

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD**

KATEDRA MECHANIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ANALÝZA PROVEDITELNOSTI OTOČNÉ LÁVKY

2020

Bc. Martin Košťal

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Martin KOŠŤAL**
Osobní číslo: **A18N0070P**
Studijní program: **N3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Stavitelství**
Téma práce: **Analýza proveditelnosti otočné lávky**
Zadávací katedra: **Katedra mechaniky**

Zásady pro vypracování

1. Úvodní část s popisem řešeného tématu práce se základním rozbohem proveditelnosti tohoto systému.
2. Výběr a tvarové specifikace ocelové konstrukce otočné lávky s rozbohem zatížení dané konstrukce.
3. Sestavení statických schémat, výpočet odezvy konstrukce na dané zatížení a provedení plastického posudku celé konstrukce a vybraných segmentových konstrukčních částí.
4. Statická analýza konstrukčních systémů s vyhodnocením a dimenzováním ve 3D programech pro ocelové konstrukce dle EC3.



Rozsah diplomové práce: **úvodní část 60 – 75 stran A4**
Rozsah grafických prací: **práce skládající se z výkresů a textových částí**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 1990 – Zásady navrhování stavebních konstrukcí
2. ČSN EN 1991 – Zatížení stavebních konstrukcí
3. ČSN EN 1992, ČSN EN 1993 – Navrhování ocelových konstrukcí
4. Kol. autorů: Konstrukce pozemních staveb. 2015
5. Guštar, Marek: SBRA-Anthill – sborník přednášek, komentář k softwaru, ARTECH 2001
6. Návrh otočné lávky Leonardo da Vinci

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Kesl, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **1. července 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **10. ledna 2020**

Radová

Doc. Dr. Ing. Vlasta Radová
děkanka



Jan Vimmr

Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci s názvem „Analýza proveditelnosti otočné lávky“ vypracoval samostatně, pod odborným dohledem pana Ing. Petra Kesla, Ph.D. Při zpracování diplomové práce, bylo využito různých zdrojů a softwaru, jejich výčet je shrnut v seznamu, který je součástí této práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, byl získán legálním způsobem.

V Plzni dne 27.6.2020

.....

Bc. Martin Košťal

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Keslovi, Ph.D. za cenné odborné rady, připomínky, metodické vedení práce a čas strávený konzultacemi.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině, za umožnění studia na vysoké škole a všem odborným pracovníkům Západočeské univerzity v Plzni, kteří mi během celého studia předávali své znalosti.

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na otočné mostní konstrukce, jejichž výstavba je v České republice spíše raritní záležitostí. Práce je rozdělena do dvou částí. Teoretická část pro přehlednost představuje historii, veškeré typy a způsob použití pohyblivých mostních staveb. První část je následně zaměřena výhradně na otočné mosty, cílem je shrnout jejich součásti a požadavky, které přiblíží problematiku návrhu těchto staveb a jejich proveditelnost. Praktická část diplomové práce se zabývá vlastním návrhem otočné lávky. Cílem praktické části je analýza statického modelu a návrh vybraných nosných prvků konstrukce.

Klíčová slova

Otočná konstrukce, lávka pro chodce, podpora, otočný most, ocel.

Annotation

The submitted diploma thesis is focused on movable bridge structures, the construction of which is a rather rare matter in the Czech Republic. The work is divided into two parts. The theoretical part for clarity presents the history, all types and ways of using moving bridge structures. The first part is then focused exclusively on swing bridges, the aim is to summarize their components and requirements, which will approach the design of these structures and their feasibility. The practical part of the diploma thesis deals with the design of the footbridge. The aim of the practical part is the analysis of the static model and the design of selected load-bearing elements of the structure.

Key words

Swing construction, footbridge, support, swing bridge, steel.

Bibliografická citace

KOŠŤAL, Martin. Analýza proveditelnosti otočné lávky. Plzeň, 2020.

Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta aplikovaných věd,
Katedra mechaniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Kesl, Ph.D.

OBSAH

ÚVOD	15
CÍLE PRÁCE	16
TEORETICKÁ ČÁST	16
1.1 POHYBLIVÉ MOSTNÍ STAVBY.....	17
1.1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY.....	17
1.1.2 HISTORIE POHYBLIVÝCH MOSTŮ.....	18
1.1.3 TYPY POHYBLIVÝCH MOSTŮ.....	18
1.2 OTOČNÉ MOSTY	21
1.2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ.....	21
1.2.2 ŘÍZENÉ PROCESY POHYBU OTÁČENÍ.....	22
1.2.3 DRUHY ŘÍZENÍ PROVOZU.....	22
1.3 OBECNÉ ČÁSTI A VYBAVENÍ OTOČNÝCH MOSTŮ.....	23
1.3.1 SPODNÍ STAVBA.....	23
1.3.2 NOSNÁ KONSTRUKCE	23
1.3.3 MOSTNÍ SVRŠEK	23
1.3.4 MOSTNÍ VYBAVENÍ.....	24
1.4 SPECIÁLNÍ TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ A MECHANISMUS OTÁČENÍ.....	24
1.4.1 TYPY OTOČNÝCH ULOŽENÍ.....	24
1.4.2 POHON OTÁČENÍ.....	26
1.4.3 KONCOVÉ PODPORY.....	28
1.4.4 NÁRAZNÍKY	29
1.4.5 ZÁMKY	29
1.4.6 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA.....	30
1.5 ÚDRŽBA A OPRAVY.....	30
1.6 ZÁKLADNÍ KRITÉRIA PRO NÁVRH OTOČNÉHO MOSTU	31
1.6.1 SPOLEHLIVOST.....	31
1.6.2 BEZPEČNOST.....	31
1.6.3 TRVANLIVOST.....	32
1.6.4 MATERIÁL.....	32
1.6.5 VÝROBA A MONTÁŽ.....	32
1.6.6 ESTETICKÁ KRITÉRIA.....	33
1.6.7 EKONOMICKÁ KRITÉRIA	33
1.7 PŘÍKLADY REALIZACÍ OTOČNÝCH MOSTŮ.....	33
1.7.1 TUZEMSKO.....	33
1.7.2 ZAHRANIČÍ	34

2 PRAKTICKÁ ČÁST	36
2.1 NÁVRH OTOČNÉ LÁVKY PRO CHODCE A CYKLISTY	36
2.1.1 VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY.....	36
2.1.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY KONSTRUKCE.....	37
2.2 VÝPOČTOVÉ MODEL Y KONSTRUKCE	38
2.2.1 MODEL VM1.....	38
2.2.2 MODEL VM2.....	39
2.3 ROZBOR PŮSOBÍCÍHO ZATÍŽENÍ PODLE ČSN EN 1991	40
2.3.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ.....	40
2.3.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	40
2.3.3 MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ.....	46
2.4 PŘEHLED ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ.....	47
2.5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ	48
2.5.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI	48
2.5.2 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	48
2.6 POSOUZENÍ MSÚ VYBRANÝCH PRVKŮ.....	49
2.6.1 NOSNÍK MOSTINY.....	49
2.6.2 OBLOUKOVÝ NOSNÍK.....	50
2.6.3 SVISLICE.....	52
2.6.4 DIAGONÁLY.....	54
2.6.5 PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK MOSTOVKY.....	56
2.6.6 ZAVĚTROVÁNÍ.....	65
2.6.7 OTOČNÁ PLATFORMA.....	69
2.7 DYNAMICKÉ POSOUZENÍ KONSTRUKCE	74
2.7.1 ANALÝZA VLASTNÍCH TVARŮ PRO VÝPOČTOVÝ MODEL VM1	74
2.7.2 ANALÝZA VLASTNÍCH TVARŮ PRO VÝPOČTOVÝ MODEL VM2	76
2.7.3 POSOUZENÍ VÝSLEDNÝCH VLASTNÍCH TVARŮ	78
2.8 SVISLÉ DEFORMACE LÁVKY	78
2.8.1 PRŮHYB KONSTRUKCE VÝPOČTOVÉHO MODELU VM1.....	78
2.8.2 PRŮHYB KONSTRUKCE VÝPOČTOVÉHO MODELU VM2.....	78
2.8.3 POSOUZENÍ VÝSLEDNÝCH PRŮHYBŮ KONSTRUKCE	79
2.9 STABILITA KONSTRUKCE	79
2.9.1 STABILITA MODELU VM1.....	80
2.9.2 STABILITA MODELU VM2.....	80
2.9.3 POSOUZENÍ STABILITY	81
2.10 SVISLÉ REAKCE V PODPORÁCH	81
2.11 DÉLKOVÁ DILATACE LÁVKY	82

ZÁVĚR.....	83
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	85
SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE	86
PŘÍLOHY	1

