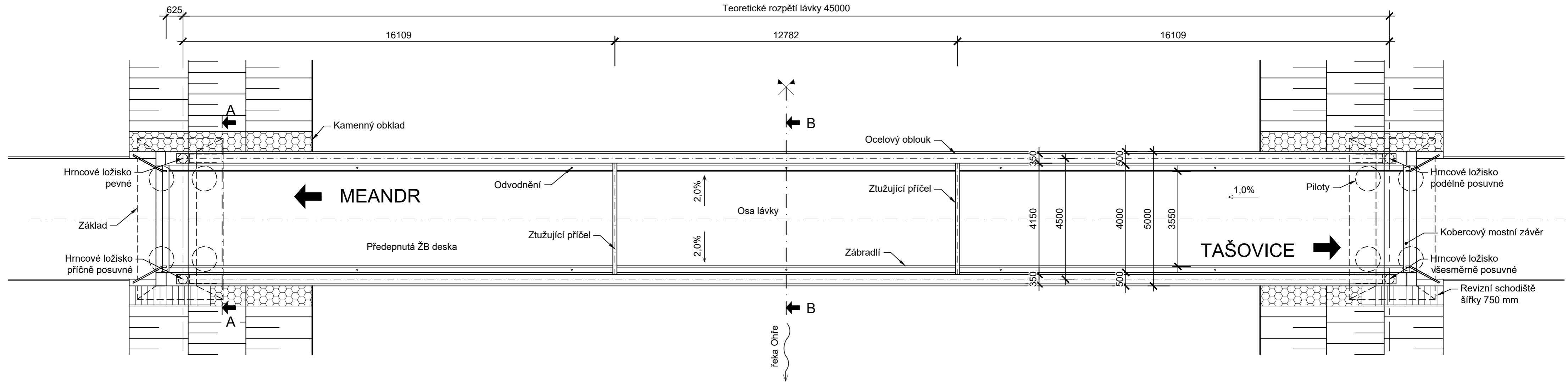


MATERIÁLY:

BETON	C30/37 - XF3	OCEL	S355
Nosná konstrukce	C30/37 - XA1	Konstrukční ocel	Y1860 S7
Základy	C25/30 - XA1	Předpínací výztuž	B500B
Piloty	C12/15 - X0	betonářská výztuž	
Podkladní beton			

Zpracoval František Köhler	Konzultant Ing. M. Drahorád Ph.D.	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Objekt: Lávka pro pěší přes Ohří v Karlových Varech			Datum 05/2017
Název výkresu: PODÉLNÝ ŘEZ			Měřítko 1:50
			Číslo výkresu B1

