

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



Bakalářská práce

Návrh nosné konstrukce lávky pro pěší v Radotíně

Vypracoval: Tomáš Flax

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

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně za odborného vedení vedoucího bakalářské práce. Při uvádění informačních zdrojů jsem se řídil Metodickými pokyny o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne

.....


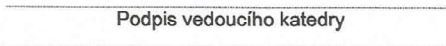
Tomáš Flax

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

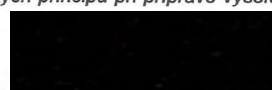
I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Flax</u>	Jméno: <u>Tomáš</u>	Osobní číslo: <u>465394</u>
Zadávatel katedra: <u>K11133 - Katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Zavěšená lávka pro pěší přes Berounku v Praze - Radotíně</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Design of cable-stayed pedestrian bridge over Berounka in Prague - Radotín</u>	
Pokyny pro vypracování: Návrh konstrukčního uspořádání a technického řešení zavěšené lávky přes řeku Berounku v Praze Radotíně. Rámcový návrh a ověření nosné konstrukce a spodní stavby.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Michal Drahorád, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>22. 2. 2021</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>16. 5. 2021</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
<u>22.2.2021</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

Poděkování:

Zde bych rád upřímně poděkoval panu Ing. Michalu Drahorádovi, Ph.D. za pomoc, cenné a odborné rady, ochotu, trpělivost a skvělý přístup při konzultacích mé bakalářské práce. Můj dík patří v neposlední řadě i mé rodině, která mě velmi podporovala nejen během psaní této práce, ale i v průběhu celého studia.

Abstrakt:

Má práce se zabývá zavěšenou lávkou pro pěší a cyklisty v Radotíně, která bude umístěna namísto lávky stávající. Cílem je navrhnout a posoudit nosnou konstrukci nové lávky. Z původní konstrukce bude zachována podpěra a opěry, nezměněné zůstanou i délky obou polí. Mostovka lávky je trémová, z prefabrikovaného předpjatého betonu a je propojena se dvěma ocelovými pylony stejné výšky kruhového průřezu. Příčný řez mostovky má jednostranný sklon a konstantní tloušťku.

Klíčová slova:

Zavěšená lávka, lávka pro pěší, zatížení, předpjatý beton, ocelová táhla, mostovka

Abstract:

The object of my study is cable-stayed pedestrian bridge, which is meant to replace the old construction in Radotín. The goal is to design and analyze this new load-bearing construction. The mounting of the old bridge will be used for the new construction and lengths of spans will be kept too. The deck is prestressed concrete girder, which is connected to the couple of steel pylons. The pylons have similar height and their cross – section is a circle. The deck's cross – section has an inclination and its thickness is constant.

Key words:

Cable – stayed bridge, pedestrian bridge, load, prestressed concrete, steel, deck

Obsah

Kapitola 1.....	9
Úvod.....	9
Kapitola 2.....	10
Radotínská lávka	10
Kapitola 3.....	12
3.1. Zavěšené mosty	12
3.2. Závěsy	13
3.3. Pylon	15
3.4. Nosník	16
3.5. Příklady zavěšených mostů.....	17
3.5.1. Mariánský most v Ústí nad Labem.....	17
3.5.2. Dálniční most přes Labe u Poděbrad	18
3.5.3 Lávka v Dobřichovicích	19
3.5.4. Lávka ve Fuengilore.....	20
Kapitola 4.....	21
Návrh konstrukce	21
4.1 Prvky nosné konstrukce.....	22
4.2 Výstavba lávky	24
4.3 Statický výpočet.....	25
4.3.1 Výpočetní model	25
4.3.2 Materiál.....	29
4.3.2.1 Beton	29
4.3.2.2 Ocel.....	29
4.3.3 Zatížení	31
4.3.3.1 Stálé zatížení.....	31
4.3.3.2 Proměnná zatížení.....	31
4.3.3.2.1 Zatížení teplotou.....	32
4.3.3.2.2 Zatížení od pohybu chodců	33
4.3.3.2.3 Zatížení dopravou	34
4.3.4 Výpočet	35
4.3.4.1 Kombinace.....	35

4.3.4.3 Posouzení závěsů	43
--------------------------------	----

Kapitola 1

Úvod

Lávka, která je předmětem mé bakalářské práce, spojuje město Radotín, rozkládající se na levém břehu řeky Berounky, a silnici vedoucí k nedaleké Zbraslavi na břehu pravém. První část této práce přináší podrobnější informace o výše zmíněné lávce a o samotném místě, kde je situována. Budu se zde věnovat jak historii přemostění, tak i lávce, která zde stojí v současnosti. Druhá část uvede obecné informace o zavěšených mostech a několik příkladů takových staveb ze světa i České republiky. Každý z těchto příkladů bude navíc doplněn krátkým popisem konstrukčního systému. Třetí část mé práce se věnuje mému návrhu, statickému výpočtu a posudku.

Kapitola 2

Radotínská lávka

Snahy o přemostění řeky v místě, kde stojí současná lávka, se datují do daleké historie, neboť první zmínka o spoji obou břehů sahá do roku 1159. Píše se o přívozu, který byl po dlouhou dobu jedinou možností, jak řeku překročit. Až v 60. letech minulého století zde byl postaven pontonový most, který přívoz nahradil. Pontonový most je konstrukce sestávající se z pramic přivázaných k sobě, na nichž je umístěna provizorní lávka. Povětšinou to bývá jen dočasné řešení a využívá jej především armáda.

Roku 1994 byla dokončena výstavba zavěšené lávky, která zde stojí doposud. Jejimi autory jsou architekti Josef Pleskot, Radek Lampa a statikové František a Martin Trčkovi. Lávka má svým tvarem připomínat příd' lodi a celkově má netypickou konstrukci. Ta je totiž nesymetrická nejen v pohledu, ale i půdorysně. Má pouze jeden pylon, opěry a podpěra, která stojí na kraji pravého břehu, jsou kotveny na pilotách, které jsou doplněny trvalým kotvením zemními kotvami a mostovka je betonová, dvoutrámová a v místech uchycení závěsů prochází oběma jejími trámy trubka, do které jsou závěsy ukotveny.

Výstavba lávky výrazně přispěla k urbanistickému rozvoji místa. V návaznosti na její otevření zde byla zřízena cyklistická stezka a přes lávku samotnou vede Svatojakubská cesta, po které putují poutníci do Santiaga de Compostela ve Španělsku. Není proto divu, že se tato lokalita stala vyhledávaným místem pro rekreaci jak pro místní, tak i pro turisty. V přilehlém sousedství lávky stojí škola, Náměstí svatých Petra a Pavla a kostel, který je zmíněným světcům zasvěcený. Okolí lávky je tedy centrem radotínského života.

Konstrukce lávky nebyla staticky dokonalá, autoři se při jejím návrhu snažili o nejnižší možnou výšku pylonu, aby zůstala zachována dominantu přilehlého kostela. Malá výška se v průběhu let ovšem ukázala jako velký problém, který podtrhly rozsáhlé povodně v letech 2002 a 2013, které lávku výrazně poškodili a po druhé z uvedených povodní bylo dokonce nutné přistoupit k úpravám zvyšujícím bezpečnost provozu na konstrukci. Byly použity dvě dočasné podpory umístěné v levém poli, kde docházelo k masivním průhybům. Dnes je lávka částečně uzavřena, provoz je omezen a přecházení je povoleno pouze po jednotlivcích. Na konstrukci je navíc umístěno zařízení, které vyhodnocuje rychlost větru a varuje přecházející před možným rizikem. Rekonstrukce byla nevyhnutelná, díky netradiční konstrukci a unikátnosti lávky

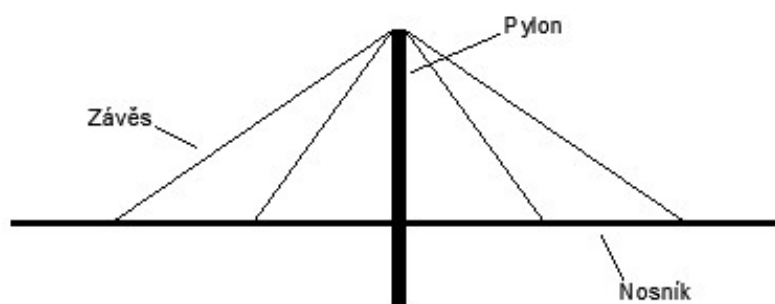
vznikaly snahy o její opravu a zachování, nicméně byla tato varianta nakonec vyhodnocena jako nemožná a rozhodlo se o stržení současné stavby, kterou nahradí zcela nová konstrukce. Návrh, který byl nakonec zvolen, je zavěšená konstrukce se dvěma pylony tvaru Y a připomíná známý Millennium bridge, který najdeme na řece Temži v Londýně. Díky tvarům nových pylonů je možné zredukovat jejich výšku ještě výrazněji, než tomu je u stávající lávky, a zachovat tak dominantu kostelní věže a příjemný ráz okolí, aniž by byla omezena funkčnost stavby.

Kapitola 3

3.1. Zavěšené mosty

Zavěšené mosty jsou štíhlé elegantní stavby, které slouží k překlenutí plochých území a jsou tedy ideální volbou pro mělká údolí, říční koryta na dolních tocích nebo mořské úžiny. Nosný systém tvoří tři prvky, jsou jimi pylon, závěsy a trámový nosník (obr. 1), ty pak společně vytvářejí sérii trojúhelníků, které konstrukci poskytují dostatečnou tuhost. K těmto třem základním prvkům mohou být přidány ještě tahové pilíře do míst, kde jsou závěsy v krajních polích kotveny do mostovky. Tyto pilíře dodávají konstrukci větší tuhost, brání nadzvedávání nosníku v krajním poli a výrazně snižují průhyby v poli hlavním. Dominantním zatížením, které na nosné prvky působí, jsou osově síly, kdy závěsy jsou namáhané tahovými silami, zatímco na pylon a nosník působí síly tlakové.

Vůbec prvním zavěšeným mostem na světě byl most Strömsund Bridge s rozpětím hlavního pole 183 metrů, který byl postaven roku 1955 a najdeme jej ve městě Strömsund ve Švédsku. Principem bylo nahradit pilíře pomocí závěsů, které tak byly kotveny v poměrně velkých vzdálenostech. Postupný vývoj však v průběhu let vedl ke zkracování těchto roztečí, to přináší větší únosnost konstrukce a možnost snadněji opravovat jednotlivé závěsy, či je dokonce při omezení dopravy úplně vyjmout.



Obrázek 1 – konstrukční prvky zavěšených mostů

Nahuštění závěsů způsobuje zmenšení lokálních ohybových momentů mezi závěsy, což umožňuje větší štíhlost nosníku a menší stavební výšku. Štíhlost pak přidává nosníku na pružnosti, to vede k menším globálním ohybovým momentům na celém nosníku. Zavěšené

mosty se staly velmi oblíbenými pro přemostění velkých vzdáleností a v současnosti se délky rozpětí jednotlivých polí pohybují až za tisícimetrovou hranicí. Takovéto rozměry umožňují závěsy, které působí jako pružné podpory pro nosník. Obliba těchto konstrukcí tkví v jejich ekonomičnosti, neboť ohybové momenty, které na nosníku vznikají, jsou díky závěsům mnohem menší, než je tomu u mostů trémových, kde je hodnota ohybových momentů úměrná druhé mocnině rozpětí, u zavěšených mostů lze jejich hodnotu vyjádřit vztahem (1)

$$M = a \cdot p \cdot v^2 / \kappa \quad (1)$$

kde a je součinitel zatížení p , I moment setrvačnosti a κ konstanta elastické podpory daná štíhlostí závěsů.

3.2. Závěsy

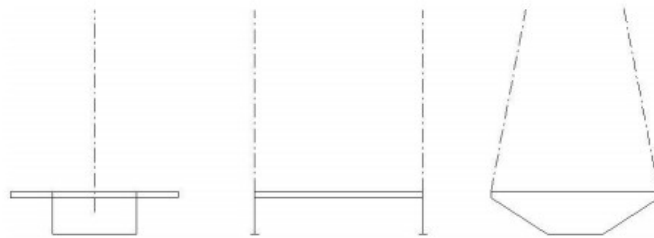
Zavěšené mosty lze dělit do několika skupin podle různých kritérií. Zaměříme-li se na systém závěsů v podélném směru, zjistíme, že existují dvě základní skupiny, symetricky umístěné závěsy a nesymetricky. Nesymetrické uložení se aplikuje u mostů, které mají jen jedno hlavní pole, které je výrazně delší než pole druhé. Symetrické umístění se používá u mostů se dvěma, třemi či více poli a dále se dělí na harfu, polovějír a vějíř (obr. 2).