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBRÁZEK 1.1: NÁČRT OTOČNÉHO MOSTU OD LEONARDA DA VINCI.....	18
OBRÁZEK 1.2: SCHÉMA PONTONOVÉHO MOSTU	18
OBRÁZEK 1.3: SCHÉMA PŘEVOZNÍHO MOSTU	19
OBRÁZEK 1.4: SCHÉMA SKLÁPĚČÍHO MOSTU.....	19
OBRÁZEK 1.5: SCHÉMA ZVEDACÍHO MOSTU	20
OBRÁZEK 1.6: PŮDORYSNÉ SCHÉMA OTOČNÉHO MOSTU.....	20
OBRÁZEK 1.7: JEDNORAMENNÝ OTOČNÝ MOST S JEDNÍM A DVĚMA KŘÍDLY	21
OBRÁZEK 1.8: DVOURAMENNÝ OTOČNÝ MOST SOUMĚRNÝ A NESOUMĚRNÝ	21
OBRÁZEK 1.9: ULOŽENÍ OTOČNÉHO MOSTU NA LOŽISKOVÉM ČEPU	25
OBRÁZEK 1.10: ULOŽENÍ OTOČNÉHO MOSTU NA LOŽISKOVÉM ČEPU	25
OBRÁZEK 1.11: SCHÉMA MECHANICKÉHO POHONU.....	26
OBRÁZEK 1.12: PŮDORYSNÉ SCHÉMA SESTAVY HYDRAULICKÉHO POHONU.....	27
OBRÁZEK 1.13: SCHÉMA KLÍNOVÉ PODPORY	28
OBRÁZEK 1.14: SCHÉMA NASTAVITELNÝCH KLOUBOVÝCH PODPOR.....	29
OBRÁZEK 1.15: SCHÉMA NASTAVITELNÝCH KLOUBOVÝCH PODPOR.....	29
OBRÁZEK 1.16: SCHÉMA NASTAVITELNÝCH KLOUBOVÝCH PODPOR.....	30
OBRÁZEK 1.17: OTOČNÝ MOST PLAVEBNÍ KOMORY VNOROVY	34
OBRÁZEK 1.18: OTOČNÝ MOST PLAVEBNÍ KOMORY UHERSKÝ OSTROH.....	34
OBRÁZEK 1.19: COLBERTŮV OTOČNÝ MOST	35
OBRÁZEK 1.20: OTOČNÝ MOST GREENWICH REACH.....	35
OBRÁZEK 2.1: NÁVRH TVAROVÉHO ŘEŠENÍ OTOČNÉ LÁVKY	36
OBRÁZEK 2.2: STÁVAJÍCÍ LÁVKA PŘES PLAVEBNÍ KOMORU NYMBURK.....	37
OBRÁZEK 2.3: MODEL ULOŽENÍ KONSTRUKCE VM1.....	39
OBRÁZEK 2.4: MODEL ULOŽENÍ KONSTRUKCE VM2.....	39
OBRÁZEK 2.5: MAPA SNĚHOVÝCH OBLASTÍ ČR.....	41
OBRÁZEK 2.6: MODEL KONSTRUKCE V PROGRAMU RWIND	42

OBRÁZEK 2.7: TLAK VĚTRU PŮSOBÍCÍ NA KONSTRUKCI VE SMĚRU OSY Y	42
OBRÁZEK 2.8: TLAK VĚTRU PŮSOBÍCÍ NA KONSTRUKCI VE SMĚRU OSY X	43
OBRÁZEK 2.9: TLAK VĚTRU PŮSOBÍCÍ NA KONSTRUKCI PROTI SMĚRU OSY X	44
OBRÁZEK 2.10: TVORBA NÁMRAZY NA PRUTECH KRUHOVÉHO PRŮŘEZU	45
OBRÁZEK 2.11: MODEL ZATÍŽENÍ VOZIDLEM NA MOSTNÍ KONSTRUKCI	46
OBRÁZEK 2.11: PRVNÍ VLASTNÍ TVAR MODELU VM1	74
OBRÁZEK 2.12: DRUHÝ VLASTNÍ TVAR MODELU VM1	75
OBRÁZEK 2.13: TŘETÍ VLASTNÍ TVAR MODELU VM1	75
OBRÁZEK 2.14: PRVNÍ VLASTNÍ TVAR MODELU VM2	76
OBRÁZEK 2.15: DRUHÝ VLASTNÍ TVAR MODELU VM2	77
OBRÁZEK 2.16: TŘETÍ VLASTNÍ TVAR MODELU VM2	77
OBRÁZEK 2.17: MAXIMÁLNÍ DEFORMACE KONSTRUKCE MODELU VM1	78
OBRÁZEK 2.18: MAXIMÁLNÍ DEFORMACE KONSTRUKCE MODELU VM2	79
OBRÁZEK 2.19: SCHÉMATICKÉ VYBOČENÍ PRUTŮ KONSTRUKCE MODELU VM1].....	80
OBRÁZEK 2.20: SCHÉMATICKÉ VYBOČENÉ PRUTŮ KONSTRUKCE MODELU VM2	80
OBRÁZEK 2.21: SVISLÉ REAKCE V PODPORÁCH MODELU VM1	81
OBRÁZEK 2.22: SVISLÉ REAKCE V PODPORÁCH MODELU VM2	81
OBRÁZEK 2.21: UVAŽOVANÉ DÉLKY PRO VÝPOČET TEPLOTNÍ DILATACE	82

SEZNAM TABULEK

TABULKA 2.1: VLASTNÍ TÍHA POCHOZÍ SKLADBY MOSTOVKY	40
TABULKA 2.2: ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE NÁMRAZOU	46
TABULKA 2.3: ZATĚŽOVACÍ STAVY	47
TABULKA 2.4: VNITŘNÍ SÍLY OBLOUKOVÉHO NOSNÍKU.....	50
TABULKA 2.5: VNITŘNÍ SÍLY SVISLIC.....	52
TABULKA 2.6: VNITŘNÍ SÍLY DIAGONÁL.....	54
TABULKA 2.7: VNITŘNÍ SÍLY HORNÍHO PÁSU MOSTOVKY	56
TABULKA 2.8: VNITŘNÍ SÍLY DOLNÍHO PÁSU MOSTOVKY	58
TABULKA 2.9: VNITŘNÍ SÍLY DIAGONÁL MOSTOVKY	60
TABULKA 2.10: VNITŘNÍ SÍLY PŘÍČNÉHO ZTUŽENÍ MOSTOVKY.....	62
TABULKA 2.11: VNITŘNÍ SÍLY ZAVĚTROVÁNÍ OBLOUKOVÝCH NOSNÍKŮ	65
TABULKA 2.12: VNITŘNÍ SÍLY ZAVĚTROVÁNÍ MOSTOVKY	67
TABULKA 2.13: VNITŘNÍ SÍLY OTOČNÉ PLATFORMY.....	69

Seznam symbolů a zkratk

$MSÚ$	.....	mezní stav únosnosti
MSP	.....	mezní stav použitelnosti
E	.....	modul pružnosti v tahu - (Pa)
G	.....	modul pružnosti ve smyku - (Pa)
ν	.....	součinitel příčné deformace
α	.....	součinitel tepelné roztažnosti
L	.....	délka - (m)
A	.....	plocha – (m ²)
q_{fk}	.....	plošné zatížení chodci - (kN/m ²)
Q_{fvk}	.....	soustředné zatížení chodci - (kN/m ²)
γ_G	.....	dílčí součinitel stálého zatížení
γ_Q	.....	dílčí součinitel proměnného zatížení
G_k	.....	charakteristická hodnota stálého zatížení
Q_k	.....	charakteristická hodnota proměnného zatížení
G_d	.....	návrhová hodnota stálého zatížení
Q_d	.....	návrhová hodnota proměnného zatížení
P	.....	reprezentativní hodnota zatížení od předpětí
γ_P	.....	dílčí součinitel zatížení od předpětí
ψ_0	.....	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_1	.....	součinitel pro častou hodnotu proměnného zatížení
ψ_2	.....	součinitel pro kvazistálou hodnotu proměnného zatížení
ξ	.....	redukční součinitel
A_d	.....	návrhová hodnota mimořádného zatížení
s_k	.....	návrhová hodnota zatížení sněhem na zemi
$v_{b,0}$	.....	výchozí hodnota základní rychlosti větru
c_{dir}	.....	součinitel směru větru
c_{season}	.....	součinitel ročního období
v_b	.....	základní rychlost větru
ρ	.....	měrná hmotnost větru

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá problematikou provádění otočných mostních konstrukcí. Tento specifický druh staveb má dosti široké zastoupení v zahraničí, v České republice můžeme počet otočných mostů napočítat na prstech jedné ruky. Není tak divu, že v našich krajinách nemá mnoho lidí o těchto stavbách ani tušení. Jedná se o zajímavé řešení mostních objektů, které si jistě zaslouží větší pozornost.

Teoretická část obsahuje souhrn dostupných informací z lokální a zejména ze zahraniční literatury. V první řadě je nutné podotknout, že otočné mosty jsou součástí specifickým objektů, které se nazývají pohyblivé mosty. Z historického pohledu měli tyto objekty dvojí využití. Primárně sloužily k překonání přírodních překážek jako běžné nepohyblivé mosty. Sekundárně byly využívány vojenskými strategy jako významný obranný prvek, který mohl během válečných konfliktů významně zkomplikovat pohyb nepřátelských vojsk. V moderních dobách nemají již toto vojenské využití, ale jsou velmi elegantním řešením na místech, kde dochází ke křížení komunikačních koridorů v přibližně stejné výškové úrovni. Nejčastěji se jedná o křížení pozemních komunikací a vodních cest.

Praktická část tvoří koncepční návrh vlastní konstrukce otočné lávky pro chodce, při kterém bylo využito informací shrnutých v teoretické části. Prvotní inspirací tvarového řešení byl do jisté míry původní návrh otočného mostu od Leonarda da Vinci z přelomu 15. a 16. století. Navržená konstrukce respektuje aktuálně platné normy. Následuje výpočtová část, která zahrnuje dva statické modely, vytvořené v programu FIN 3D. Oba modely se od sebe v zásadě liší pouze uložením konstrukce a uvažovaným zatížením tak, aby daný výpočtový model co nejvíce simuloval chování reálné konstrukce. Výstupem praktické části je analýza numerických modelů a následný návrh základních nosných prvků navržené konstrukce.

CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem práce je shrnutí informací o otočných mostních konstrukcích, charakterizovat jejich hlavní myšlenku, předpoklady a požadavky potřebné k návrhu. Následný návrh a analýza vlastní konstrukce má sloužit jako demonstrativní příklad statického působení tohoto netradičního druhu mostních staveb.