PŮDORYSNÝ POHLED

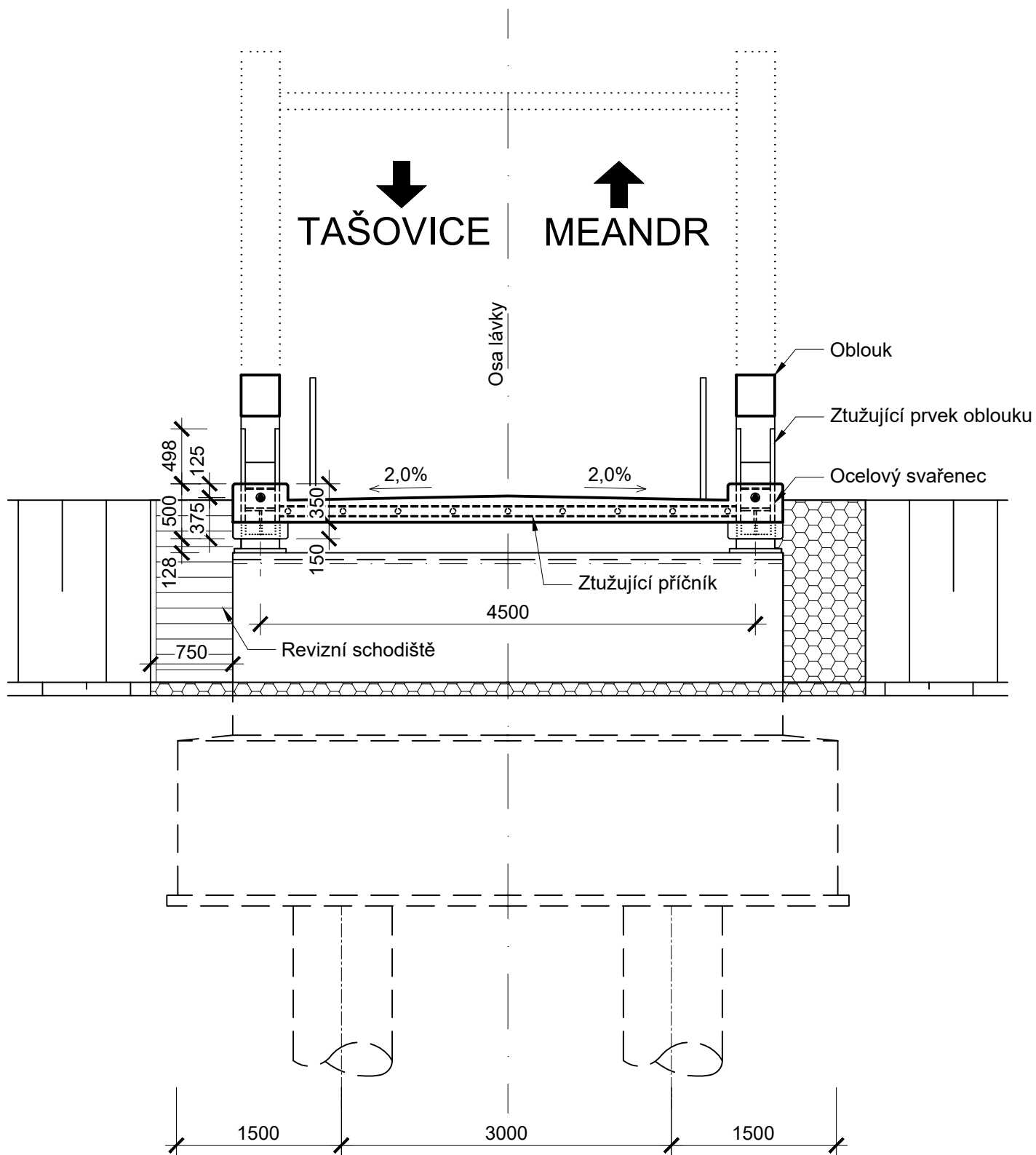


MATERIÁLY:

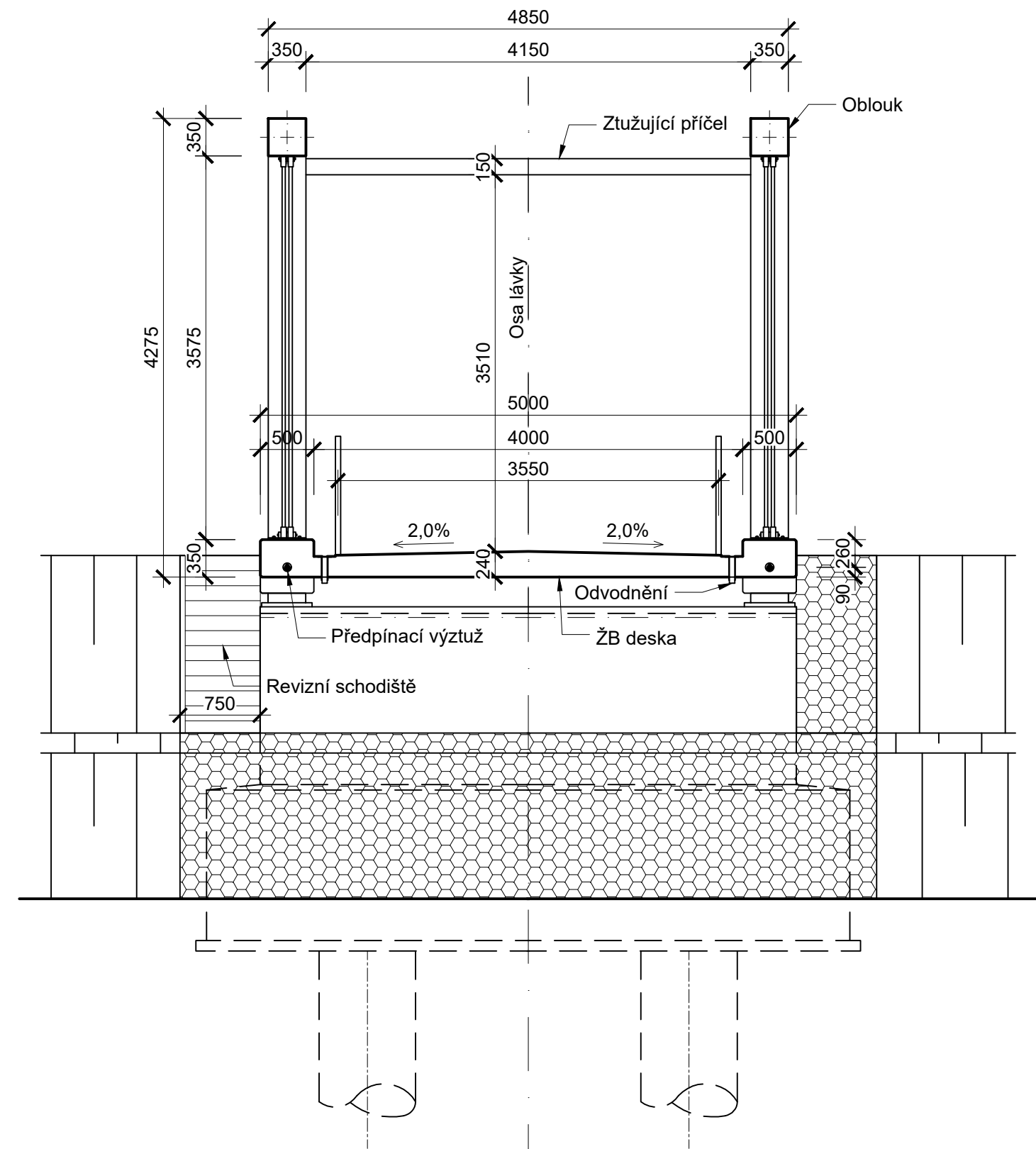
BETON		OCEL	
Nosná konstrukce	C30/37 - XF3	Konstrukční ocel	S355
Základy	C30/37 - XA1	Předpínací výztuž	Y1860 S7
Piloty	C25/30 - XA1	betonářská výztuž	B500B
Podkladní beton	C12/15 - X0		