Obrázek 2 - schéma umístění závěsů

Harfa umožňuje snadnější kotvení závěsů do pylonu a závěsy jsou u tohoto typu rovnoběžné. Výhodou je i možnost dřívějšího zahájení výstavby nosníku. Negativem ovšem je menší využití těchto závěsů, které jsou kotvené v nižších částech pylonu. U polovějířovitého uspořádání se mnohdy používá jen jedna rovina závěsů a je vhodné pro větší rozpětí. Vějírřovité umístění kotví všechny závěsy v jednom teoretickém bodě, což klade vysoké nároky na detail uložení. Využití závěsů je však u tohoto typu uspořádání maximální. V příčném směru pak hodnotíme počet rovin, ve kterých jsou závěsy umístěny, a to buď jedna rovina, kdy jsou závěsy kotveny uprostřed mostovky mezi dopravními pruhy, nebo dvě roviny, kdy jsou závěsy vedeny do říms (obr. 3). V případě jedné roviny je nutné zajistit torzní tuhost průřezu například použitím

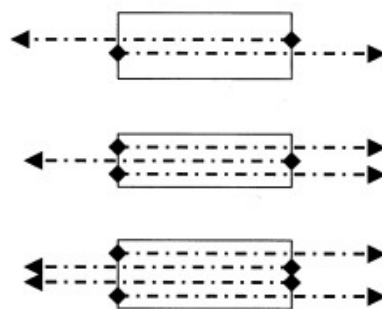
komorové mostovky. U závěsů umístěných ve dvou rovinách zajišťují torzní tuhost závěsy samotné, jedná-li se ovšem o mosty s velkým rozpětím, je vhodné doplnit i toto uspořádání komorovou mostovkou.



Obrázek 3 - Schéma rovin závěsů

Samotné závěsy mohou být lanové nebo tyčové, které jsou vhodnější pro konstrukce s menšími rozpětími. Jsou to tahem namáhané předpjaté prvky. Hodnota předpětí dosahuje zpravidla 40 % meze pevnosti. Protože jsou to ocelové prvky, je nutné chránit je před korozí ochrannými nátěry.

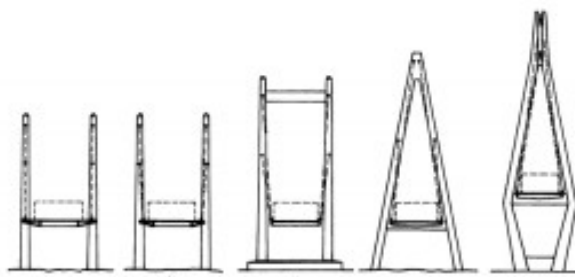
Na pylonu jsou závěsy připevněny v sedlech nebo kotvením. První variantou jsou sedla, ve kterých lana závěsů volně prochází a jsou kotvena do mostovky v dalším poli. Je ovšem nutné zamezit přílišným změnám tahového napětí a pokluzům závěsů, které vznikají změnami zatížení. Druhou možností je vést závěsy skrz pylon a kotvit je na jeho opačné straně a třetí variantou je kotvení závěsů na přilehlé straně pylonu, k tomu je ale nutný předpoklad většího průměru pylonu. Rozlišuje se rovněž kotvení nesymetrické a symetrické (obr. 4), u kterého nevzniká kroutící moment v pylonu.



Obrázek 4 - Kotvení lan v pylonu

3.3. Pylon

Pylony samotné můžeme rovněž rozdělit podle jejich počtu, tvaru a uspořádání. Podle počtu máme v příčném řezu buď jeden nebo dva pylony. Jeden pylon může mít jednu nebo dvě roviny závěsů a u mostů s menším rozpětím může být jeho umístění v příčném směru nesymetrické. U větších rozpětí jej umísťujeme symetricky mezi dopravní pruhy s jednou rovinou závěsů. Symetrické uspořádání je výhodnější vzhledem k torznímu namáhání pylonu i mostovky. Dvojice pylonů může být v horní části spojena příčlí k zajištění větší tuhosti. Té můžeme docílit i použitím různých tvarů pylonů (obr. 5), které volíme podle hloubky daného údolí. Jednou z variant jsou pylony tvaru A, které ovšem nejsou vhodné do příliš hlubokých údolí, protože vzdálenosti založení obou pylonů by byly obrovské. V takových případech je výhodnější použít dvojici pylonů, které se pod mostovkou lámou a sbíhají se k sobě. Pakliže je výška pylonu výrazně omezena, je vhodné použít pylony tvaru Y. Speciálním případem jsou pak pylony u mostů s jedním hlavním polem, které mohou být nakloněné směrem ke kratšímu poli. Pylony mohou být ocelové, ocelové s betonovou výplní nebo betonové. Ty jsou výhodné, protože pylony jsou tlačené prvky, a bývají tak dnes preferovanější především při velkých rozpětích. Důležitým faktorem je výška pylonu. Ta totiž ovlivňuje, na kolik procent budou využity závěsy, jejichž využití vstupuje s rostoucí výškou pylonu. Při velké výšce pylonu roste spotřeba materiálu na jeho výstavbu, z ekonomického pohledu se jako ideální výška jeví $0,5L$ u harfovitého uspořádání závěsů a $0,3L$ u uspořádání vějířovitého, kde L značí délku hlavního rozpětí.



Obrázek 5 - Tvary pylonů

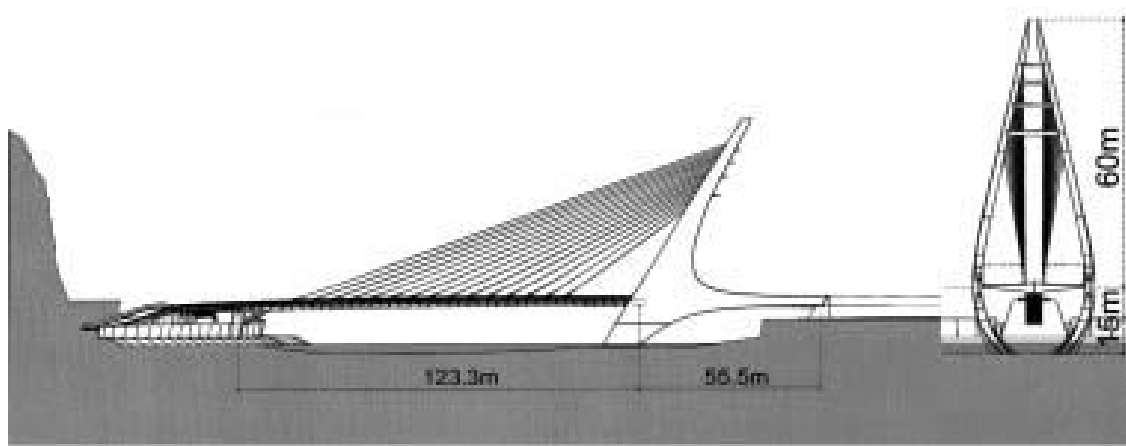
3.4. Nosník

Posledním nezmíněným základním prvkem zavěšených mostů je vodorovný nosník. Podle nároků na torzní tuhost volíme plnostěnný nebo komorový trám, ale v současné době vznikají i složitější odlehčené průřezy, které se snaží docílit co nejmenší hmotnosti při zachování vysokých hodnot tuhosti. Dalším faktorem, který je nutné zohlednit při navrhování tvaru průřezu, a to především u velkých rozpětí, je aerodynamika, jejíž vlivem může dojít k rezonanci celé konstrukce. Důležitou částí nosníku je mostovka, ta slouží k přenosu zatížení od dopravy do hlavního nosného systému. Zatížení je vedeno z nosníku do závěsů, které pak tyto účinky převádí do pylonu. Mostovka může být z předpjatého betonu nebo ortotropní, tato varianta ovšem bývá nákladnější a v některých zemích se tak současnosti téměř nepoužívá. Prefabrikovaná mostovka nabízí více možností ve tvarech příčného řezu, varianta s mostovkou monolitickou je ovšem také možná.

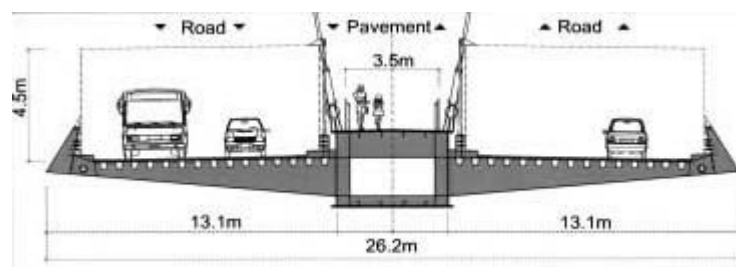
3.5. Příklady zavěšených mostů

3.5.1. Mariánský most v Ústí nad Labem

Tento elegantní silniční most má jedno hlavní pole, které je 123,3 m dlouhé, a jedno vedlejší s délkou zhruba poloviční (obr. 6). Závěsy jsou vedeny ve dvou rovinách s roztečemi v podélném směru 6 m, mají polovějřovitě uspořádání a nachází se pouze v hlavním poli. Jsou kotveny do dvojice ocelových pylonů, které mají velkou ohybovou tuhost, aby byly schopné přenést zatížení z hlavního pole, které přenáší do nosníků ve vedlejším poli. 75 metrů vysoké pylony se s rostoucí výškou sbíhají k sobě, mají proměnný komorový průřez a v horní části jsou ztuženy čtyřmi příčnicí. Příčné uspořádání je symetrické, uprostřed vede pruh pro cyklisty a pěší a dva krajní pruhy jsou určeny pro automobilovou dopravu, která je směrově oddělena. (obr. 7) Vodorovný nosník je jednokomorový trám se dvěma konzolami. Mostovka byla v hlavním poli navržena jako ortotropní.



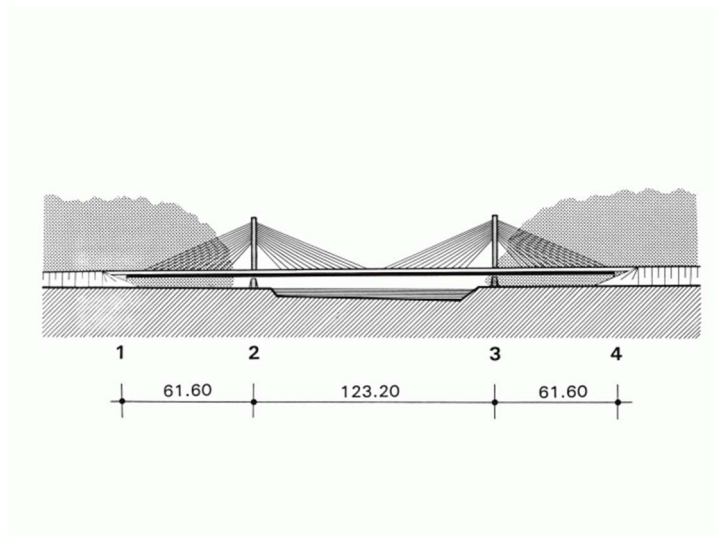
Obrázek 6 - Pohled na most a příčný řez pylonem



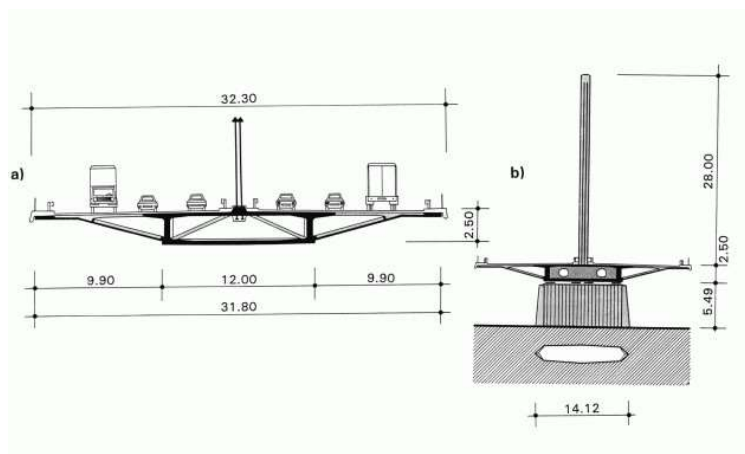
Obrázek 7 - Příčný řez

3.5.2. Dálniční most přes Labe u Poděbrad

Tento most najdeme na přibližně 42. kilometru dálnice D11. Jeho hlavní pole měří 128 m a dvě vedlejší pole jsou dlouhá 61 m (obr. 8). Závěsy mají polovějířovité uspořádání, vedou pouze v jedné rovině ve hlavním i vedlejších polích a jsou kotvené uprostřed nosníku mezi směrově oddělenými jízdními pruhy. Pylony jsou zde konstruovány jako jednosloupové a šplhají do výšky 28 m nad mostovku. Vodorovný nosník o šířce 31,8 m je komorový prefabrikát, betonové konzoly byly po obou stranách přidány až dodatečně (obr. 9). K výstavbě nosníku byla použita letmá montáž.