TEORETICKÁ ČÁST

1.1 POHYBLIVÉ MOSTNÍ STAVBY

1.1.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Mostem je označován stavební objekt, který primárně slouží k překlenutí komunikační trasy přes překážku. Volná světlost pod mostní konstrukcí musí být nejméně 2 m. Most byl již v historii vždy chápán jako konstrukční prvek, umožňující komunikaci mezi lidmi. Není tak divu, že jejich výstavba vždy zásadně ovlivňovala kulturní i hospodářský rozvoj dané lokality. Mostní stavby vždy poukazovaly na technickou vyspělost dané doby, dnes mohou být dochované konstrukce považovány za jejich monumentální památníky. [1]

Tento specifický typ staveb lze stejně jako nepohyblivé mosty rozlišovat dle několika základních parametrů. Rozlišujeme tedy tyto druhy mostů:

Podle druhu dopravy:

- Silniční
- Železniční
- Lávky pro chodce
- Jejich kombinace

Podle doby životnosti:

- Trvalé
- Dočasné
- Rozebíratelné (vojenské mosty)

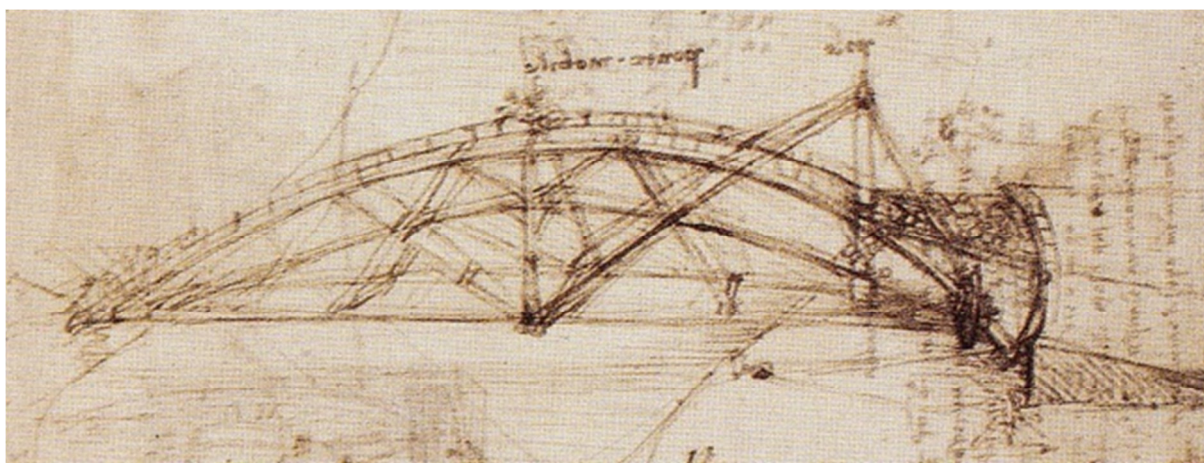
Podle geometrie umístění vzhledem k převáděné komunikaci:

- Kolmé
- Šikmé

Pohyblivé mostní stavby jsou jedinečné konstrukce, které jsou nejčastěji umísťovány v místech, kde dochází ke křížení komunikací v přibližně stejné výškové úrovni. Primárně se jedná o pozemní a vodní komunikace, na které se může vyskytovat lodní doprava. Konstrukce pohyblivých mostů zpravidla dovoluje využívat pouze jeden ze dvou křížících se komunikačních koridorů. Využití dané komunikace je závislé na aktuální koncové poloze mostu. Nejčastěji se s těmito stavbami můžeme setkat v blízkosti plavebních kanálů, plavebních komor a průplavů. [2,5]

1.1.2 HISTORIE POHYBLIVÝCH MOSTŮ

Z historického hlediska můžeme sledovat určitý vývoj, který má základy již ve starověkém Egyptě, kde jsou vyobrazeny první pohyblivé mosty na stěnách egyptských památek. Nelze tak jednoznačně určit přesně, kdy byl postaven první pohyblivý most. Jejich účel lze však snadno odvodit, byly používány zejména k obraně měst a hradů. Jednalo se nejčastěji o pontonové a sklápěcí mosty. V období mezi 14. a 15. stoletím lze zaznamenat významné proměny v různých kulturních a vědeckých oblastech, což do jisté míry ovlivnilo i architekturu těchto staveb. V souvislosti s pohyblivými mosty stojí za zmínku jeden z prvních návrhů otočného mostu od Leonarda da Vinci, který však s největší pravděpodobností nebyl nikdy realizován.[6]

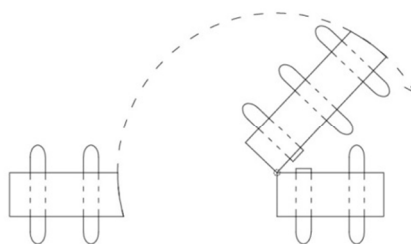


Obrázek 1.1: Náčrt otočného mostu od Leonarda da Vinci [Zdroj: <https://editions.covecollective.org/chronologies/revolving-bridge>]

1.1.3 TYPY POHYBLIVÝCH MOSTŮ

MOSTY S PLOVOUCÍMI PODPORAMI

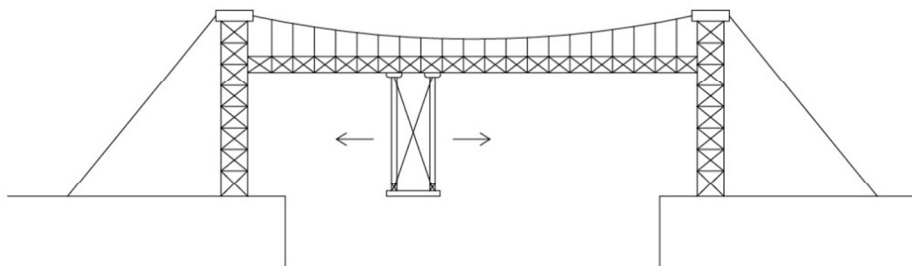
Tento typ se vyznačuje zejména tím, že celá konstrukce mostu je podepřena pomocí pontonů plovoucích na vodní hladině. Často se vyskytují na místech, kde založení na pevných podporách z hlediska proveditelnosti a ekonomické náročnosti neumožňuje hloubka vody, či nevhodné základové poměry. S tímto typem konstrukce se lze dále setkat u silničních mostů, které jsou z hlediska životnosti navrhovány jako dočasné. [5]



Obrázek 1.2: Schéma pontonového mostu [Zdroj: autor diplomové práce]

PŘEVOZNÍ MOSTY

Nejčastěji se tento druh pohyblivého mostu využívá v místech, kde hustota vodní dopravy významně převyšuje dopravu pozemní. Jde o stavbu, která se skládá ze stabilní nosné konstrukce, po které pojíždí v pravidelných intervalech převozní plošina a propojuje tak oba břehy.[5]

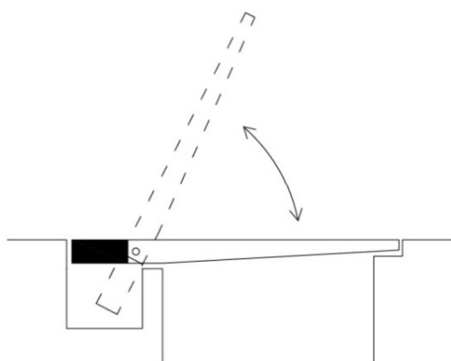


Obrázek 1.3: Schéma převozního mostu [Zdroj: autor diplomové práce]

POHYBLIVÉ MOSTY NA PEVNÝCH PODPORÁCH

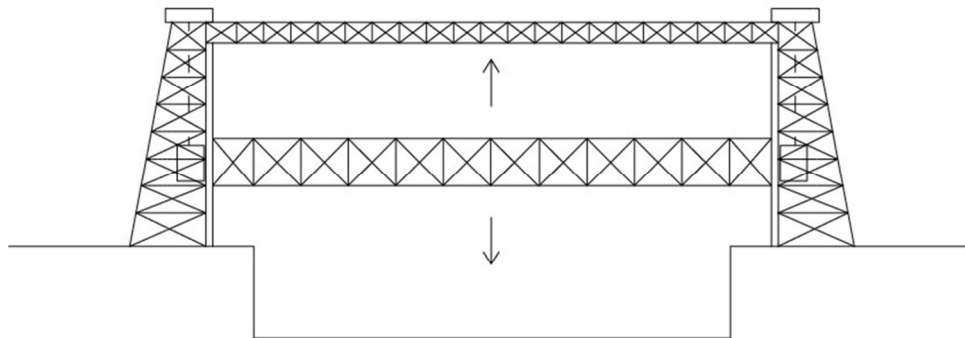
Nutno říci, že tento typ pohyblivých mostů je v současnosti nejrozšířenější. Do pohybu je uváděna celá nosná konstrukce mostu. Podle druhu pohybu, můžeme dělit na mosty otočné kolem svislé osy, zvedací mosty a mosty sklápěcí. Nedílnou součástí těchto mostních staveb je bezpochyby mechanismus, který je schopný s konstrukcí pohybovat.