Zpracoval František Köhler	Konzultant Ing. M. Drahorád Ph.D.	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Objekt: Lávka pro pěší přes Ohři v Karlových Varech			
Název výkresu: PŮDORYS			Datum 05/2017
			Měřítko 1:100
			Číslo výkresu B2

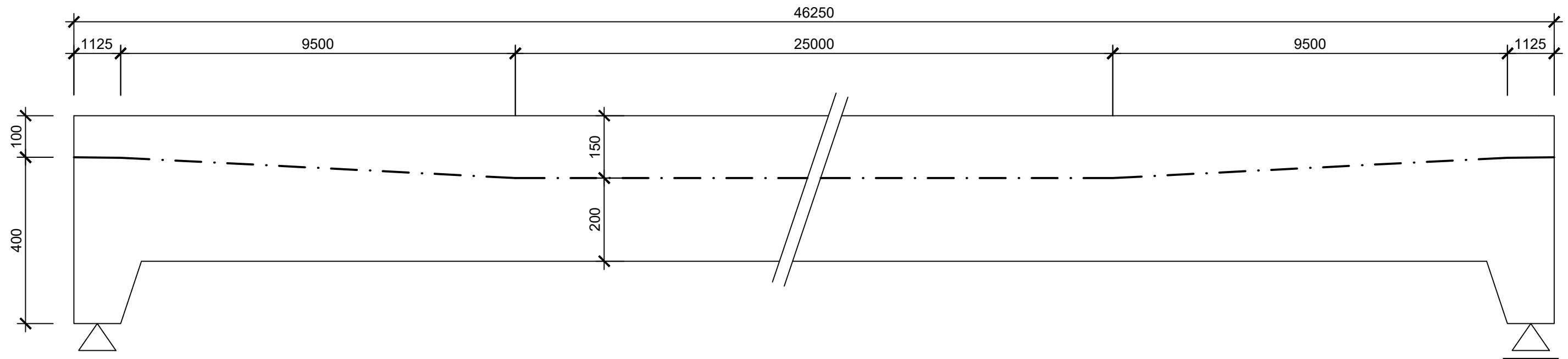
ŘEZ A



ŘEZ B

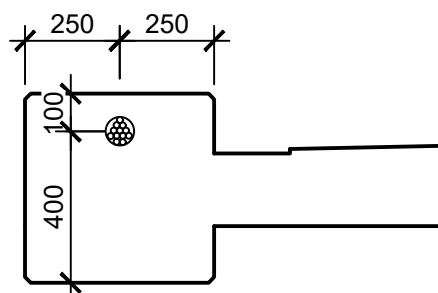


Zpracoval František Köhler	Konzultant Ing. M. Drahorád Ph.D.	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Objekt: Lávka pro pěší přes Ohři v Karlových Varech			Datum 05/2017
Název výkresu: PŘÍČNÉ ŘEZY			Měřítko 1:50
			Číslo výkresu B3