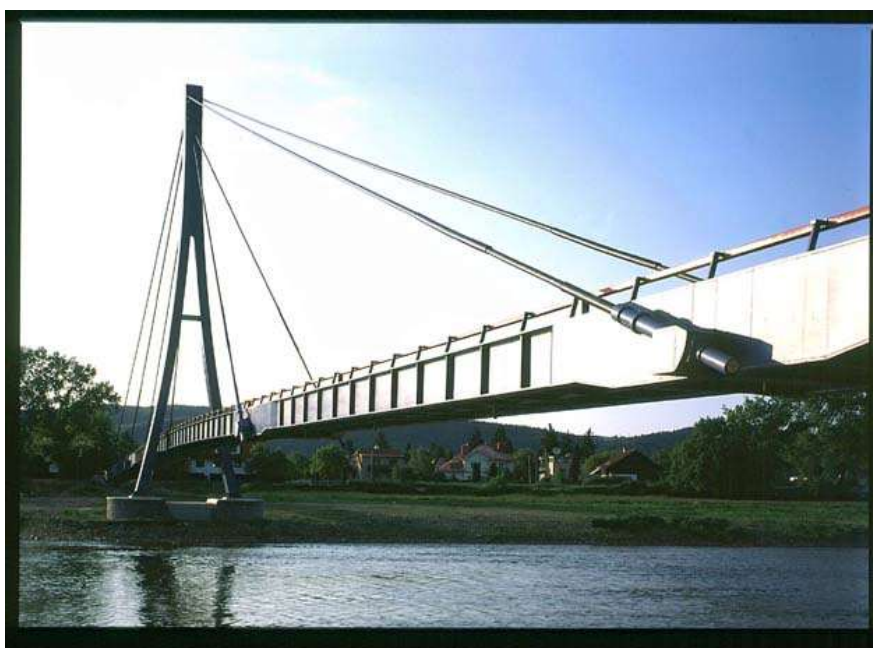
Obrázek 8 - Pohled na dálniční most



Obrázek 9 - Příčný řez dálničním mostem

3.5.3 Lávka v Dobřichovicích

Dobřichovická lávka je určena pro pěší a cyklisty, má dvě pole o rozpětích 88 m a 92 m (obr. 11). Závěsy jsou kotveny do vodorovného nosníku ze stran a vedou ve dvou rovinách a mají poměrně velké rozteče v podélném směru. Výška dvou k sobě se sbíhajících ocelových pylonů činí 34,6 m od pilíře, který je ještě doplněn příčným ztužidlem. Lávka má horní železobetonovou mostovku o šířce 3,4m, mostovka přenáší zatížení do dvou svařovaných I profilů, které tvoří vodorovný nosník.



Obrázek 10 - Dobřichovická lávka

3.5.4. Lávka ve Fuengilore

Ze zahraničních mostů zmiňuji lávku pro pěší a cyklisty ve městě Fuengirola poblíž Malagy ve Španělsku. Délka hlavního pole činí 68,2 m a vedlejší pole má rozpětí 14,8 m (obr. 11). Železobetonová mostovka má tloušťku 0,6 m a ze stran jsou k ní zachyceny závěsy, které jsou ve dvou rovinách vedeny do pylonů. Pylony jsou železobetonové a sbíhají se k sobě, tvoří tak tvar písmene A.



Obrázek 11 - Lávka ve Fuengilore

Kapitola 4

Návrh konstrukce

Při návrhu lávky jsem se snažil inspirovat konstrukcí, jež zde stojí od 90. let minulého století, a zachovat tak současnou tvář celého místa. Nezměněné zůstaly délky polí, které činí 80,63 m v levém hlavním poli a 30 m v poli pravém. Rozhodl jsem se využít stávající podpěru a opěry včetně jejich založení s tím, že k některým konstrukčním úpravám došlo pouze u opěr. Na opěře na levém břehu jsem ve svém návrhu zrušil 9 m dlouhou konzolu, na které byl vytvořen ozub a sloužila tak jako kloubové uložení. Oproti původnímu návrhu jsem celou lávku rozšířil v příčném řezu na pochozí šířku 3 m, rozdílné jsou také rozteče mezi závěsy. Nejvýraznější změny ale najdeme na návrhu pylonu. Pylon je jediný prvek z celé stavby, který je od původního návrhu odlišný snad po všech stránkách. Pylony, které navrhuji, mají průřez s větším průměrem, který jsem zvětšil ze současných 324 mm na 559 mm. Dále jsem přistoupil k rozhodnutí markantně zvětšit jeho výšku. Pylon, který na lávce najdeme dnes, je vysoký pouze 15,8 m a právě z této malé výšky pramenily problémy, které vedly až k současnému havarijnímu stavu a bylo tedy nutné provést výrazné změny. Důvody, proč je výška stávajícího pylonu tak malá, jsou uvedeny v úvodní kapitole této práce. Výšku pylonu jsem tedy zvedl na 25 m, což je hodnota, která je dostačující k tomu, aby byly závěsy dostatečně napnuté a nebyly prověšené, a zároveň nepřevyšuje špičku kostelní věže a zachovává tak ráz celé lokality a respektuje kostel jako její dominantu. Další výraznou změnu, co se návrhu pylonu týče, je jejich počet, který jsem zvýšil z jednoho na dva. Lávka je tedy v příčném řezu symetrická a nevznikají torzní momenty na mostovce.

4.1 Prvky nosné konstrukce

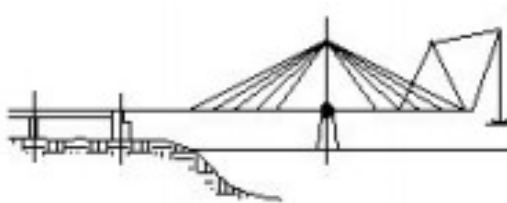
Samotná mostovka je navržena jako prefabrikovaný trám z předpjatého betonu a celý její průřez včetně říms je uvažován jako nosný. Má jednostranný sklon 1,5 % a v levé části pochozí šířky je navržen odvodňovací proužek. Na celé délce lávky najdeme dva tvary mostovky, neboť v částech, kde jsou kotveny závěsy jsem rozšířil římsy z 500 mm na 970 mm. Do říms, jsou v těchto místech umístěny speciálně tvarované ocelové plechy tloušťky 50 mm, do kterých jsou umístěny čepy. Plechy jsou uvnitř mostovky spojeny ocelovým nosníkem HE160B, ke kterému jsou připevněny pomocí svarů. Prefabrikované dílce mají délku 5 m, rozšíření říms v místě závěsů má délku 1,9 m včetně 0,4 m dlouhých náběhů. Délka dílce nad podporou je rovna 6,83 m. Na mostovce byla aplikována NAIP izolace o tloušťce 15 mm a na římsách je umístěno ocelové zábradlí o výšce 1,3 m, což je hodnota vyhovující pro pohyb cyklistů. Podélný sklon mostovky je 4 %.

Závěsy jsou v půdorysu rovnoběžné, vedou ve dvou rovinách a při návrhu jsem na ně použil tři různé průřezy. První dvojice závěsů má průměr 95 mm, další mají 85 mm a poslední závěs vedoucí z pylonu přímo do pravé opěry byl uvažován s průměrem 140 mm. Nicméně při tvorbě výsledných výkresů a řešení detailů kotvení jsem se rozhodl přehodnotit původní návrh, kdy jsem uvažoval závěsy jako lana, a zvolil jsem závěsy tyčové, které ale výrobce s uvedeným průměrem 140 mm nenabízí. Rozhodl jsem se je tedy nahradit dvojicí tyčí s průměrem 75 mm. Kotvení závěsů je zajištěno pomocí čepů Macalloy, takové kotvení umožňuje pootočení závěsů ve svislé rovině, ale brání posunu i pootočením v rovinách vodorovných. Ke svislému pootočení dochází při změnách teploty a je důležité, aby mu nebylo bráněno, jinak by docházelo k nárůstu napětí v závěsech. Kotvení k pylonům je pak zajištěno týmiž čepy, které jsou k pylonům připojeny pomocí plechu BFRL 800x80, který prochází skrz pylon a je k němu přivařen.

Jak jsem již zmínil, návrh pylonů se od toho původního liší nejvíce. Navrhnul jsem dvojici pylonů s průřezem z ocelové trubky o průměru 559 mm a tloušťce stěn 20 mm. Při posouzení vzpěru se ovšem tento průřez ukázal jako nevyhovující a rozhodl jsem se jej tedy vyplnit betonovou injektáží. Pylony jsou uloženy přímo na podpoře a jejich spolupůsobení s mostovkou je zajištěno svarovým propojením s nosníkem IPE200, který podpírá mostovku v místě podpory, a následným zmonolitněním. Závěsy jsou do pylonu kotveny ve dvou místech, a to ve výškách 23 m a 25,5 m nad mostovkou.

4.2 Výstavba lávky

Jako řešení pro výstavbu lávky navrhuji technologii letmé montáže, která je pro zavěšené mosty obecně velmi výhodná. Jeřáb, který manipuluje s jednotlivými dílci, slouží i k rektifikaci závěsů (obr. 12). Ve vedlejším poli není nijak bráněno k přístupu a je tedy možné dílce zvedat přímo e země a umisťovat do správné polohy, v hlavním poli navrhuji dopravit dílce po lodích, ze kterých je bude osazovat jeřáb umístěný na mostovce. Po osazení všech prefabrikátů bude provedeno zmonolitnění pomocí cementové malty.

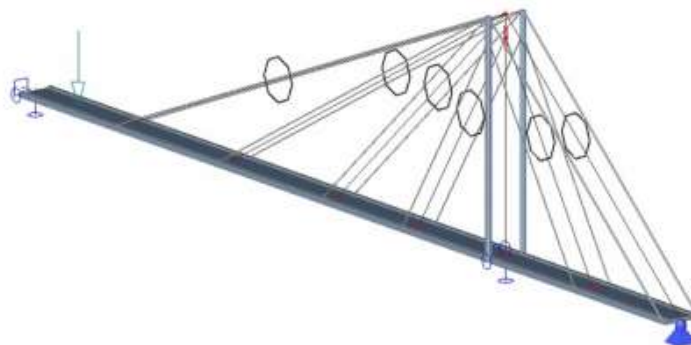


Obrázek 12 - Letmá montáž

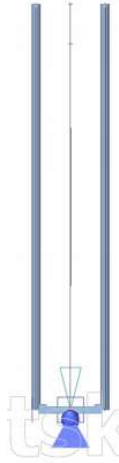
4.3 Statický výpočet

4.3.1 Výpočetní model

K vymodelování konstrukce jsem použil program SCIA Engineer. Lávka byla vymodelována ve 3D jako prutová konstrukce (obr. 13). Pevnou podporu jsem umístil nad pravou opěru, bude tak zabráněno změnám předpětí závěsů, které by vznikalo pohyby mostovky od teplotních změn, pokud by byla tato podpora umístěna pod pylon. V modelu je zabráněno pootočení konstrukce kolem vodorovné osy mostovky. U reálné konstrukce je tomuto pootočení zabráněno její tuhostí. Všechny podpory zabraňují svislým posunům a umožňují pootočení okolo vodorovné osy, která je na mostovku kolmá. Průřezy, které jsou použity pro závěsy a pylon, jsou vybrány z knihovny průřezů a jsou vždy modelovány jako dvojice stejných průřezů s osovou vzdáleností 4560 mm (obr. 14). Závěsy jsou modelovány jako ocelová tyčová táhla o různých profilech a jejich připojení k pylonu i mostovce je kloubové. Průřez mostovky byl importován z programu Autocad. Průřezové charakteristiky jednotlivých prvků jsou popsány v tabulkách (Tab. 1; Tab. 2; Tab. 3; Tab. 4; Tab. 5).



Obrázek 13 - Výpočetní model



A [m ²]	8,0429e-01
A _y [m ²]	6,4168e-01
A _z [m ²]	6,4168e-01
AL [m ² /m]	3,5121e+00
AD [m ² /m]	3,5121e+00
cYUCS [mm]	0
cZUCS [mm]	0
α [deg]	0,00
I _y [m ⁴]	2,0982e-02
I _z [m ⁴]	3,7388e+00
i _y [mm]	162
i _z [mm]	2156
W _{ely} [m ³]	7,5070e-02
W _{elz} [m ³]	1,5389e+00
W _{ply} [m ³]	9,5526e-02
W _{plz} [m ³]	1,0783e+00

Tabulka 1 - Průřezové charakteristiky pylonu

A [m ²]	1,7723e+00
Ay [m ²]	1,4026e+00
Az [m ²]	1,5605e+00
AL [m ² /m]	9,2964e+00
AD [m ² /m]	9,2964e+00
cYUCS [mm]	0
cZUCS [mm]	-51
α [deg]	0,00
Iy [m ⁴]	3,3821e-02
Iz [m ⁴]	2,6154e+00
iy [mm]	138
iz [mm]	1215
Wely [m ³]	9,7528e-02
Welz [m ³]	1,3088e+00
Wply [m ³]	0,0000e+00
Wplz [m ³]	0,0000e+00

Tabulka 2 - Průřezové charakteristiky mostovky

A [m ²]	1,2721e-02
Ay [m ²]	1,1443e-02
Az [m ²]	1,1463e-02
AL [m ² /m]	5,6546e-01
AD [m ² /m]	5,6546e-01
cYUCS [mm]	0
cZUCS [mm]	0
α [deg]	0,00
Iy [m ⁴]	6,4386e-06
Iz [m ⁴]	5,8809e-02
iy [mm]	22
iz [mm]	2150
Wely [m ³]	1,4308e-04
Welz [m ³]	2,6792e-02
Wply [m ³]	2,4293e-04
Wplz [m ³]	2,7350e-02

Tabulka 3 - Průřezové charakteristiky 1. závěsu

A [m ²]	1,0051e-02
Ay [m ²]	9,0335e-03
Az [m ²]	9,0335e-03
AL [m ² /m]	5,0263e-01
AD [m ² /m]	5,0263e-01
cYUCS [mm]	0
cZUCS [mm]	0
α [deg]	0,00
Iy [m ⁴]	4,0196e-06
Iz [m ⁴]	4,6465e-02
iy [mm]	20
iz [mm]	2150
Wely [m ³]	1,0049e-04
Welz [m ³]	2,1217e-02
Wply [m ³]	1,7061e-04
Wplz [m ³]	2,1610e-02

Tabulka 4 - Průřezové charakteristiky-střední závěsy

A [m ²]	3,0781e-02
Ay [m ²]	2,7651e-02
Az [m ²]	2,7651e-02
AL [m ² /m]	8,7960e-01
AD [m ² /m]	8,7960e-01
cYUCS [mm]	0
cZUCS [mm]	0
α [deg]	0,00
Iy [m ⁴]	3,7700e-05
Iz [m ⁴]	1,4232e-01
iy [mm]	35
iz [mm]	2150
Wely [m ³]	5,3856e-04
Welz [m ³]	6,4110e-02
Wply [m ³]	9,1439e-04
Wplz [m ³]	6,6180e-02

Tabulka 5 - Průřezové charakteristiky-poslední závěs

4.3.2 Materiál

4.3.2.1 Beton

Mostovka je včetně říms navržena z betonu C50/60 - XF3+XD1 a tentýž materiál je použit i pro injektáž pylonu. Jeho vlastnosti jsou následující.