Pohyblivá část sklápěcích mostů se otáčí okolo horizontální osy. Můžeme se setkat s mosty, využívající protiváhu i bez protiváhy. Využití protiváhy však výrazně snižuje požadavky na výkon pohonné jednotky, náročnost její údržby a bezpochyby i ekonomické náklady na její pořízení a samotný provoz. Jedním z nejznámějších sklápěcích mostů je slavný Tower Bridge v Londýně.[5]



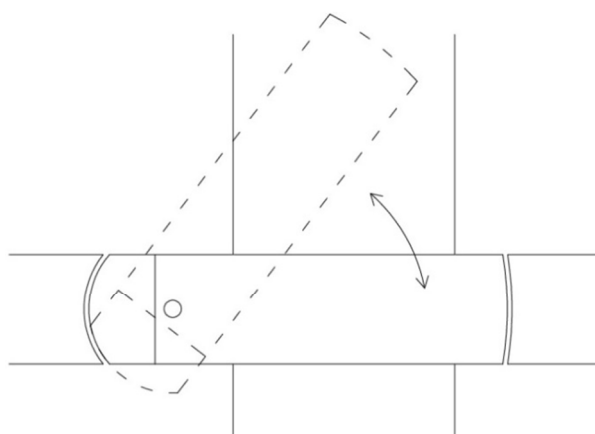
Obrázek 1.4: Schéma sklápěcího mostu [Zdroj: autor diplomové práce]

Nosná konstrukce zvedacích mostů je typická tím, že je prostřednictvím lan, nebo řetězů zavěšena na postranní věže. Pomocí soustavy kladek a protizávaží je nosná konstrukce schopna pohybu. Pohyb konstrukce může být zajištěn i hydraulickými písty, toto řešení má však omezenou výšku zdvihu, která nemusí vyhovovat požadavkům lodní dopravy. Jednou z hlavních nevýhod tohoto řešení jsou vysoké postranní věže, které jsou z hlediska návaznosti konstrukce na okolí nevzhledné.[5,6]



Obrázek 1.5: Schéma zvedacího mostu [Zdroj: autor diplomové práce]

Pohyb otočného mostu umožňuje konstrukci uvést do dvou koncových poloh, jedná se o polohu otevřenou a uzavřenou. Uzavřenou polohou se rozumí taková koncová poloha mostu, která umožňuje proplutí lodí. Otočné mosty mohou být různorodé z hlediska konstrukce, uložení a otočného mechanismu. Mechanismus otáčení je ve většině případů schopen otočit most až o 90° okolo svislé osy. Základní výhodou tohoto řešení jsou při porovnání se sklopnými mosty, nižší nároky na pohonný mechanismus. Ve srovnání se zdvihacími mosty je toto řešení vhodnější z estetického hlediska a návaznosti na okolí, jelikož odpadá nutnost využití nosných věží. Nespornou nevýhodou tohoto typu pohyblivých konstrukcí na pevných podporách, je půdorysná velikost manipulačního prostoru. Z hlediska bezpečnosti je nutné zajistit, aby se na celé této ploše nenacházela žádná překážka, která by případně mohla způsobit kolizi mostu během procesu otáčení.[1,5]

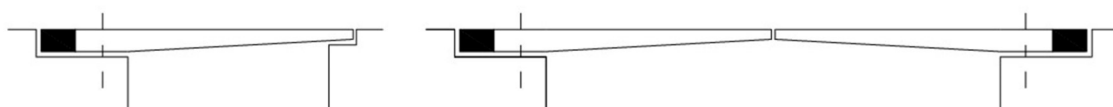


Obrázek 1.6: Půdorysné schéma otočného mostu [Zdroj: autor diplomové práce]

1.2 OTOČNÉ MOSTY

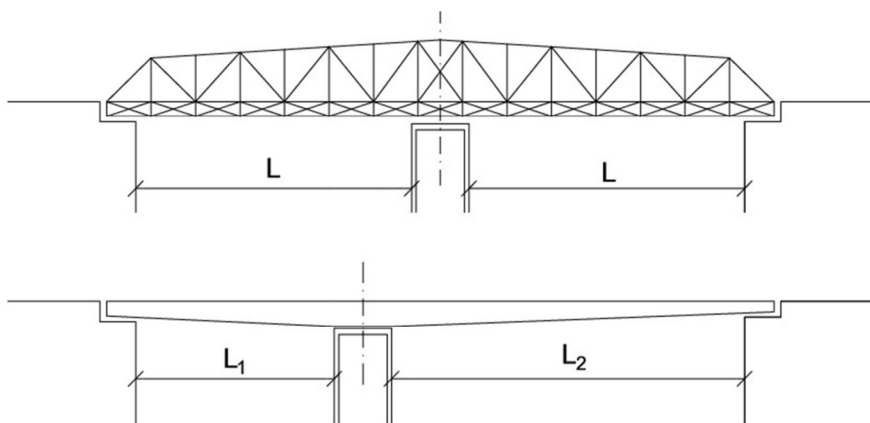
1.2.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ

Otáčivé mosty kolem svislé osy můžeme rozdělovat podle počtu ramen a souměrnosti konstrukce. Jednoramenné konstrukce lze s výhodou využívat v místech, kde jsou břehy v těsné blízkosti, a pro překonání překážky není nutné využívat konstrukce velkých rozponů. V mezních případech lze zvolit symetrickou variantu, která je však ze statického hlediska mnohem složitější. Každý břeh, na kterém se nachází základna jednoramenného otočného mostu, je zejména při procesu otáčení extrémně namáhán a musí být zajištěna jeho stabilita.[5]



Obrázek 1.7: Jednoramenný otočný most s jedním a dvěma křídly [Zdroj: autor diplomové práce]

Dvouramenné konstrukce otočných mostů jsou nejčastěji využívány v místech, kde překážku tvoří široký vodní tok. Výhodou tohoto řešení je absence umělého protizávaží konstrukce. V ideálním stavu je most zcela symetrický, což zajišťuje přirozenou rovnováhu. Středový pilíř je primárně namáhán tlakovými silami, což je z hlediska složitosti jeho návrhu příznivé. I přes velké rozpony jsou tyto konstrukce velmi odolné, často jsou tak navrženy pro převedení železniční dopravy.[1]



Obrázek 1.8: Dvouramenný otočný most souměrný a nesouměrný [Zdroj: autor diplomové práce]

Obecně musí být pohyblivá mostní konstrukce navržena tak, aby celková hmotnost překonzolované části byla co nejnižší. Což se nejvíce projeví snížením celkového zatížení působícího na základy. Můžeme tak dosáhnout vyšší efektivity, nižších pořizovacích nákladů a snížení pravděpodobnosti opotřebení ložisek a mechanismu otáčení.

1.2.2 ŘÍZENÉ PROCESY POHYBU OTÁČENÍ

Schéma řídicích procesů je souhrn základních kroků potřebných pro řízení otáčení mostu, které jsou určeny v přesně daném chronologickém pořadí. Žádný z kroků nelze vynechat. Dobře sestavené schéma výrazně zvyšuje provozní bezpečnost a snižuje celkovou dobu trvání procesu. [3]

BĚŽNÝ SLED OPERACÍ

- Blížící se plavidlo vydá požadavek k proplutí pomocí radiové komunikace, nebo akustickým signálem.
- Obsluha otočného mostu spustí dopravní signalizaci a vydá tak zákaz vstupu na most. U železničních mostů musí obsluha získat povolení od dispečera vlakové dopravy.
- Po opuštění mostu všemi dopravními prostředky a chodci, jsou spuštěny závory na obou koncích mostu.
- Spuštění závor dovoluje uvolnit aretační zámky mostu, případně klínové podpory.
- Následně probíhá samotný pohyb mostu do příslušné polohy.
- Plavidlu je vydáno povolení k proplutí plavebním otvorem.

Při návratu mostu do původní polohy se postupuje podle výše uvedených kroků v opačném pořadí. Proces začíná zastavením plavební dopravy a končí otevřením pozemní komunikace. Všechny kroky tvoří akční dobu pohyblivého mostu. Celý proces otevření, nebo zavření mostu by v automatickém režimu neměl trvat déle než 90 sekund. [3]

1.2.3 DRUHY ŘÍZENÍ PROVOZU

AUTOMATICKÝ PROVOZ

Veškeré řízení provozu je zajištěno pomocí systému s programovatelnou pamětí, včetně dodržení bezpečnostních řetězců.

POLOAUTOMATICKÝ PROVOZ

Provoz je řízen v samostatných krocích systémem s programovatelnou pamětí, nicméně musí být ručně ověřováno dodržení bezpečnostních řetězců.

PROVOZ PRO ÚDRŽBU

V jednotlivých krocích je provoz řízen podle procesního plánu operací. Dílčí kroky je možné při dodržení bezpečnostních pravidel na základě analýzy rizik přemostit.

RUČNÍ PROVOZ

Pomocí mechanických ovládacích prvků lze uvést most do pohybu. Tento provoz se využívá zejména při neočekávaných poruchách na pohybovém mechanismu. Most je možné ovládat například pomocí ručního čerpadla, nebo mechanické kliky. [3]

1.3 OBECNÉ ČÁSTI A VYBAVENÍ OTOČNÝCH MOSTŮ

1.3.1 SPODNÍ STAVBA

V jednoduchosti se mezi spodní stavbu mostů řadí veškeré části mostu, které se nacházejí od ložisek směrem dolů. Konkrétně se jedná o základy, podpěry, závětrné zdi, kotevní bloky a ledolamy. Rozlišujeme krajní a vnitřní podpory. Krajní podpory se dělí na pravou a levou. Toto rozdělení určujeme vždy po směru říčního toku, nebo podle směru kilometrování pozemní komunikace pod mostem. V případě využití vnitřních podpěr, se tyto podpěry číslují od levé podpěry k pravé, nebo podle směru kilometrování převáděné komunikace. [5]

1.3.2 NOSNÁ KONSTRUKCE

U běžných mostních staveb se nosná konstrukce skládá z několika částí. Jedná se hlavní nosnou konstrukci, mostovku, ztužující prvky, ložiska a mostní závěry. Základní funkce mostovky je přenos účinků zatížení z mostního svršku na hlavní nosnou konstrukci, která je přenáší dále do podpor. Ztužení zachycuje vodorovné účinky zatížení, která působí na hlavní nosnou konstrukci. Ztužující prvky zajišťují prostorovou tuhost celé konstrukce. Primární funkcí ložiska je přenášení tlakových sil dále do podpor. Ložiska se starají o polohovou stabilitu celé konstrukce, případně mohou umožňovat žádoucí pohyb. Druh zvoleného ložiska má významný vliv na celkový výpočtový model konstrukce. Mostní závěry ukončují nosnou konstrukci a překrývají dilatační spáry. [5]