P1 2x15 lan, Ø 15,3mm, L = 46,27 m + přesahy 1,5 m = 49,27 m

DETAIL V MÍSTĚ KOTVENÍ - PŘÍČNÝ ŘEZ 1:20



Výkaz předpínací výztuže						
Kabel	Ø lan [mm]	Počet lan v kabelu	Počet kabelů	Hmotnost 1 kabelu [kg/m]	Délka s přesahy	Hmotnost CELKEM
P1	15,3	15	2	16,5	49,27	813 kg


MATERIÁLY:

BETON
Nosná konstrukce C30/37 - XF3

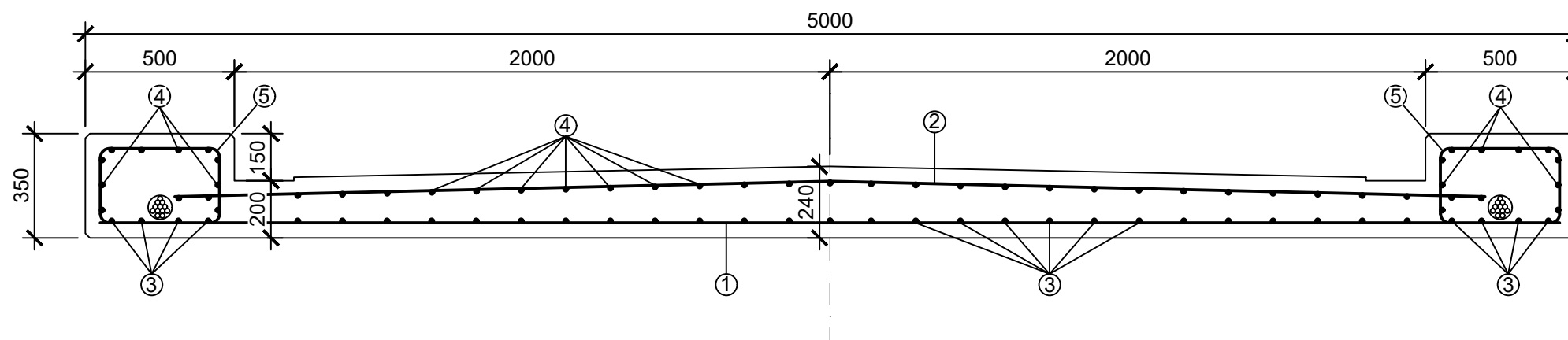
OCEL
Předpínací výztuž Y1860 S7

KRYTÍ
c = 50 mm

$\sigma(\text{napínací}) = 1473 \text{ MPa}$
 $t_0 = 14 \text{ dní}$

Zpracoval František Köhler	Konzultant Ing. M. Drahorád Ph.D.	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT	
Objekt: Lávka pro pěší přes Ohři v Karlových Varech			Datum 05/2017	
Název výkresu: VÝKRES PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE			Měřítko 1:100/10	
			Číslo výkresu B4	

PŘÍČNÝ ŘEZ B



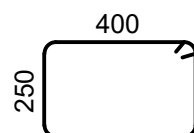
① ØR10 à 150mm dl. 4900mm

② ØR10 à 150mm dl. 4400mm

③ ØR12 à 150mm dl. 6000mm

④ ØR10 à 150mm dl. 6000mm

⑤ ØR8 à 150mm dl. 1310mm



Výkaz výztuže						
č.	Ø	dl. [m]	ks	bmØR8	bmØR10	bmØR12
1	10	4,9	308		1509,2	
2	10	4,4	308		1355,2	
3	12	6,0	280			1680
4	10	6,0	408		2448	
5	8	1,31	567	742,77		
celkem bm				742,77	5312,4	1680
hmotnost 1bm [kg]				0,395	0,617	0,888
hmotnost celkem [kg]				293,39	3277,75	1491,84
CELKEM kg				5062,98		

MATERIÁLY:

BETON
Nosná konstrukce C30/37 - XF3

OCEL
Betonařská výztuž B500B

KRYTÍ
c = 50 mm

výztuž je kótována na osu prutu

Zpracoval František Köhler	Konzultant Ing. M. Drahorád Ph.D.	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Objekt: Lávka pro pěší přes Ohři v Karlových Varech			
Datum			05/2017
Měřítko			1:20
Číslo výkresu			B5
VÝKRES VÝZTUŽE MOSTOVKY			