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

$$f_{cm} = 58 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,05} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,95} = 5,3 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 4,1 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 37 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon = 3,5 \%$$

$$\nu = 0,2$$

$$\alpha = 0,000010 \text{ K}^{-1}$$

4.3.2.2 Ocel

Ocel je v konstrukci použita na závěsy, pylon a výztuž. Závěsy a jsou vyrobeny z oceli

S 460 NH/NLH, ocelová trubka, která tvoří pylon, je z oceli S 355 M, na betonářskou výztuž je použita ocel B500B a předpjatá výztuž je vyrobena z oceli Y1860S7-15,7. Jednotlivé ocele mají tyto vlastnosti.

S 460 NH/NLH

$$f_y = 460 \text{ MPa}$$

$$f_u = 570 \text{ MPa}$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 0,000012 \text{ K}^{-1}$$

B500B

$$f_y = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{y,d} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 0,000012 \text{ K}^{-1}$$

Y1860S7-15,7

$$\varnothing = 15,7 \text{ mm}$$

$$A = 150 \text{ mm}$$

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

$$f_{p0,1k} = 1636,8 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = 1423,3 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195000 \text{ MPa}$$

S 355 M

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

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 0,000012 \text{ K}^{-1}$$

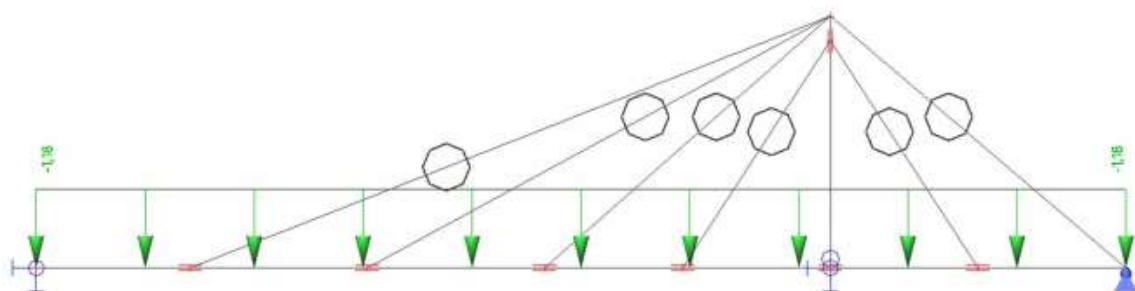
4.3.3 Zatížení

4.3.3.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení je v modelu reprezentováno vlastní tíhou konstrukce, které je generováno přímo programem SCIA engineer, ostatním stálým zatížením, jehož číselná hodnota je určena v tabulce (Tab. 6), a předpětím závěsů. Předpětí je do výpočtu vneseno jako zatížení zápornou změnou teploty, které je vneseno do závěsů. Jelikož jsem ve výpočetním modelu použil pro mostovku konstantní průřez, bude ve výpočtu vlastní tíhy zanedbán větší rozměr říms v místech kotvení závěsů do mostovky. Účinky od předpětí závěsů jsou modelovány jako zatížení snížením teploty, které je vneseno do závěsů. Hodnota tohoto zatížení byla nastavena tak, aby průhyby mostovky byly v místech kotvení závěsů nulové.

Ostatní stálé	A[m ²]	γ[kN.m ⁻³]	g[kN/m]
Izolace	0,015	12	0,18
Zábradlí			1
Celkem			1,18

Tabulka 6 - Ostatní stálé zatížení



Obrázek 15 - Ostatní stálé zatížení

4.3.3.2 Proměnná zatížení

Proměnná zatížení jsem ve výpočtu uvažoval od chodců, změn teplot a od pojezdu nouzovým vozidlem. Vlivy větru a sněhu jsem se pro zjednodušení rozhodl zanedbat. Působení jednotlivých zatížení se bude věnovat několik následujících kapitol.

4.3.3.2.1 Zatížení teplotou

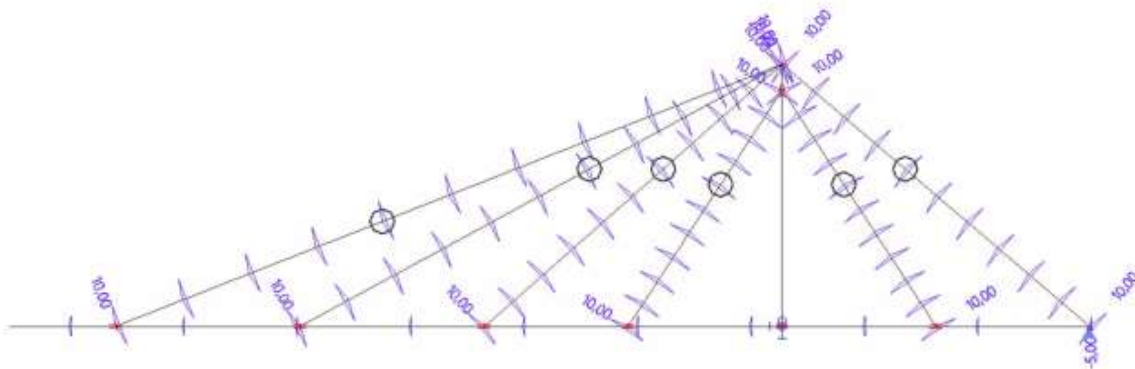
Ve svých výpočtech jsem uvažoval tři různé zatěžovací stavy od změn teplot. Prvními dvěma zatíženími jsou nerovnoměrné ohřátí a ochlazení mostovky. Při ohřátí mostovky je horní povrch mostovky teplejší než dolní a u ochlazení je tomu opačně. Rozdíly těchto teplot jsou popsány v tabulkách (tab. 7; tab. 8). Třetím uvažovaným zatěžovacím stavem byl stav, který nastává především v ranních hodinách, kdy dochází k postupnému ohřívání konstrukce, které se ovšem projeví na závěsech mnohem rychleji, než je tomu u mostovky. V modelu jsem tuto situaci vyjádřil tak, jak to prezentuje obrázek (Obr. 16). Číselné hodnoty tohoto zatížení jsem určil podle denních teplotních rozdílů, které pro tuto lokalitu udává ČHMÚ.

Ohřátí
$\Delta T_{M,heat} = 10^{\circ}\text{C}$
$k_{sur} = 1,5$

Tabulka 8 - Ohřátí mostovky

Ochlazení
$\Delta T_{M,cool} = 5^{\circ}\text{C}$
$k_{sur} = 1,0$

Tabulka 7 - Ochlazení mostovky



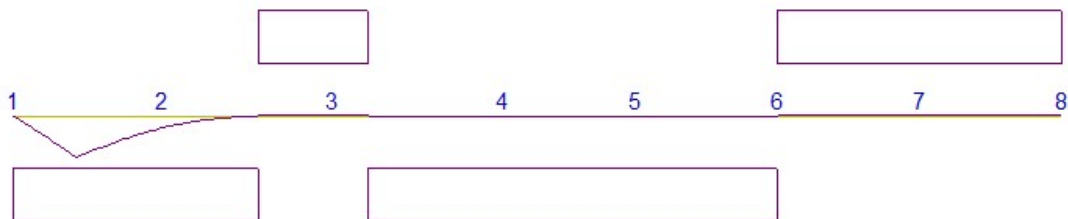
Obrázek 16 - Zatížení změnou teploty

4.3.3.2.2 Zatížení od pohybu chodců

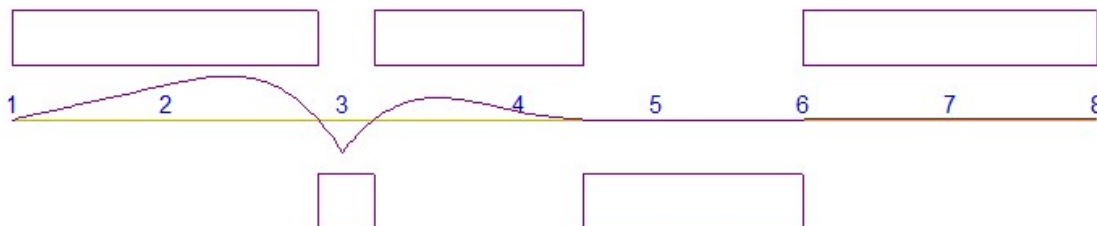
Toto zatížení bylo v modelu vytvořeno jako pohyblivé spojitě zatížení, jehož hodnota byla stanovena výpočtem a je uvedena v tabulce (Tab. 9). Ve výpočtu liniového zatížení q je uvažována pochozí šířka 3 m. Další obrázky uvádí průběh příčinkových čar ohybových momentů pro dva nejvíce namáhané průřezy a přibližné umístění zatížení pro dosažení extrémních hodnot.

	Délka rozpětí	$q[\text{kN/m}^2]$	$q[\text{kN/m}]$
$q=2,0+120/(L+30)$	$L=110,63\text{m}$	2,853302994	8,559908981

Tabulka 9 - Zatížení od chodců



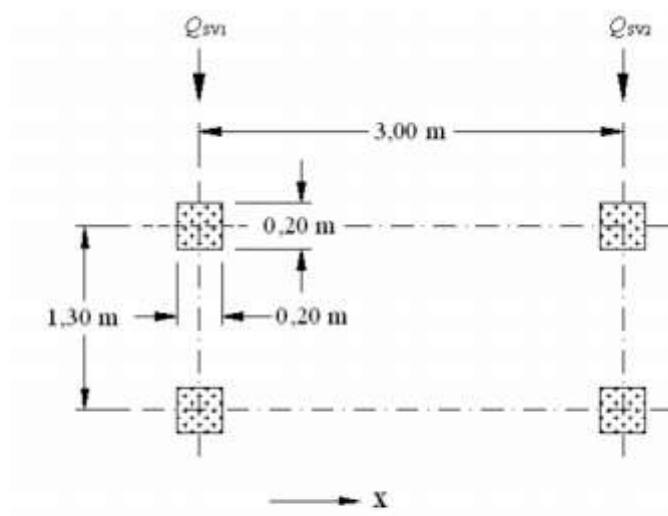
Obrázek 17 - Příčinková čára ohybového momentu v řezu $x = 6,6\text{ m}$



Obrázek 18 - Příčinková čára ohybového momentu v řezu $x = 33,63\text{ m}$

4.3.3.2.3 Zatížení dopravou

Jak již bylo zmíněno, účinky od dopravy zde reprezentuje zatížení vozidlem nouzovým vozidlem. To bylo do výpočetního programu vneseno obdobným způsobem jako zatížení od chodců, a to skrze pohyblivé zatížení. Jen se v tomto případě nejednalo o spojitě zatížení, ale o dvojici sil vyvozenou od náprav vozidla. Jejich hodnoty byly stanoveny podle následujícího obrázku (Obr. 19). Průběh příčinkových čar ohybových momentů je stejný jako ve výše umístěných obrázcích, jen místo spojitěho zatížení zde umísťujeme dvojici sil.



Legenda

x podélná osa mostu

$Q_{sv1} = 80 \text{ kN}$

$Q_{sv2} = 40 \text{ kN}$

Obrázek 19 - Schéma zatížení od záchranného vozidla

4.3.4 Výpočet

Provedl jsem posudky závěsů, mostovky a pylonů. Po vnesení zatížení do programu SCIA engineering byly v tomtéž programu vytvořeny zatěžovací stavy a kombinace zatížení na mezní stav únosnosti i mezní stav použitelnosti. Získané hodnoty byly posléze importovány do programu Microsoft Excel, kde byly provedeny další výpočty a posudky, kterým se budu v následujících kapitolách věnovat.

4.3.4.1 Kombinace

Z jednotlivých zatěžovacích stavů byly vytvořeny kombinace podle níže popsaných vzorců.

Kombinaci pro trvalé a dočasné návrhové situace lze vyjádřit buď vztahem:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (2)$$

nebo alternativně pro mezní stavy STR a GEO jako méně příznivá kombinace z následujících dvou výrazů:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (3)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (4)$$

Kombinace pro mezní stav použitelnosti jsou vyjádřeny podle těchto vzorců.