1.3.3 MOSTNÍ SVRŠEK

Tato část mostních staveb může mít mnoho podob, které se odvíjejí od typu převáděné komunikace. Rozdělujeme železniční svršky a svršky pozemních komunikací. Jejich bližší specifikace není předmětem této práce. Rozhodujícím kritériem při výběru konkrétní skladby mostního svršku by měla být jeho vlastní váha, ta je při následujícím návrhu otočných mostů zásadním parametrem. [5]

1.3.4 MOSTNÍ VYBAVENÍ

Prvky mostu, které prodlužují jeho životnost, zvyšují bezpečnost při užívání, ulehčují jeho revizní prohlídky a údržbu, se souhrnně nazývají mostní vybavení. Patří mezi ně zábradlí, svodidla, osvětlovací zařízení, ochranné a revizní zařízení. U otočných mostů je mostní vybavení navíc tvořeno zařízením, které zajišťuje pohyb konstrukce, závory a signální zařízení určené pro lodě i pozemní vozidla. [2]

1.4 SPECIÁLNÍ TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ A MECHANISMUS OTÁČENÍ

V současnosti je nejčastěji pohyb otočných mostů zajištěn díky mechanickému nebo hydraulickému pohonu. Mohou se však na konstrukci nacházet i v kombinaci, kdy je jako hlavní pohon zvolena hydraulická jednotka a mechanický pohon je pouze rezervní. Výběr vhodného typu pohonu, je částečně závislý na zvoleném typu uložení, kdy se při použití kruhového prstence volí spíše mechanická varianta otočného pohonu. Volba typu pohonu může být ovlivněna také požadavky investora, mezi které nejčastěji patří pořizovací cena a náklady spojené s údržbou. [3]

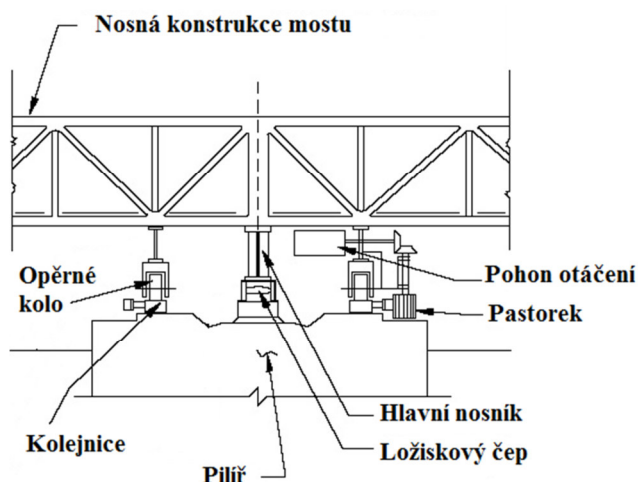
1.4.1 TYPY OTOČNÝCH ULOŽENÍ

Jedním z nejdůležitějších prvků otočných mostů je samotné uložení, které umožňuje pootočení konstrukce. Jedná se o nevíce namáhané součásti celé pohyblivé soustavy. Celosvětově jsou nejčastěji využívány dva typy otočného uložení, je o uložení na ložiskovém čepu nebo na kruhovém prstenci. Tato uložení se objevují jak u moderních tak i u starších otočných mostů. Lze tedy říci, že jde o prověřená řešení.

ULOŽENÍ NA LOŽISKOVÉM ČEPU

Tento typ uložení je výhodné využívat u symetrických otočných mostů. Symetrie v ideálním stavu zajišťuje vyváženost konstrukce a čep je tak zatěžován pouze tlakem. Nicméně je ložiskový čep schopný přenášet i posouvající síly, které se však v konstrukci vyskytují jen při zatížení větrem. Uložení je doplněno o pojistné opěrné body, které mohou být tvořeny soustavou kol. Podpěrné body jsou soustředěny na kruhové dráze okolo ložiskového čepu v co největším možném poloměru. Tyto opěrné body zabraňují převrácení konstrukce v případě nerovnoměrného zatížení během změny polohy, či v uzavřené poloze. Mezi nerovnoměrné zatížení můžeme řadit náhlý poryv větru. Nejčastěji podpěrné body tvoří ocelová opěrná kola, která jsou součástí otáčené konstrukce. Během rovnovážného stavu se opěrná kola pouze dotýkají kolejnice, nebo je mezi opěrnými body a kruhovou drahou vytvořena mezera v tloušťce zhruba 5 milimetrů. Cílem je to, aby veškeré zatížení bylo v co největší míře přenášeno středovým ložiskem. Pro svou jednoduchost lze velmi snadno provádět vizuální kontrolu celé soustavy, či servisní výměnu opotřebovaných prvků. Často je tento typ uložení používán u méně zatěžovaných konstrukcí. Doporučený počet opěrných kol

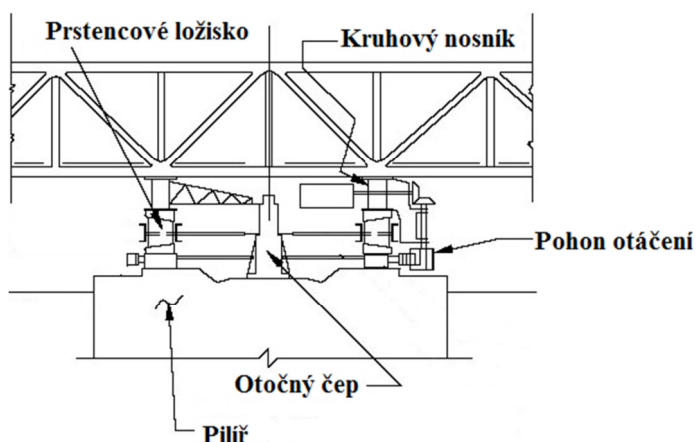
není specifikován žádnými předpisy, nicméně se při použití většího počtu podpůrných kol dá předpokládat, že se celá soustava bude chovat jako kombinace ložiskového čepu a prstencového ložiska. [2,3]



Obrázek 1.9: Uložení otočného mostu na ložiskovém čepu [Zdroj: KOGLIN, Terry L. a Robert KOGLIN. *Movable Bridge Engineering*. Michigan: Wiley, 2003. ISBN 0471419605, 9780471419600]

ULOŽENÍ NA KRUHOVÉM PRSTENCI

Jedná se o uložení, které je schopno přenášet i nerovnoměrná zatížení na konstrukci. Pohyb a přenos zatížení v kruhovém prstenci je zajišťován pomocí valivých ložisek, nebo soustavou kol. Čím je větší hustota ložisek, případně kol, tím větší je rozložení zatížení tlakem po obvodu prstence. V případě nevyvážené konstrukce, může během cyklického pohybu mostu docházet k nerovnoměrnému opotřebení prstencového ložiska. Nejčastěji můžeme prstencová ložiska nalézt u mostů zatížených železniční dopravou. [2,3]



Obrázek 1.10: Uložení otočného mostu na ložiskovém čepu [Zdroj: KOGLIN, Terry L. a Robert KOGLIN. *Movable Bridge Engineering*. Michigan: Wiley, 2003. ISBN 0471419605, 9780471419600]

JEJICH KOMBINACE

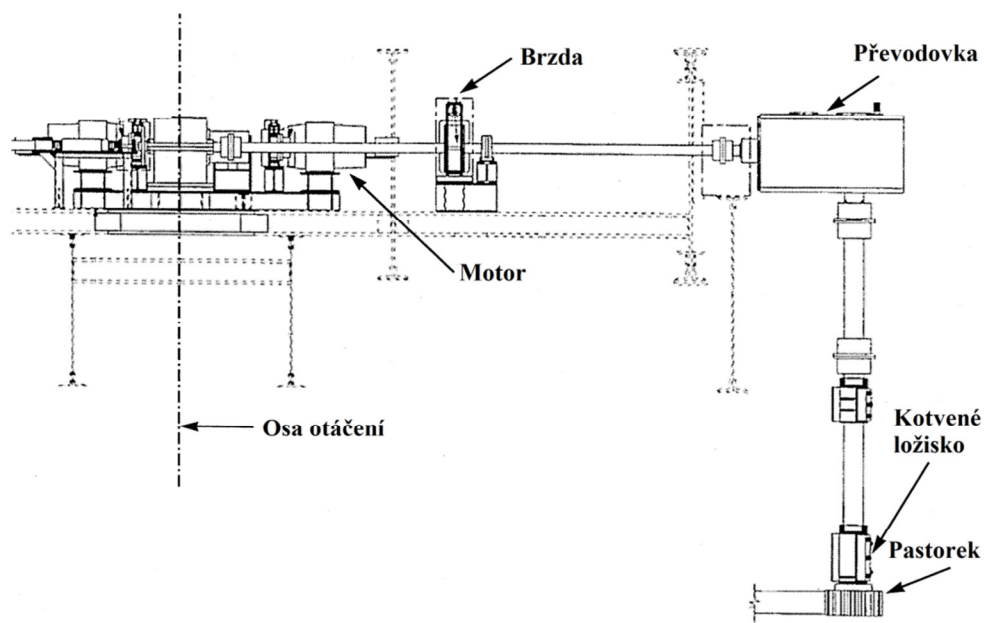
Jde o kombinované řešení, které přímo rozkládá zatížení mezi ložiskový čep a kruhový prstenec. Konstrukce nad uložením musí být řešena ideálně tak, aby oba typy uložení přenášely minimálně 15 procent z celkového zatížení. [2,3]

1.4.2 POHON OTÁČENÍ

V současnosti je nejčastěji pohyb otočných mostů zajištěn díky mechanickému, nebo hydraulickému pohonu. Mohou se však na konstrukci nacházet i v kombinaci, kdy je jako hlavní pohon zvolena hydraulická jednotka, a mechanický pohon je pouze rezervní. Výběr vhodného typu pohonu, je částečně závislý na zvoleném typu uložení, kdy se při použití kruhového prstence volí spíše mechanická varianta otočného pohonu. Zvolení typu pohonu může být ovlivněn také požadavky investora, mezi které nejčastěji patří pořizovací cena a náklady spojené s údržbou.

MECHANICKÝ POHON

Tento typ pohonu je znám již dlouhou dobu, tudíž je velmi osvědčený. Jedná se o strojní zařízení. Pohonná soustava je v různých kombinacích tvořena motorem, hřídelí, brzdou a sestavou ozubených kol. Sestavy ozubených kol mohou tvořit redukce, které například snižují otáčky vytvářené motorem na pracovní otáčky koncového pastorku. Obvykle se na tyto soustavy osazují dva hnací motory. Jeden z motorů je určen pro normální provoz otočného mostu a druhý, záložní motor slouží pro nouzové účely.



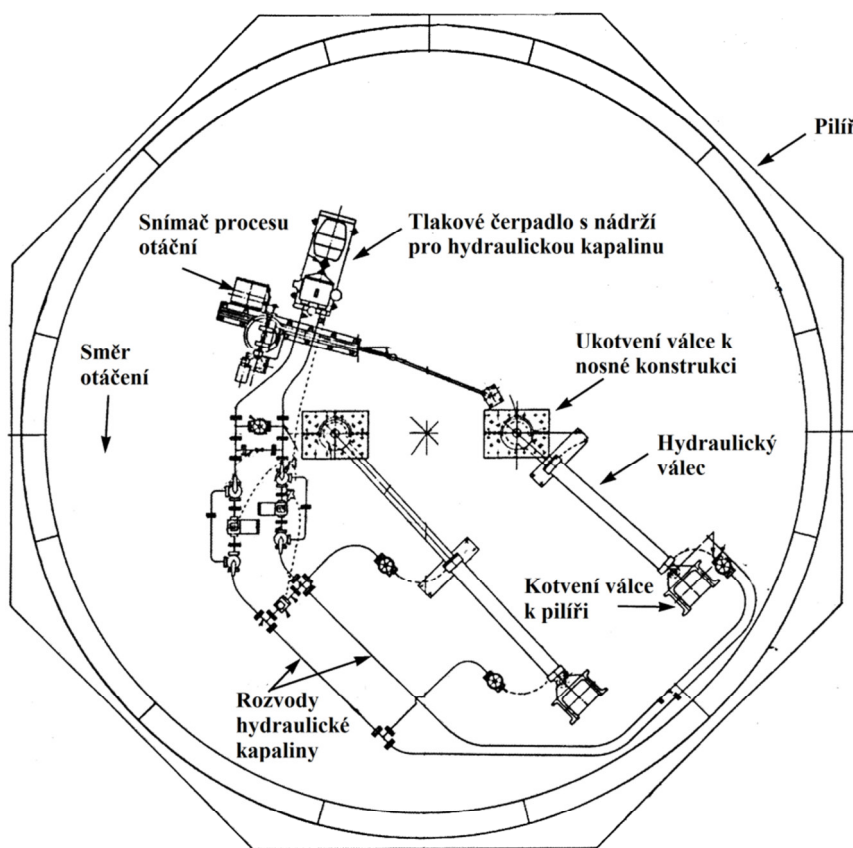
Obrázek 1.11: Schéma mechanického pohonu [Zdroj:

<https://www.yumpu.com/en/document/read/36600181/abrahams-mj-movable-bridges-bridge-engineering-free>]

Na obrázku (1.11) je znázorněna sestava mechanického pohonu. Je určena zejména pro uložení otočného mostu na kruhovém prstenci. Největší problém této sestavy je v koncovém hnacím pastorku a jeho uložení. V těchto místech vznikají při uvedení konstrukce do pohybu a brždění velké síly. Koncový pastorek je nutné dostatečně kotvit přímo k nosné konstrukci tak, aby byl hnací hřídeli a pastorku umožněn jen žádoucí pohyb. Jde o nejvíce namáhanou část pohybového soustrojí, a je jí tedy nutné věnovat zvýšenou pozornost, pravidelnou kontrolu a údržbu. [2]

HYDRAULICKÝ POHON

Použití hydraulického pohonu v souvislosti s pohyblivými mosty je z historického hlediska nejnovější. Již se však osvědčil a je označován jako efektivní řešení. Při porovnání s mechanickým pohonem, má hydraulický mnohem plynulejší chod s vyšší účinností a menšími prostorovými požadavky. Nicméně má i své nevýhody, které jsou například vyšší nároky spojené s údržbou, kolísání výkonu v závislosti na teplotě a hrozba úniku provozních kapalin. [2]



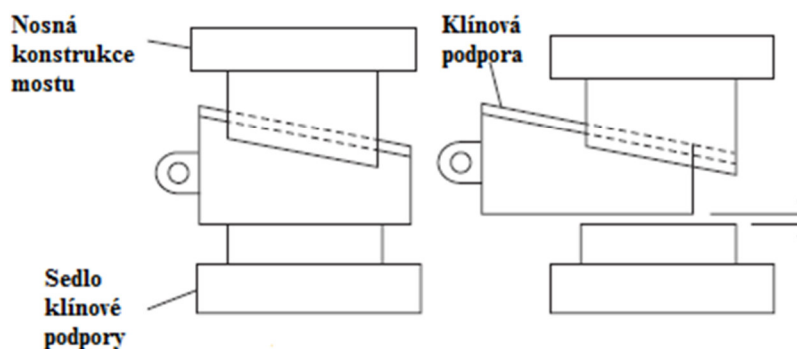
Obrázek 1.12: Půdorysné schéma sestavy hydraulického pohonu [Zdroj: <https://www.yumpu.com/en/document/read/36600181/abrahams-mj-movable-bridges-bridge-engineering-free>]

Obecně se sestava hydraulického pohonu skládá z hydraulických válců, čerpadla, nádrže, rozvodů a regulačních ventilů. Obvykle se osazují dva a více hydraulických válců, aby bylo možné v případě poruchy jednotlivých válců zajistit opravu, aniž by musel být omezen provoz mostu. Celý systém by také mělo být možné ovládat ručně v případech, kdy dojde k selhání řídicí jednotky. Jelikož jsou otočné mosty z velké části budovány v blízkosti vodních cest, je vhodné jako hydraulickou kapalinu využít takovou, která je biologicky odbouratelná. Snížíme tak následky dopadu na životní prostředí při nechtěném úniku provozních kapalin. [2]

1.4.3 KONCOVÉ PODPORY

V otevřené poloze mostu, je nutné zajistit stabilitu koncových částí mostu. Slouží k tomu koncové podpory, jejich primární funkcí je přenos stálého a nahodilého zatížení působící na konstrukci mostu a přenášejí je dále do spodní stavby. Koncové podpory mohou mít mnoho podob. Můžeme se například setkat s klínovými, nebo kloubovými podporami. [1]

Klínová podpora, je nejčastější řešení, které můžeme u otočných mostů nalézt. Hlavním prvkem je klín, který je umístěn mezi klínovým sedlem a dosedovou plochou spodního líce nosné konstrukce mostu. Klín vykonává díky vodícím kanálkům a pohybovému mechanismu jednoosý pohyb, který zajišťuje podepření a nadzvednutí konců otočného mostu do požadované polohy. Klíny se provádějí většinou ve sklonu 1:6. Jde o velmi spolehlivé a ekonomické řešení u mostů krátkých a středních délek. [1]

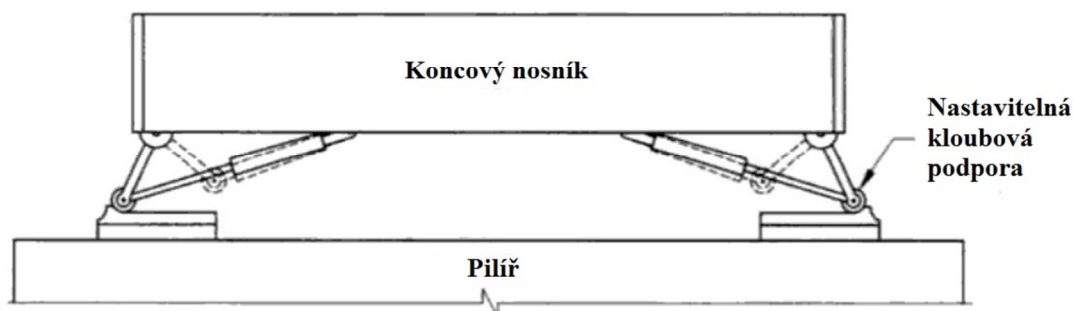


Obrázek 1.13: Schéma klínové podpory [Zdroj:

<https://www.yumpu.com/en/document/read/36600181/abrahams-mj-movable-bridges-bridge-engineering-free>]

S výstavbou otočných mostů, bylo zkonstruováno modernější koncové uložení. Podpory jsou tvořené například válečkem, nebo robustním podporovým kolem, které je schopno přenést zatížení na roznášecí desku, umístěnou na krajním pilíři. Součástí je také pohyblivý mechanismus, který umožňuje měnit výškovou polohu koncové podpěry a je tak schopno zvýšit, nebo snížit konce otočného mostu. Celý zvedací mechanismus je zpravidla součástí konstrukce mostu a musí být navržen tak, aby byl schopen přenést veškerá účinky

o stálého i proměnného zatížení. Na obrázku (1.14) je mechanismus doplněn hydraulickým pohonem. [1]



Obrázek 1.14: Schéma nastavitelných kloubových podpor [Zdroj: <https://www.yumpu.com/en/document/read/36600181/abrahams-mj-movable-bridges-bridge-engineering-free>]

1.4.4 NÁRAZNÍKY

V situacích, kdy se v konečné fázi procesu otáčení nezastaví most v určené poloze, ať už v důsledku závady či nadměrného poryvu větru, je nutné zabránit nežádoucímu pohybu konstrukce a jejímu případnému poškození. Navržený nárazník musí být schopen absorbovat energii, potřebnou pro zastavení procesu otáčení. Typickým řešením je použití vzduchových nárazníků, při použití hydraulického mechanismu otáčení mostu, lze využít jednoduché pryžové nárazníky. Nárazníky musejí být provedeny tak, aby nepřenášely žádné účinky vyvolané zatížením dopravou. [2]