Charakteristická kombinace zatížení (obvykle se používá pro nevratné mezní stavy):

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (5)$$

Častá kombinace zatížení (obvykle se používá pro vratné mezní stavy):

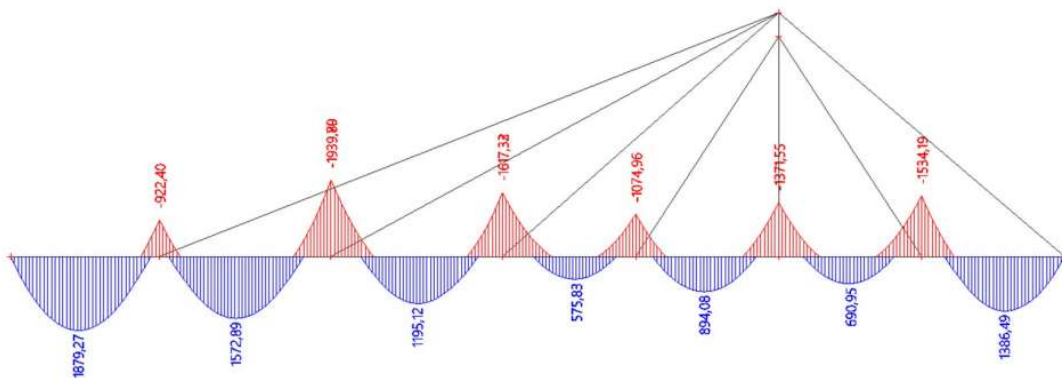
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + " \psi_{1,1} Q_{k,1} " + " \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \tag{6}$$

Kvazistálá kombinace zatížení (obvykle se používá pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce):

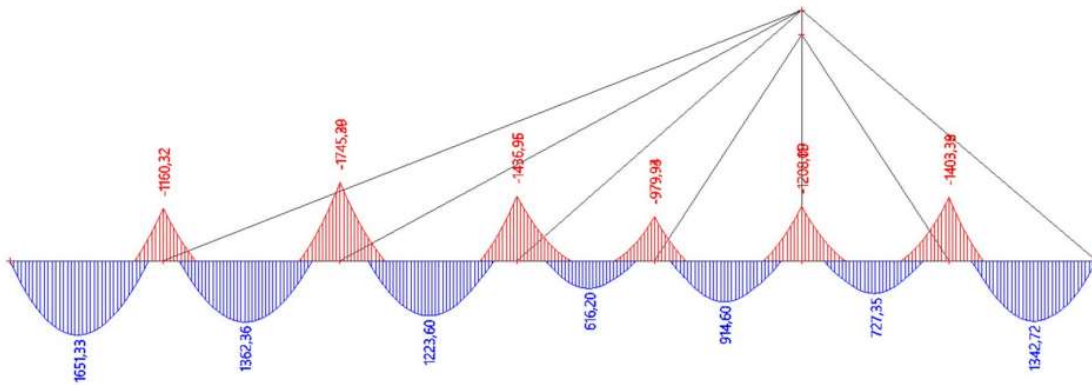
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + " \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \tag{7}$$

4.3.4.2 Vnitřní síly

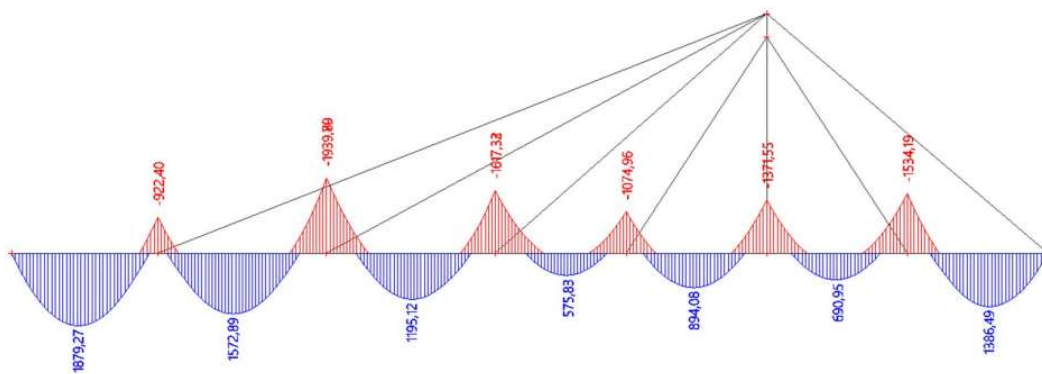
Následující obrázky popisují průběhy ohybových momentů od jednotlivých kombinací.



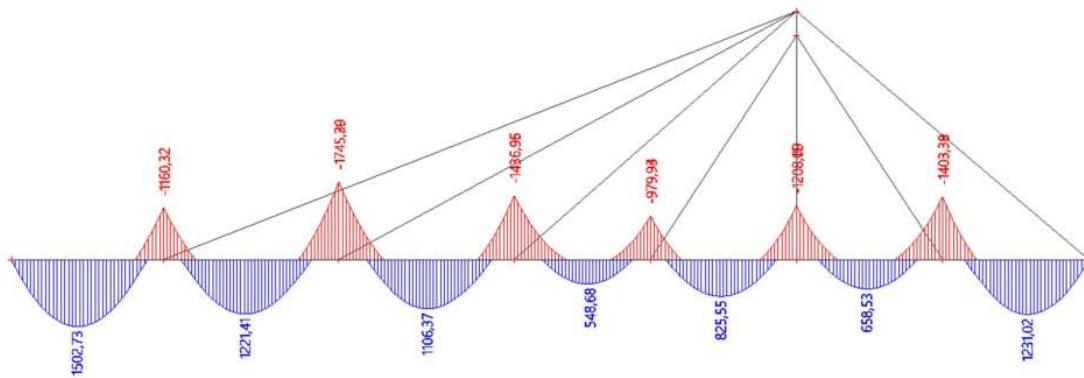
Obrázek 20 - Průběh My, Kombinace MSÚ 6.10a-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem



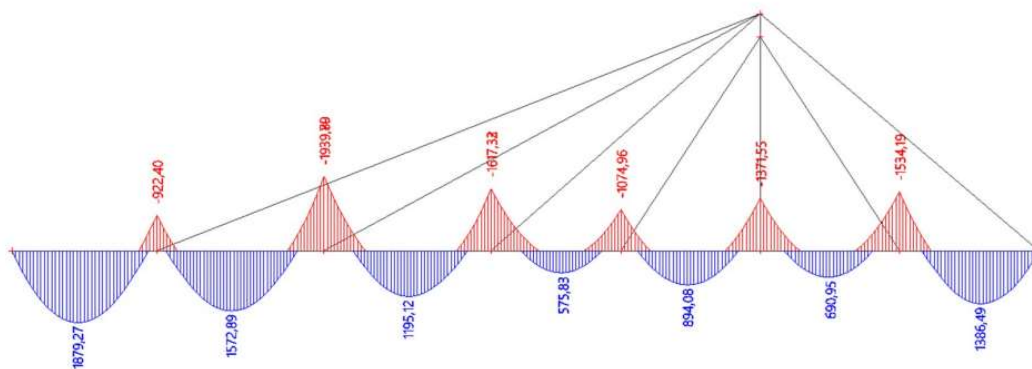
Obrázek 21 -Průběh My-Kombinace MSÚ 6.10b-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem



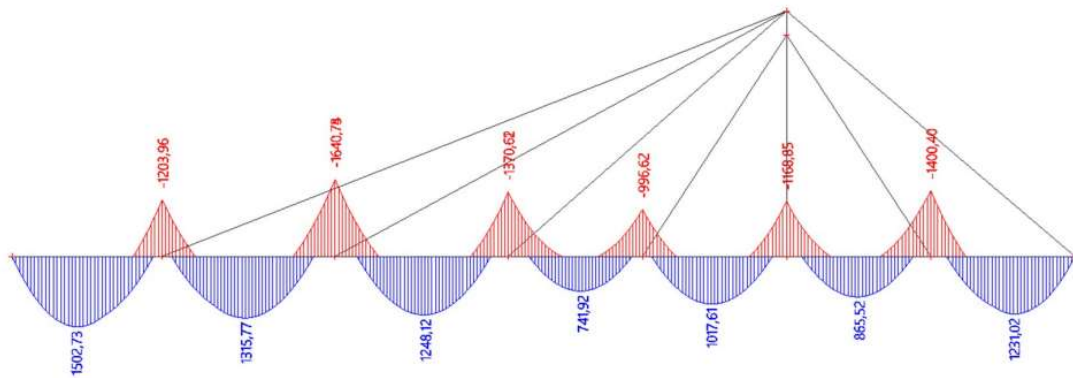
Obrázek 22-Průběh My-Kombinace MSÚ 6.10a-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci



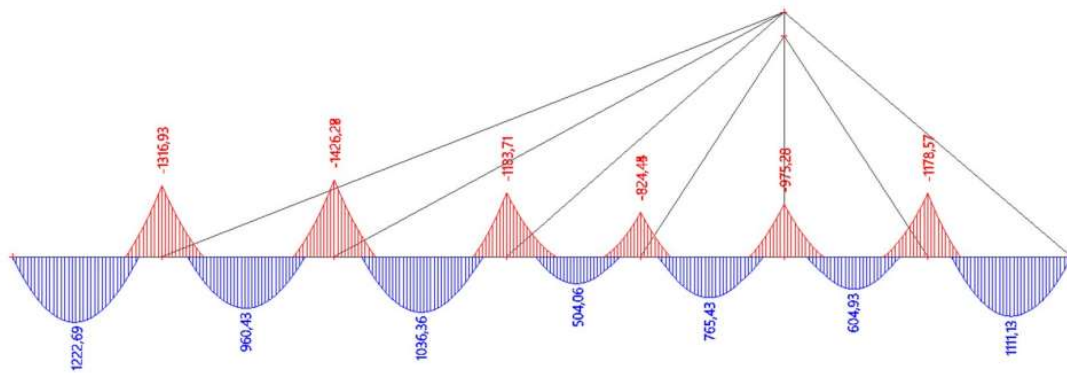
Obrázek 23-Průběh My-Kombinace MSÚ 6.10b-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci



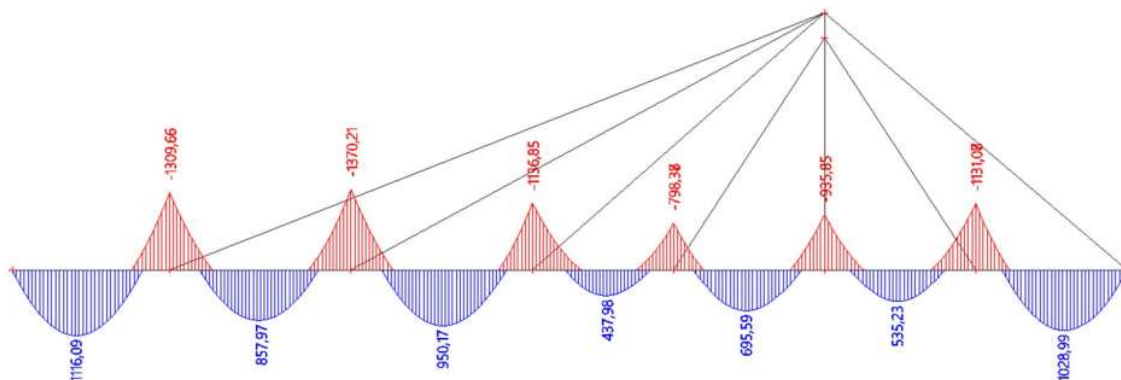
Obrázek 24-Průběh My, Kombinace MSÚ 6.10a-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty



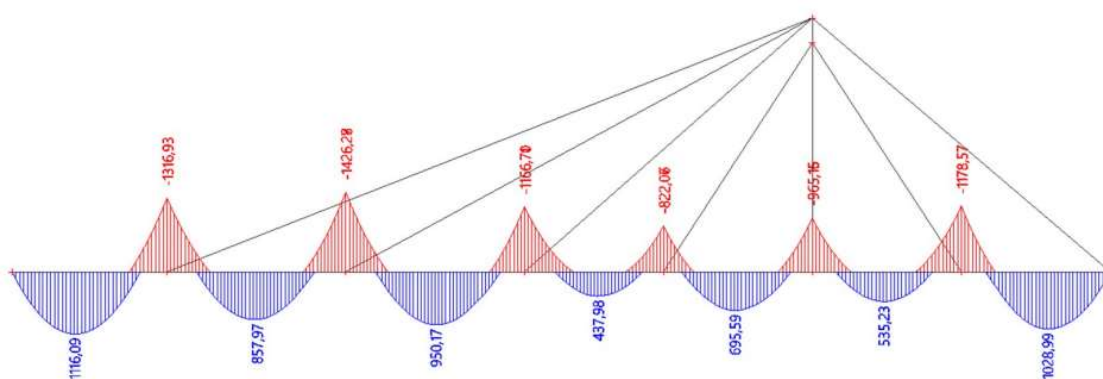
Obrázek 25-Průběh My-Kombinace MSÚ 6.10b-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty



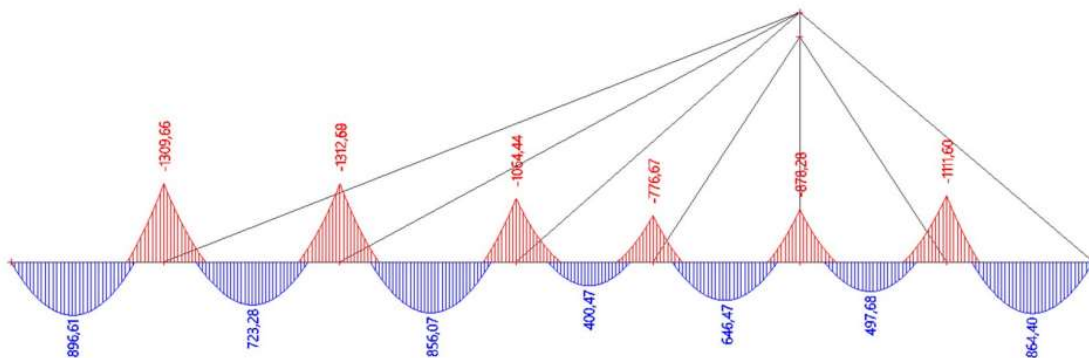
Obrázek 26-Průběh My-Charakteristická kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem