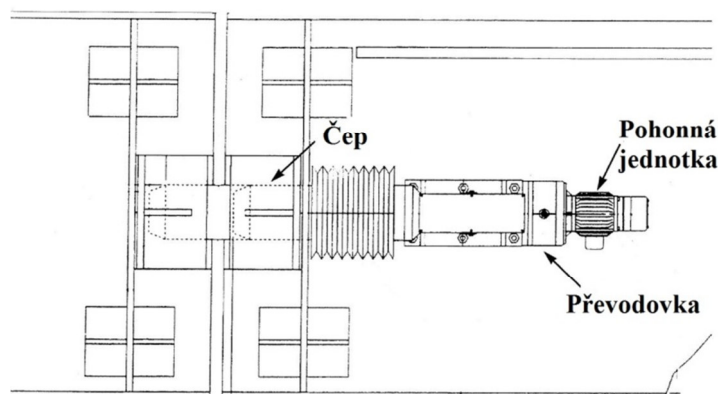


Obrázek 1.15: Schéma nastavitelných kloubových podpor [Zdroj: <https://heavymovablestructures.org/wp-content/uploads/2017/12/282012KHM-HMS-Paper2.pdf>]

1.4.5 ZÁMKY

Na zámky koncových poloh nejsou u otočných mostů kladeny vysoké nároky jako například u sklápěcích mostů. Jejich úloha je v zásadě pouze polohová stabilizace obou konců otočného svršku v takovém místě, které je požadováno pro otevřenou, nebo

uzavřenou polohu. Zámky otočných mostů přenášejí pouze jednoosé smykové namáhání. Celá soustava zámku se běžně skládá z čepového pouzdra, samotného čepu a jeho pohybového mechanismu. Není-li čepem v koncové fázi otáčení zajištěna poloha otočného mostu, nelze most zpřístupnit. Vše by měla zajišťovat elektronická provázanost aretačního zámku se závorami na pozemní komunikaci. [1,3]



Obrázek 1.16: Schéma nastavitelných kloubových podpor [Zdroj: <https://www.yumpu.com/en/document/read/36600181/abrahams-mj-movable-bridges-bridge-engineering-free>]

1.4.6 ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA

Systém ovládání zajišťuje realizaci samotného pohybu mostu dle požadavků obsluhy. V dnešní době jsou tyto systémy velmi sofistikované. Řídící jednotka se skládá nejčastěji z ovládacích a kontrolních panelů, rozvodů, spínačů, senzorů a programovatelných logických ovladačů. Počítačový systém je schopný provoz plně automatizovat. Umožňuje sledovat aktuální polohu mostu a jeho rychlost otáčení. Moderní systémy jsou schopny hlásit informace o nutnosti servisních prohlídek či konkrétních poruchách.

1.5 ÚDRŽBA A OPRAVY

Při porovnání s nepohyblivými mosty jsou pohyblivé mnohem náročnější na údržbu a opravy. Při opravách je vhodné využívat již osvědčené pracovní postupy. Nedílnou součástí každého pohyblivého mostu by měla být náhradní sada kritických součástí a dílů, které by bylo možné v případě nutnosti okamžitě vyměnit.

Primárně je třeba poznamenat, že dodržování pravidelnosti servisních prohlídek výrazně zvyšuje životnost a bezpečnost provozu. Výrobci jednotlivých komponentů musí jasně určit servisní předpisy. Z hlediska údržby je doporučeno zajistit testování napájení, nouzových operací a ovládaných pohyblivých prvků v pravidelných intervalech. U veškerých mechanických částí by mělo být pravidelně kontrolováno mazání. Kontrola probíhá vizuálně, nebo jinou nedestruktivní metodou. U prvků, které slouží déle, než je jejich uvažovaná životnost stojí za zvážení jejich kompletní výměna.

1.6 ZÁKLADNÍ KRITÉRIA PRO NÁVRH OTOČNÉHO MOSTU

Návrh konstrukce otočného mostu je mnohem náročnější, než návrh pevného mostu. Vyžaduje mnohem vyšší obezřetnost z hlediska tvorby výpočtového modelu. Při návrhu je třeba zohlednit interakci nosné konstrukce, ovládacího a strojního zařízení.

1.6.1 SPOLEHLIVOST

Jedná se o jednu z nejzákladnějších podmínek navrhování veškerých konstrukcí. Musí být totiž navržena, vyrobena a udržována tak, aby byla během celé doby životnosti spolehlivá. Otočné mosty spadají do páté kategorie životnosti staveb a jejich návrhová životnost je tak 100 let. Za spolehlivost konstrukce se rozumí její bezpečnost, provozuschopnost a trvanlivost. Mosty jsou vždy vystaveny náročným provozním podmínkám, zejména z hlediska intenzity zatížení a vlivu okolního prostředí na samotnou konstrukci. Tyto vlivy mohou v konečném důsledku vést k únavě materiálu a následným poruchám, nebo haváriím. Spolehlivost posuzujeme dle mezních stavů na základě výsledků z výpočtového modelu konstrukce.

Mezi mezní stavy mostních staveb patří MSÚ a MSP. Mezní stav únosnosti posuzuje, zda v důsledku namáhání nemůže například dojít k porušení konstrukce na základě překročení pevnosti materiálu, ztrátě stability tvaru a polohy, tvorbě únavových trhlin, nebo porušení spojů. Z hlediska mezního stavu použitelnosti posuzujeme zejména, zda nedochází k nadměrným deformacím, nebo nepřiměřeného rozkmitání konstrukce. U betonových prvků musíme v rámci MSP zařadit i posouzení na vznik a šířku trhlin. V rámci návrhu je primární snaha o to, aby pravděpodobnost dosažení kteréhokoliv z mezních stavů byla během navržené životnosti co nejmenší.

Veškeré mezní stavy ověřujeme na základě výsledků ze zatíženého výpočtového modelu a následným statickým či dynamickým posouzením. Při výpočtu předpokládáme pružné chování konstrukce a věnujeme se jí podrobněji, než u jiných konstrukcí. Výpočtový model je nutné vytvořit a zatížit tak, aby byl co nejvíce podobný budoucímu chování konstrukce. Zejména je třeba dbát na tvarovou přesnost modelu, jeho uložení a styčníky jednotlivých prvků.

1.6.2 BEZPEČNOST

Konstrukce otočného mostu je potřeba navrhnout tak, aby byla zajištěna bezpečnost při užívání. Zejména jde o zajištění bezpečnosti chodců, vozidel a lodní dopravy. Bezpečnostní rizika eliminujeme návrhem spolehlivé konstrukce doplněnou bezpečnostními prvky, které bývají nejčastěji součástí mostního vybavení. Jedná se například o monitorovací systémy, dopravní značení, záchytné prvky, nebo například závory. Provoz mostu musí probíhat podle přesně daného postupu, pod dohledem řádně proškolené obsluhy.

1.6.3 TRVANLIVOST

Jedná se o druh staveb, které jsou ve velké míře vystaveny nepříznivým vlivům atmosféry. Projektant je však schopen vhodným návrhem zmírnit možnost vzniku koroze a usnadnit přístupnost jednotlivých součástí otočného mostu a tím zlepšit práce při udržování. Problematická místa bývají okolo styčníků a v úzkých spárách.

1.6.4 MATERIÁL

Při volbě materiálu musíme vycházet ze základního požadavku pro všechny typy pohyblivých mostů a tím je váha pohyblivé konstrukce. Celková váha má významný vliv na náklady spojené s pohyblivým mechanismem konstrukce. V tomto směru je dosud nejvyužívanější ocel. Jde o velmi ušlechtilý materiál, který je homogenní a izotropní. Díky oceli, lze v mnoha případech konstrukci navrhnout z velmi subtilních průřezů. Použitím oceli s vysokou pevností se efekt úspory hmotnosti ještě zvyšuje, přibližně se jedná až o 50% oproti oceli klasické pevnosti. Je však nutné mít na mysli specifické vlastnosti těchto ocelí. Oceli s vysokou pevností vynikají sice větší pevností a vyšší mezí kluzu, ale modul pružnosti je stejný jako u běžných ocelí. Nejeftektivnější je použití oceli vysoké pevnosti u prvků, které jsou namáhány převážně tahem. Jednou z hlavních nevýhod použití ocele u mostních staveb je možnost vzniku koroze na nosných ocelových prvcích, která může výrazně ovlivnit její životnost. Mezi nejpoužívanější typy ochrany patří antikorozi nátěry, nebo pokovování. Vzniku koroze lze předcházet i různými konstrukčními opatřeními, které zamezují hromadění vody a umožňují cirkulaci vzduchu zejména v dutých průřezech. [5,7]

1.6.5 VÝROBA A MONTÁŽ

Požadavky kladené na výrobu a montáž mostních konstrukcí jsou v zásadě přísnější, než je tomu u ostatních pozemních staveb. Ve všech fázích výroby a montáže probíhají mnohem častější kontroly. Tyto procesy musejí být vždy prováděny specializovanými firmami a pracovníky. Nejčastěji výroba probíhá ve výrobních závodech, kde se na dílně vyrobí jednotlivé prvky a následně se celá konstrukce složí. V případě automatického nebo poloautomatického procesu výroby, kdy se počítá s dostatečnou přesností výroby, lze od skládání konstrukce ve výrobní hale upustit.