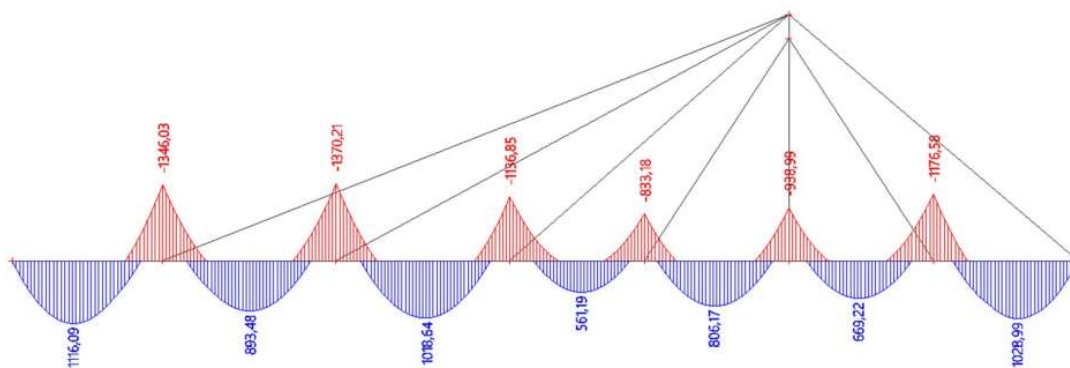
Obrázek 27 Průběh M_y -Častá kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem



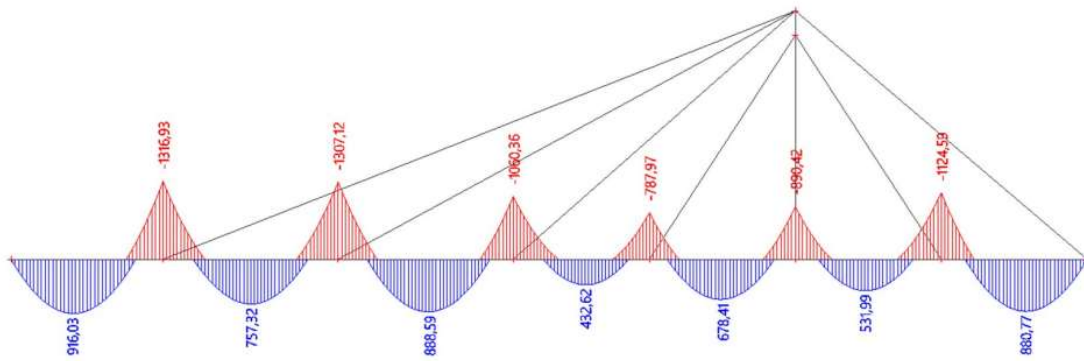
Obrázek 28 Průběh M_y -Charakteristická kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci



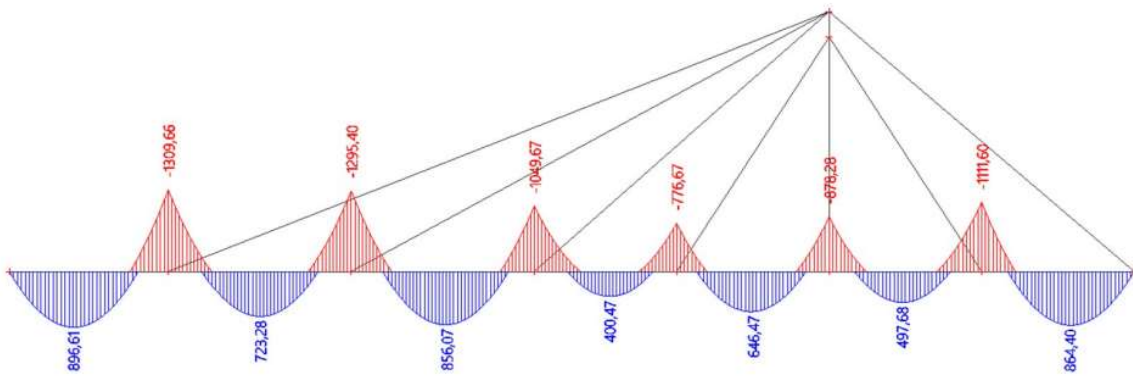
Obrázek 29-Průběh M_y -Častá kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci



Obrázek 30-Průběh M_y -Charakteristická kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty



Obrázek 31-Průběh My-Častá kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty



Obrázek 32-Průběh My-Kvazistálé kombinace

4.3.4.3 Posouzení závěsů

V posudku závěsů jsem porovnával normálové síly působící v závěsech s jejich tahovou únosností. Tahová únosnost byla určena vztahem (8) a normálové síly odpovídají extrémním hodnotám z charakteristických kombinací. Posouzení i s procentuální hodnotou využití je znázorněno v tabulce (tab. 10). Následně jsem určil průměr závěsů tak, aby jejich využití (poměr normálových sil a tahové únosnosti) nepřesáhlo hodnotu 50 %.

$$N_{Rk} = \frac{A}{f_{yk}} \quad (8)$$

Závěs	Průměr	Plocha	N_{ek}	f_{yk}	f_{yd}	N_{Rk}	Využití závěsu
	[mm]	[mm ²]	[kN]	[MPa]	[MPa]	[kN]	
1	90	12723,45	2765,83	460	400	5852,787	47%
2	80	10053,1	2005,78	460	400	4624,424	43%
3	80	10053,1	1279,6	460	400	4624,424	28%
4	80	10053,1	881,31	460	400	4624,424	19%
5	80	10053,1	1027,55	460	400	4624,424	22%
6	140	30787,61	6575,8	460	400	14162,3	46%

Tabulka 10 - Posouzení závěsů

4.3.4.4 Posouzení mostovky

4.3.4.4.1 Předpětí mostovky

Předpětí bylo navrženo na extrémní hodnoty ohybového momentu z kombinací MSP ve 13 různých řezech. Jedná se o řezy obsažené v tabulce (tab. 11). Hodnoty ohybových momentů v jednotlivých řezech byly vyčteny z průběhů momentů z programu SCIA engineering a další výpočty i posudek proběhli v Microsoft Excel.

x=6,6 m
x=15,63 m
x=24,27 m
x=33,63 m
x=42,63 m
x=51,63 m
x=58,98 m
x=65,63 m
x=73,13 m
x=80,63 m
x=87,755 m
x=95,63 m
x=104,255 m

Tabulka 11 - Posuzované řezy

Z výpočtu předběžného návrhu předpětí vyplynul požadavek navrhnout 48 lan, které jsem se rozhodl rozdělit do 4 kabelů po 12 lanech. Hodnota tahového napětí ve výpočtu je určena jako největší hodnota normálového napětí na mostovce a vychází při kvazistálé kombinaci zatížení. Můžeme vidět, že tato hodnota je větší, než tahová pevnost betonu.

Předběžný návrh předpětí:

- konstrukční zásady

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{def}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,y} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10\} \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{80; 50; 10\}$$

$$c_{min} = 80 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 80 + 10$$

$$\underline{c_{nom} = 90 \text{ mm}}$$

- Mezery mezi kabelovými kanálky

- vodorovně: ≥ 90 mm
 ≥ 50 mm
 $\geq d_g + 5$ mm

→ 100 mm

- svisle: ≥ 90 mm
 ≥ 40 mm
 $\geq d_g$

→ 100 mm

Největší tahové napětí: $\sigma_{Ed,max} = 13,4$ MPa

Síla od tahového
napětí:

$$F_{Ed} = \sigma_{Ed,max}/A$$

$$F_{Ed} = 13,4/1,7723$$

$$F_{Ed} = 7,56 \text{ MN}$$

Maximální napětí v předpínací výztuži při napínání:

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

Napětí v předpínací výztuži na konci životnosti ($t = 100$ let; 25 % předpínací síly)

$$\sigma_p(100 \text{ let}) = (1,00 - 0,25) * 1473,0 = 1104,75 \text{ MPa}$$

Nutná plocha výztuže:

$$A_{nut} = \frac{F_{Ed}}{\sigma_p(100 \text{ let})}$$

$$A_{nut} = \frac{7,561}{1104,75}$$

$$A_{nut} = 6843,90 \text{ mm}^2$$

Nutný počet lan:

$$n = A_{nut}/A_p$$

$$n = 46 \quad \text{VOLÍM} \rightarrow 48$$

V dalším výpočtu jsem stanovil hodnotu předpínací síly a ohybové momenty, které jsou od ní vyvozeny v jednotlivých řezech. Níže je uveden příklad tohoto výpočtu pro první řez.

Předpínací síla:

$$N_{\max} = \sigma_{\max} \cdot A_p \cdot n = 1473 \cdot 128 \cdot 150 = -10,606 \text{ MN}$$

Moment od předpínací síly:

$$M_{p1,\max} = P_{\max} \cdot e_1 = 10,6056 \cdot 0,150 = -1,5908 \text{ MNm}$$

Tyto hodnoty byly posléze zredukovány kvůli ztrátám předpětí, ke kterým v průběhu životnosti dochází. Tyto ztráty jsou způsobeny krátkodobou a dlouhodobou relaxací předpínací výztuže, smršťováním a vysycháním betonu, pokluzem výztuže v kotevním bloku nebo pružným přetvořením betonu v kotevním bloku. Číselně je lze stanovit v procentech a to tak, že v čase vnesení napětí odpovídají ztráty 5 %, při uvedení konstrukce do provozu jsou rovny 15 % a na konci životnosti dosahují 25 % původní hodnoty. Po tomto upravení předpínací síly a momentu, který vyvolává, jsem zahájil výpočet napětí v mostovce podle vzorce (9) v uvedených časech a řezech. Protože byly tyto hodnoty určeny při dolních i horních vláknech a pro minimální i maximální hodnoty ohybových momentů pro všechny kombinace, uvedu zde jen ukázkou výpočtu normálového napětí v horních vláknech průřezu v řezu $x = 6,6$ m pro ohybový moment od stálého zatížení. Ostatní hodnoty budou uvedeny v tabulkách (tab. 13 - tab. 18) bez podrobného výpočtu.

$$\sigma_{c,n}^{h/d} = \frac{N_p}{A} + \frac{M}{W_{h/d}} + \frac{M_p}{W_{h/d}} \quad (9)$$

Kde N_p a M_p jsou vnitřní síly od předpětí, M je ohybový moment od daného zatížení a $W_{h/d}$ je modul průřezu pro horní/dolní vlákna, který byl stanoven ručním výpočtem ze zjednodušeného průřezu, u kterého byl zanedbán jeho příčný sklon. Jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce (tab. 12).

$w_h =$	$9,39E-02 \text{ m}^3$
$w_d =$	$1,47E-01 \text{ m}^3$

Tabulka 12 - Moduly průřezu mostovky

Ukázka výpočtu normálového napětí v mostovce v 1. řezu v čase vnesení předpětí při působení stálého zatížení:

$$\sigma_{c,1^h} = \frac{-10,075}{1,75080} + \frac{0,907}{0,09395} + \frac{0,803}{0,09395}$$

$$\sigma_{c,1^h} = -5,755 + 9,652 - 8,545$$

$$\sigma_{c,1^h} = \underline{\underline{-4,648}} \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,1^d} = \frac{-10,075}{1,75080} + \frac{0,907}{0,14705} + \frac{0,803}{0,14705}$$

$$\sigma_{c,1^d} = -5,755 - 6,166 + 5,459$$

$$\sigma_{c,1^d} = \underline{\underline{-6,462}} \text{ MPa}$$

Hodnoty dalších normálových napětí:

Zatížení		Vlákna	Napětí v řezech [MPa]				
			1	2	3	4	5
Stálé	V čase předpětí	h	-4,648	-5,305	-6,319	-9,362	-5,861
		d	-6,462	-5,467	-6,115	-8,059	-5,823
	Uvedení do prov.	h	-5,240	-6,167	-5,036	-9,772	-4,466
		d	-5,207	-5,799	-5,076	-8,103	-4,712
	Konec životnosti	h	-3,618	-7,028	-3,752	-10,182	-3,070
		d	-3,952	-6,131	-4,038	-8,146	-3,602
Ch - max	V čase předpětí	h	-2,353	-0,159	-1,948	-5,699	-2,210
		d	-3,581	-2,180	-3,323	-5,719	-3,490
	Uvedení do prov.	h	-0,731	-1,021	-0,665	-6,110	-0,815
		d	-5,207	-3,117	-2,285	-5,763	-2,380
	Konec životnosti	h	0,891	-0,159	0,618	-6,520	0,581
		d	-3,952	-2,844	-1,246	-5,806	-1,269
Ch - min	V čase předpětí	h	-7,181	-6,076	-7,328	-11,387	-7,047
		d	-6,666	-5,960	-6,760	-9,353	-6,580
	Uvedení do prov.	h	-5,559	-6,938	-6,045	-11,797	-5,651
		d	-5,207	-6,292	-5,722	-9,396	-5,470
	Konec životnosti	h	-3,937	-6,076	-4,762	-12,208	-4,255
		d	-3,952	-6,624	-4,683	-9,440	-4,359
Č - max	V čase předpětí	h	-3,493	-2,217	-3,050	-7,164	-3,129
		d	-4,310	-3,495	-4,027	-6,655	-4,077
	Uvedení do prov.	h	-1,872	-3,079	-1,767	-7,575	-1,733
		d	-5,207	-3,827	-2,988	-6,699	-2,967
	Konec životnosti	h	-0,250	-2,217	-0,484	-7,985	-0,337
		d	-3,952	-4,158	-1,950	-6,742	-1,856
Č - min	V čase předpětí	h	-7,057	-5,767	-6,924	-10,782	-6,620
		d	-6,587	-5,763	-6,502	-8,967	-6,307
	Uvedení do prov.	h	-5,436	-6,629	-5,641	-11,192	-5,829
		d	-5,207	-6,095	-5,464	-9,010	-5,197
	Konec životnosti	h	-3,814	-5,767	-4,358	-11,603	-3,828
		d	-3,952	-6,427	-4,425	-9,053	-4,086

Tabulka 13 - Napětí v řezech 1-5 pro stálé zatížení, charakteristickou a častou kombinaci

Zatížení		Vlákna	Napětí v řezech [MPa]				
			1	2	3	4	5
Kv - max	V čase předpětí	h	-5,843	-2,732	-4,510	-7,531	-4,138
		d	-5,811	-3,824	-4,959	-6,889	-4,722
	Uvedení do prov.	h	-4,221	-3,594	-3,227	-7,941	-2,742
		d	-5,207	-4,155	-3,921	-6,933	-3,611
	Konec životnosti	h	-2,600	-2,732	-1,944	-8,351	-1,346
		d	-3,952	-4,487	-2,882	-6,976	-2,501
Kv - min	V čase předpětí	h	-7,026	-5,690	-6,823	-9,986	-6,454
		d	-6,567	-5,714	-6,438	-8,458	-6,201
	Uvedení do prov.	h	-5,405	-6,552	-5,540	-10,396	-5,058
		d	-5,207	-6,045	-5,399	-8,501	-5,091
	Konec životnosti	h	-3,783	-5,690	-4,257	-10,806	-3,662
		d	-3,952	-6,377	-4,361	-8,545	-3,980

Tabulka 14 - Napětí v řezech 1-5 pro kvazistálou kombinaci

Zatížení		Vlákna	Napětí v řezech [MPa]			
			6	7	8	9
Stálé	V čase předpětí	h	-6,585	-4,275	-4,951	-5,166
		d	-6,285	-4,809	-5,241	-5,379
	Uvedení do prov.	h	-6,995	-3,556	-5,248	-4,109
		d	-6,328	-4,131	-5,212	-4,485
	Konec životnosti	h	-7,405	-2,837	-5,546	-3,052
		d	-6,372	-3,453	-5,184	-3,590
Ch - max	V čase předpětí	h	-3,336	-0,843	-1,354	-1,449
		d	-4,209	-2,617	-2,943	-3,004
	Uvedení do prov.	h	-3,746	-0,125	-1,652	-0,392
		d	-4,253	-1,939	-2,915	-2,110
	Konec životnosti	h	-4,156	0,594	-1,949	0,666
		d	-4,296	-1,261	-2,886	-1,215
Ch - min	V čase předpětí	h	-8,566	-5,450	-6,171	-6,048
		d	-7,551	-5,560	-6,020	-5,942
	Uvedení do prov.	h	-8,976	-4,732	-6,468	-4,991
		d	-7,594	-4,882	-5,992	-5,048
	Konec životnosti	h	-9,386	-4,013	-6,765	-3,934
		d	-7,637	-4,205	-5,963	-4,154
Č - max	V čase předpětí	h	-4,635	-2,128	-2,793	-2,612
		d	-5,040	-3,437	-3,863	-3,747
	Uvedení do prov.	h	-5,046	-1,409	-3,090	-1,555
		d	-5,083	-2,760	-3,834	-2,853
	Konec životnosti	h	-5,456	-0,690	-3,388	-0,497
		d	-5,126	-2,082	-3,805	-1,958
Č - min	V čase předpětí	h	-8,071	-4,980	-5,683	-5,580
		d	-7,234	-5,260	-5,709	-5,643
	Uvedení do prov.	h	-8,481	-4,261	-5,980	-4,523
		d	-7,278	-4,582	-5,680	-4,749
	Konec životnosti	h	-8,891	-3,543	-6,277	-3,466
		d	-7,321	-3,904	-5,651	-3,855

Tabulka 15 - Napětí v řezech 6-9 pro stálé zatížení, charakteristickou a častou kombinaci

Zatížení		Vlákna	Napětí v řezech [MPa]			
			6	7	8	9
Kv - max	V čase předpětí	h	-4,960	-2,559	-3,153	-3,164
		d	-5,247	-3,713	-4,092	-4,100
	Uvedení do prov.	h	-5,371	-1,840	-3,450	-2,107
		d	-5,291	-3,035	-4,064	-3,205
	Konec životnosti	h	-6,992	-1,122	-3,747	-1,049
		d	-5,334	-3,569	-4,035	-2,311
Kv - min	V čase předpětí	h	-7,148	-4,863	-5,561	-5,464
		d	-6,645	-5,185	-5,631	-5,569
	Uvedení do prov.	h	-7,559	-4,144	-5,858	-4,406
		d	-6,688	-4,507	-5,602	-4,674
	Konec životnosti	h	-7,969	-3,425	-6,156	-3,349
		d	-6,732	-3,829	-5,573	-3,780

Tabulka 16 - Napětí v řezech 6-9 pro kvazistálou kombinaci

Zatížení		Vlákna	Napětí v řezech [MPa]			
			10	11	12	13
Stálé	V čase předpětí	h	-3,654	-4,416	-7,304	-5,984
		d	-4,413	-4,899	-6,745	-5,901
	Uvedení do prov.	h	-4,177	-3,584	-7,715	-4,475
		d	-4,528	-4,149	-6,788	-4,719
	Konec životnosti	h	-4,701	-2,753	-8,125	-2,966
		d	-4,644	-3,399	-6,831	-3,536
Ch - max	V čase předpětí	h	-0,391	-0,783	-3,263	-2,493
		d	-2,328	-2,578	-4,163	-3,671
	Uvedení do prov.	h	-0,914	0,049	-3,673	-0,984
		d	-2,443	-1,828	-4,206	-2,488
	Konec životnosti	h	-1,437	0,880	-4,083	0,525
		d	-2,559	-1,078	-4,249	-1,305
Ch - min	V čase předpětí	h	-5,343	-5,652	-8,669	-6,610
		d	-5,492	-5,689	-7,617	-6,301
	Uvedení do prov.	h	-5,867	-4,820	-9,080	-5,102
		d	-5,607	-4,939	-7,660	-5,119
	Konec životnosti	h	-6,390	-3,989	-9,490	-3,593
		d	-5,723	-4,189	-7,703	-3,936
Č - max	V čase předpětí	h	-1,696	-2,144	-4,880	-3,377
		d	-3,162	-3,448	-5,196	-4,236
	Uvedení do prov.	h	-2,219	-1,312	-5,290	-1,869
		d	-3,277	-2,698	-5,239	-3,053
	Konec životnosti	h	-2,742	-0,481	-5,700	-0,360
		d	-3,393	-1,948	-5,282	-1,870
Č - min	V čase předpětí	h	-4,920	-5,157	-8,123	-6,378
		d	-5,222	-5,373	-7,268	-6,153
	Uvedení do prov.	h	-5,444	-4,326	-8,534	-4,870
		d	-5,337	-4,623	-7,311	-4,970
	Konec životnosti	h	-5,967	-3,494	-8,944	-3,361
		d	-7,954	-3,873	-7,355	-4,999

Tabulka 17 - Napětí v řezech 10-13 pro stálé zatížení, charakteristickou a častou kombinaci

Zatížení		Vlákna	Napětí v řezech [MPa]			
			10	11	12	13
Kv - max	V čase předpětí	h	-2,023	-2,600	-5,284	-5,172
		d	-3,370	-3,739	-5,454	-5,382
	Uvedení do prov.	h	-2,546	-1,768	-5,694	-3,663
		d	-3,486	-2,989	-5,497	-4,199
	Konec životnosti	h	-3,069	-0,937	-6,104	-2,154
		d	-3,601	-2,239	-5,540	-3,017
Kv - min	V čase předpětí	h	-4,287	-5,034	-7,987	-6,320
		d	-4,817	-5,294	-7,181	-6,116
	Uvedení do prov.	h	-4,810	-4,202	-8,397	-4,812
		d	-4,933	-4,544	-7,224	-4,933
	Konec životnosti	h	-5,333	-3,371	-8,807	-3,303
		d	-5,048	-3,794	-7,268	-3,751

Tabulka 18 - Napětí v řezech 10-13 pro kvazistálou kombinaci

Výpočet probíhal postupnou interpolací hodnot excentricity předpínacích kabelů v jednotlivých řezech, což mělo vliv na moment od předpínací síly. Cílem výpočtu pak bylo zajistit, aby v žádném z řezu nebyla překročena hodnota tahové pevnosti betonu a aby byl nosník po své délce namáhán tlakem. Toho ovšem nebylo dosaženo ve všech průřezech, neboť jsem byl omezen výškou nosníku a předpínací kabely by nebyly dostatečně kryty.

Výpočtem bylo ověřeno, že z hlediska MSP – omezení napětí v betonu konstrukce vyhoví.

4.3.4.4.2 Posouzení MSÚ a návrh betonářské výztuže

Posudek mezního stavu únosnosti a návrh betonářské výztuže jsem se rozhodl provést pouze ve dvou řezech. Pro návrh jsem zvolil nejvíce namáhaný řez v poli mezi závěsy a nejvíce namáhaný řez v místě kotvení závěsu. V obou průřezích bylo nejvyšší hodnoty ohybového momentu dosaženo při kombinaci MSÚ 6.10a. Návrhovou hodnotu ohybového momentu M_{Ed} zatížení jsem uvažoval pouze od účinků zatížení a vliv předpětí jsem zanedbal.

a) Řez v poli ($x=6,6m$)

$$\lambda = 0,8 \quad (f_{ck} \leq 50 \text{ MPa})$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$

$$b = 4 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 33,33 \text{ Mpa}$$

$$\eta = 1 \quad (f_{ck} \leq 50 \text{ MPa})$$

Stanovení předpínací síly:

$$N_{pd} = A_p \cdot f_{pd}$$

$$N_{pd} = 0,00015 \cdot 15 \cdot 12 \cdot 1423,304$$

$$N_{pd} = 10,2478 \text{ MN}$$

Při prostém ohybu platí:

$$N_{cd} = N_{pd}$$

$$b \cdot x_u \cdot \eta \cdot f_{cd} = N_{pd}$$

$$x_u = 0,07686 \text{ m}$$

$$x = x_u / 0,8 = 0,0961$$

$$N_{cd} = 10,2478 \text{ MN}$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = 0,4 - 0,077 / 2 - 0,085 = 0,2765 \text{ m}$$

Moment únosnosti:

$$M_{Rd} = z \cdot N_{cd} = 2,57804 \text{ MNm} > M_{Ed}$$

$$2,8335 > 1,9016 \text{ [MNm]}$$

Vyhovuje

V průřezu poli mají síly vyvozené předpětím negativní účinek pro únosnost, je tedy důležité počítat s co nejvyššími hodnotami. Ty nastávají v čase na konci životnosti, hodnoty napětí budeme tedy brát zde.

Ověření plastizace průřezu:

$$\sigma_{c,kz}^h = 1,314 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,kz}^d = -3,682 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,kz}^p = \sigma_{c,kz}^d - (\sigma_{c,kz}^d - \sigma_{c,kz}^h)0,085/0,4 = -2,308 \text{ MPa}$$

Předpínací síla:

$$P_{m,kz} = 7,9542 \text{ MN}$$

Výchozí napětí v předpínací výztuži:

$$\sigma_{pm,kz} = P_{m,kz}/A_p = 1104,8 \text{ MPa}$$

Převedení na poměrná přetvoření:

$$\epsilon_c^h = \sigma_{c,kz}^h/E_{cm} = 0,0068 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_c^d = \sigma_{c,kz}^d/E_{cm} = 0,1324 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_c^p = \sigma_{c,kz}^p/E_{cm} = 0,0979 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{pm,kz} = \sigma_{pm,kz}/E_p = 5,6654 \text{ ‰}$$

Vytvoření základního poměrného přetvoření:

$$\epsilon_{p,z} = 5,6654 - 0,0979 = 5,763 \text{ ‰}$$

Dosažení meze únosnosti:

Přírůstek poměrného přetvoření v předpínací výztuži:

$$\Delta\epsilon_p = (2,00/x) \cdot (h-x-0,11) = 4,0371 \text{ ‰}$$

Celkové poměrné přetvoření v předpínací výztuži:

$$\Sigma \varepsilon_p = \Delta \varepsilon_p + \varepsilon_{p,z} = 9,765 \text{ ‰}$$

$$\Sigma \varepsilon_p > f_{pd}/E_p = 7 \text{ ‰}$$

$$9,765 > 7,299 \text{ [‰]}$$

VYHOVUJE => Předpínací výztuž zplastizuje

Ověřil jsem tedy, že předpínací výztuž zplastizuje, je ale důležité ještě ověřit, že v průřezu nebude docházet ke křehkému lomu. U předpjatých konstrukcí je nutné zajistit, aby nedocházelo k nekontrolovatelnému snížení předpínací síly. Jednou z možností, jak takovému jevu zabránit, je stanovení hodnoty ohybového momentu, při které dochází ke vzniku trhlin, a ověření, že nepřesáhne hodnotu momentu únosnosti.

Ohybový moment při vzniku trhlin:

$$M_{rep} = w^d * f_{ctm} = 6,03E-01 \text{ MNm}$$

Návrh výztuže: **22 x ø16 mm**

$$A_s = \pi * 10^2 * 16 = 0,0044234 \text{ m}^2$$

Charakteristická Síla ve výztuži:

$$N_{sk} = A_s * f_{yk} = 2,2116812 \text{ MN} = N_{ck}$$

Výška tlačené části:

$$x_u = N_{ck} / (b * f_{ck}) = 0,0110584 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil:

$$z_s = 2,45 - 0,125 - x_u / 2 = 0,2844708 \text{ m}$$

Ověření momentu únosnosti:

$$M_{rk} = N_{sk} * z_s = 0,629 \text{ MNm}$$

$$M_{rep} = 0,603 \text{ MNm}$$

$$M_{rk} > M_{rep}$$

$$0,63 > 0,603 \text{ [MNm]}$$

VYHOVUJE

Návrh vyhovuje, bylo ověřeno, že hodnota momentu únosnosti je větší než ohybový moment při vzniku trhlin. Navrhuji betonářskou výztuž $\varnothing 16$ mm po 150 mm.

Při návrhu betonářské výztuže bylo rovněž ověřeno, že předpjatá výztuž zplastizuje, ale zde to již podrobně rozvádět nebudu. Provedu pouze posouzení křehkého lomu.

Křehký lom:

Ohybový moment při vzniku trhlin:

$$M_{rep} = w^h * f_{ctm} = 3,85E-01 \text{ MNm}$$

Návrh výztuže: **20 x $\varnothing 16$ mm**

$$A_s = \pi * 10^2 * 16 = 0,0040212 \text{ m}^2$$

Char. Síla ve výztuži:

$$N_{sk} = A_s * f_{yk} = 2,0106193 \text{ MN} = N_{ck}$$

Výška tlačené části:

$$x_u = N_{ck} / (b * f_{ck}) = 0,0081402 \text{ m}$$

Rameno vnitřních sil:

$$z_s = 0,4 - 0,085 - x_u/2 = 0,3109299 \text{ m}$$

Ověření momentu únosnosti:

$$M_{rk} = N_{sk} * z_s = 0,625 \text{ MNm}$$

$$M_{rep} = 0,385 \text{ MNm}$$

$$\begin{array}{l} M_{rk} > M_{rep} \\ 0,63 > 0,385 \text{ [MNm]} \end{array}$$

VYHOVUJE

Návrh vyhovuje a navrhuji $\varnothing 16$ mm po 150 mm.

4.3.4.4.3 Posouzení pylonu

Posledním prvkem nosné konstrukce, který v této práci posuzuji, je pylon, který jsem posoudil na vzpěr. Právě na základě tohoto ověření vyplynul požadavek vyplnit původně dutý ocelový profil betonem. Tím bylo dosaženo mnohem větší plochy a pylon tak na vzpěr vyhověl.

Vzpěr bude posuzován vzorcem (10):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + K_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rk}} + K_{yz} \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1 \quad (10)$$

γ_{M1} γ_{M1} γ_{M1}

Kde $\gamma_{M1} = 1,1$

Pro výpočet je ale nutné průřez nejdříve zatřídit a určit vzpěrnou délku celého prvku. Pylon byl uvažován jako sloupový prvek, který je v patě vetknutý a na horním konci podepřený kloubově.

Vzpěrná délka byla tedy spočítána:

$$L_{cr} = \beta * L = 1,5 * 25,5 = 38,25 \text{ m}$$

Zatřídění průřezu:

$$d = 559 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$f_{yk} = 460 \text{ MPa}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{559}{20} = 27,950$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{460}} = 0,715$$

$$\frac{d}{t} \leq 90 \varepsilon^2$$

$$27,950 \leq 35,761$$

Průřez byl zatříděn do druhé třídy. Nyní je zapotřebí určit štíhlost, součinitel vzpěrnosti a součinitel interakce. Po získání těchto hodnot bude možné ověřit vzpěr.

Štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda = \frac{38,25}{0,162}$$

$$\lambda = 236,111$$

Relativní štíhlost

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_{yk}}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{210 * 10^3}{460}}$$

$$\lambda_1 = 67,124$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{236,111}{67,124} = 3,518$$

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\phi = 0,5 * [1 + 0,49(3,518 - 0,2) + 3,518^2]$$

$$\phi = 7,499$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1,0$$

$$\chi = \frac{1}{7,499 + \sqrt{7,499^2 - 3,518^2}} \leq 1,0$$

$$\chi = 0,071$$

Nyní zde uvádím hodnoty zatížení, na které pylon posuzuji, jedná se o maximální hodnoty normálové síly a ohybového momentu, které na celý pylon působí.

$N_{ed,1} =$	-8,97024 MN
$M_{y,ed,1} =$	0,34381 MNm

Tabulka 19 - Hodnoty zatížení pylonu

V této fázi určím hodnotu součinitele interakce, k tomu je ale nejprve nutné určit hodnotu součinitele ekvivalentního konstantního momentu, který se určí následujícím vztahem.

$$C_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \Psi \quad (11)$$

Tato hodnota je v mém případě rovna: $C_{my} = 0,6$

Nyní se určí součinitel interakce, k tomu se podle zatřídění průřezu užije tento vzorec.

$$\begin{aligned} & C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ & \leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{aligned} \quad (12)$$

Po dosazení vyjde $\kappa_{yy} = 0,749$

Po dosazení všech hodnot do vzorce (10) dostaneme posouzení:

$$0,385 \leq 1,0$$

Pylon na vzpěr vyhoví.

Závěr

Provedl jsem návrh a předběžné posouzení hlavních nosných prvků vybrané konstrukce, což bylo cílem této práce. Byl posouzen pylon, vodorovný nosník, závěsy a nevržena předpjatá výztuž. Zavedl jsem sice jistá omezení a provedl některá zanedbání, nicméně speciální chování zavěšených konstrukcí je patrné vlivem účinků dynamických zatížení a ta posouzena byla. Budeme-li uvažovat pouze zatížení, která jsou v této části posuzována, můžeme konstrukci prohlásit za vyhovující. Bylo by ovšem nutné opravit malé nedostatky u návrhu závěsů a provést další výpočty a ověření.

Seznam příloh

- [1] Výkres podélného řezu a půdorysu
- [2] Výkres podélného řezu a předpjaté výztuže
- [3] Výkres příčného řezu nad podporou
- [4] Výkres příčných řezů
- [5] Výkres výztuže
- [6] Výkres detail kotvení závěsů do pylonu
- [7] Výkres kotvení závěsů do mostovky

Seznam obrázků

Obrázek 1 – konstrukční prvky zavěšených mostů	12
Obrázek 2 - schéma umístění závěsů	13
Obrázek 3 - Schéma rovin závěsů.....	14
Obrázek 4 - Kotvení lan v pylonu.....	14
Obrázek 5 - Tvary pylonů.....	15
Obrázek 6 - Pohled na most a příčný řez pylonem	17
Obrázek 7 - Příčný řez.....	17
Obrázek 8 - Pohled na dálniční most.....	18
Obrázek 9 - Příčný řez dálničním mostem.....	18
Obrázek 10 - Dobřichovická lávka	19
Obrázek 11 - Lávka ve Fuengilore	20
Obrázek 12 - Letmá montáž	24
Obrázek 13 - Výpočetní model	25
Obrázek 14 - Výpočetní model v příčném řezu	26
Obrázek 15 - Ostatní stálé zatížení.....	31
Obrázek 16 - Zatížení změnou teploty	32
Obrázek 17 - Příčinková čára ohybového momentu v řezu $x = 6,6$ m.....	33
Obrázek 18 - Příčinková čára ohybového momentu v řezu $x = 33,63$ m	33
Obrázek 19 - Schéma zatížení od záchranného vozidla	34
Obrázek 20 - Průběh M_y , Kombinace MSÚ 6.10a-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem.....	36
Obrázek 21 -Průběh M_y -Kombinace MSÚ 6.10b-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem.....	37
Obrázek 22-Průběh M_y -Kombinace MSÚ 6.10a-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci.	37
Obrázek 23-Průběh M_y -Kombinace MSÚ 6.10b-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci	38
Obrázek 24-Průběh M_y , Kombinace MSÚ 6.10a-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty	38
Obrázek 25-Průběh M_y -Kombinace MSÚ 6.10b-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty	39
Obrázek 26-Průběh M_y -Charakteristická kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem.....	39
Obrázek 27-Průběh M_y -Častá kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení nouzovým vozidlem	40
Obrázek 28-Průběh M_y -Charakteristická kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci	40
Obrázek 29-Průběh M_y -Častá kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení chodci.....	41
Obrázek 30-Průběh M_y -Charakteristická kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty	41
Obrázek 31-Průběh M_y -Častá kombinace-hlavní proměnné zatížení = zatížení změnou teploty	42
Obrázek 32-Průběh M_y -Kvazistálé kombinace	42

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Průřezové charakteristiky pylonu	26
Tabulka 2 - Průřezové charakteristiky mostovky	27
Tabulka 3 - Průřezové charakteristiky 1. závěsu	27
Tabulka 4 - Průřezové charakteristiky-střední závěsy	28
Tabulka 5 - Průřezové charakteristiky-poslední závěs	28
Tabulka 6 - Ostatní stálé zatížení.....	31
Tabulka 7 - Ochlazení mostovky	32
Tabulka 8 - Ohřátí mostovky	32
Tabulka 9 - Zatížení od chodců.....	33
Tabulka 10 - Posouzení závěsů	43
Tabulka 11 - Posuzované řezy	44
Tabulka 12 - Moduly průřezu mostovky.....	47
Tabulka 13 - Napětí v řezech 1-5 pro stálé zatížení, charakteristickou a častou kombinaci ...	48
Tabulka 14 - Napětí v řezech 1-5 pro kvazistálou kombinaci.....	49
Tabulka 15 - Napětí v řezech 6-9 pro stálé zatížení, charakteristickou a častou kombinaci ...	50
Tabulka 16 - Napětí v řezech 1-5 pro kvazistálou kombinaci.....	51
Tabulka 17 - Napětí v řezech 10-13 pro stálé zatížení, charakteristickou a častou kombinaci	52
Tabulka 18 - Napětí v řezech 10-13 pro kvazistálou kombinaci.....	53

Literatura

- [1] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2 - cvičení*. Praha: ČVUT, 2015. ISBN 978-80-01-05690-5.
- [2] STUDNIČKA, Jiří, Milan HOLICKÝ a Jana MARKOVÁ. *Ocelové konstrukce 2: zatížení*. 2. vydání. Praha: ČVUT, 2017. ISBN 978-80-0-05815-2.
- [3] Stavebnikomunita.cz. *Stavebnikomunita.cz* [online]. 2012, 1.12.2012 [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/mariansky-most-v-usti-nad-labem>
- [4] Armada Pedestrian Bridge over Fuengirola river. *FHECOR* [online]. Málaga: dirección general de costas, 2006 [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://www.fhecor.com/proyecto.php?id=266#2>
- [5] Cable-Stayed Bridges. *Bridge Engineering Handbook* [online]. Londýn: CRC Press, 2000[cit.2021-5-23].
Dostupné z: <http://freeit.free.fr/Bridge%20Engineering%20HandBook/ch19.pdf>
- [6] ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí část 2: zatížení mostů dopravou*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2005.
- [7] PAVEL, Ryjáček. *Přednáška Technologie výstavby ocelových mostů*. Praha: ČVUT.
- [8] PAVEL, Ryjáček. *Přednáška Zavěšené a visuté mosty*. Praha: ČVUT.
- [9] PAVEL, Ryjáček. *Přednáška Mostovka*. Praha: ČVUT.
- [10] Most přes Labe u Poděbrad, dálnice D11. *Stráský, Hustý a partneři* [online]. Brno [cit.2021-5-23]. Dostupné z: <http://www.shp.eu/strasky-husty-a-partneri/projekty/mosty/silnicni-mosty/zavesene-mosty/most-pres-labe-u-podebrad-dalnice-d11/>
- [11] Slavnostní otevření nové lávky v Dobřichovicích. *Dobřichovice* [online]. Dobřichovice, 2009 [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://www.dobrichovice.cz/mesto/meste/velke-investice/lavka/lavka-627cs.html>

- [12] Nová radotínská lávka se podobá mostu Millennium Bridge v Londýně. *Žijeme Radotínem!* [online]. Radotín, 2018 [cit. 2021-5-23]. Dostupné z: <https://zijemeradotinem.cz/clanek/detail/97/nova-radotinska-lavka-se-podoba-mostu-millennium-bridge-v-londyne>
- [13] ČSN EN 1992-1-1 *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
- [14] *Betonové mosty 2: přednášky*. Praha: ČVUT, 2014. ISBN 978-80-01-05543-4.
- [15] RYJÁČEK, Pavel. *Ocelové mosty: cvičení*. Praha: ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05672-1.