Montáž probíhá dle vlastního projektu, který by měl být vhodně zpracován pro konkrétní mostní stavbu zvlášť. Jeho kvalita výrazně ovlivňuje zejména rychlost výstavby, bezpečnost při montáži a v neposlední řadě i hospodárnost celé stavby. Celá koncepce montáže je ovlivněna možnostmi příslušného výrobního provozu, formou dopravy konstrukce a podmínkami, které se nacházejí na konkrétním staveništi. Při výstavbě otočných mostů můžeme využít již známé metody, které se využívají pro pevné mostní stavby. Jde o montáž blokovou, letmou, nebo pomocí vysouvání konstrukce. Oproti technologiím používaných při

výstavbě pevných mostů, můžeme u otočných mostů s výhodou využít samotné otáčení konstrukce. Konkrétně se jedná o možnost sestavení celé konstrukce na břehu v uzavřené poloze pohyblivého mostu. Takovou konstrukci je tak možné smontovat přímo na zpevněné ploše. Je tedy eliminována práce ve výškách, což má v konečném důsledku vliv na bezpečnost při výstavbě a použitou techniku. Lze tak velmi efektivně snížit ekonomické náklady spojené s výstavbou. [5]

1.6.6 ESTETICKÁ KRITÉRIA

Mostní stavby mají významný vliv na výslednou podobu oblasti, ve které jsou umístěny. Je tedy nutné, posuzovat tyto stavby z hlediska architektonické stránky samotné konstrukce a vhodnosti začlenění mostu do krajiny. Na výsledné vzezření má jistě velký vliv použitý materiál, u pohyblivých mostů se nejčastěji jedná o ocel. Tento materiál dovoluje navrhnout rozmanité tvary konstrukcí s poměrně malou konstrukční výškou a velkým rozpětím. Umožňuje nám tedy realizovat vizuálně lehkou konstrukci, která se do okolní krajiny ve většině případů bez problémů začlení. Mezi architektonicky nejvýraznější řešení patří příhradové konstrukce, oblouky nebo visuté a zavěšené mosty. Visuté a zavěšené konstrukce jsou řešením, které je v krajině velmi dominantní. Nejvíce vynikají v nečleněném terénu, kde je zapotřebí k překonání velmi širokých překážek. U obloukových mostů, které překonávají například vodní tok, platí pravidlo vhodného návrhu vzepětí oblouku. Mělo by být obvykle 1/5 až 1/10 vzdálenosti mezi nivelitou mostu a vodní hladinou. V rovinatém terénu vynikají příhradové konstrukce, které lze sledovat z větších vzdáleností. [6]

1.6.7 EKONOMICKÁ KRITÉRIA

Návrh mostu musí sloužit svému účelu během celé životnosti, zároveň musí být řešen tak, aby byla realizace a následný provoz co nejehospodárnější. U těchto druhů mostních staveb je výhodné vypracovat několik variant řešení, u kterých se následně provede porovnání jejich technické a ekonomické vhodnosti. Ekonomická analýza zjišťuje zejména přibližné náklady spojené s výrobou, montáží a následnou údržbou konstrukce. [5]

1.7 PŘÍKLADY REALIZACÍ OTOČNÝCH MOSTŮ

1.7.1 TUZEMSKO

V České republice nemá stavba pohyblivých mostů velkou tradici, avšak se s nimi lze na našem území setkat. Mezi nejčastější lokality pro tento druh staveb jsou řeky s lodní dopravou, plavební kanály a plavební komory. Dle veřejně přístupných zdrojů bylo zjištěno, že se v České republice nacházejí dva otočné mosty. Byly vybudovány v roce 2003 jako přemostění plavebních komor Vnorovy II a Uherský Ostroh, které jsou součástí Baťova

kanálu ve Zlínském kraji. Jsou zkonstruovány z ocelových IPE nosníků, oba mosty mají délku 9,2 metru, jejich hmotnost je 10 tun. Protizávaží je vytvořeno z betonového bloku. Otáčení zjišťuje hydraulická pohonná jednotka. [13]



Obrázek 1.17: Otočný most plavební komory Vnorovy [Zdroj: <http://www.p-s.cz/otocne-mosty-c17z410.html>]



Obrázek 1.18: Otočný most plavební komory Uherský Ostroh [Zdroj: <http://www.p-s.cz/otocne-mosty-c17z410.html>]

1.7.2 ZAHRANIČÍ

Množství realizovaných otočných mostů je v zahraničních státech mnohem více. Vyšší koncentraci můžeme zaznamenat například ve Spojených státech amerických, Holandsku, Francii a Anglii.

Prvním příkladem je Colbertův most z roku 1888, nachází se v Normandii a slouží jako komunikace přes 40 metrů široký kanál. Nosná konstrukce je vytvořena z ocelových prvků,

keré jsou vzájemně spojovány nýty. Se svojí celkovou délkou, která činí 70,5 metru, byl ve své době nejdelším otočným mostem. Pohonný mechanismus je tvořen hydraulickými válci a jako hydraulická kapalina byla původně použita voda, která však při nízkých teplotách zamrzala. Původní čerpadla, která plnila válce hydraulickou kapalinou, byla poháněna párou. Udávaná celková hmotnost je 810 tun. [14]



Obrázek 1.19: Colbertův otočný most [Zdroj: https://actu.fr/normandie/dieppe_76217/en-raison-fortes-chaleurs-lacces-pont-colbert-dieppe-est-bloque_26072834.html]

Jako příklad moderní výstavby otočných mostů jsem zvolil most Greenwich Reach, který se nachází v Londýně a byl postaven v roce 2015. Jedná se o lávku pro chodce o délce 44 metrů a hmotnosti 120 tun. Nosná konstrukce mostovky je zavěšená pomocí ocelových táhel. Lávka je uložena na prstencovém ložisku, jehož průměr je 3,7 metru. Pohyblivé ústrojí je poháněno čtyřmi elektromotory, které se nacházejí uvnitř nosného pilíře. Celý proces otáčení této lávky trvá 190 sekund. [15]



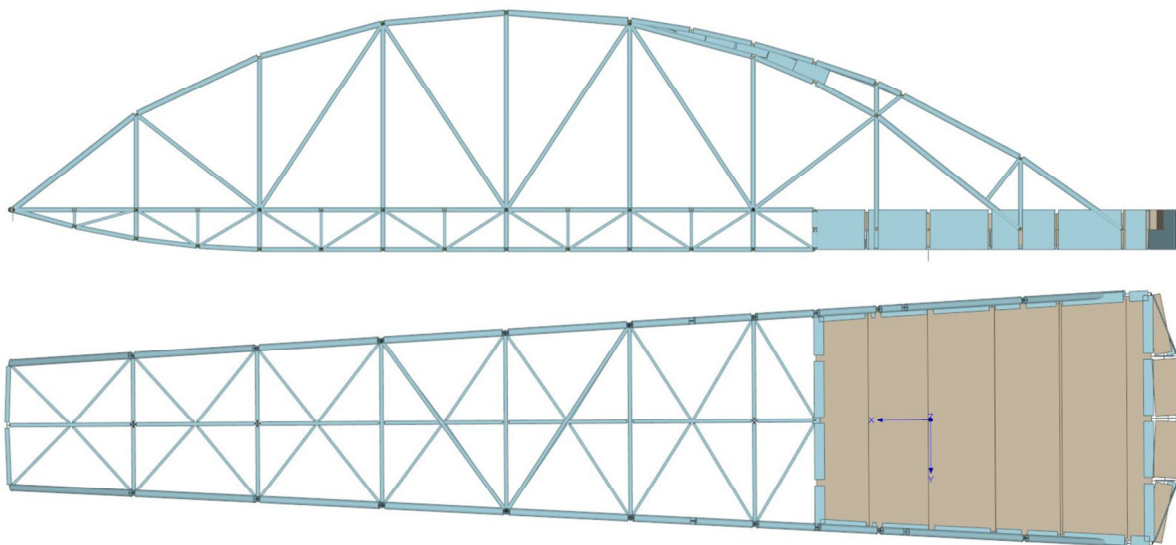
Obrázek 1.20: Otočný most Greenwich Reach [Zdroj: <https://eadonconsulting.co.uk/project/greenwich-reach-swing-bridge/>]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

Obsahem praktické části této diplomové práce je vlastní návrh a posouzení otočné lávky pro chodce. Hlavním cílem je přiblížit postup při návrhu těchto specifických staveb na konkrétním příkladu. Při návrhu budu využívat informace z teoretické části této práce a příslušné normativní předpisy.

2.1 NÁVRH OTOČNÉ LÁVKY PRO CHODCE A CYKLISTY

Při návrhu základního tvaru lávky mi byla předlohou skica otočného mostu od Leonarda da Vinci. Navrhl jsem jednoramennou otočnou lávku s jedním křídlem. Jde o prostorovou prutovou konstrukci, které se skládá z hlavního obloukového nosníku a mostovky. Mostovka je primárně řešena jako prostorová příhradová konstrukce, součástí mostovky je i ocelobetonová tuhá platforma, která tvoří protizávaží celé konstrukci a zajišťuje spolupůsobení s hlavním otočným čepem lávky. Z hlediska půdorysného tvaru je lávka symetricky zužována ve směru své podélné osy. Tento půdorysný tvar zlepšuje celkový potenciál protizávaží. Primárně má tento návrh lávky sloužit pro chodce a cyklisty jako součást městské dopravní infrastruktury.



Obrázek 2.1: Návrh tvarového řešení otočné lávky [Zdroj: autor diplomové práce]

2.1.1 VÝBĚR VHODNÉ LOKALITY

Jako vhodná lokalita pro umístění otočné lávky byla zvolena plavební komora Nymburk nacházející se na řece Labe. Jedná se místo, které propojuje městskou část Zálabí s hlavním městským parkem Ostrov, který je velmi využívaný pro sport a rekreaci. V současné době se zde nachází lávka, která však nespĺňuje bezbariérové požadavky a ze strany města je iniciována snaha o vybudování nové bezbariérové lávky. Tudíž tento návrh

může sloužit jako případná alternativa k plánované výstavbě nového přemostění plavební komory. Minimální šířka této komory je dvanáct metrů.



Obrázek 2.2: Stávající lávka přes plavební komoru Nymburk [Zdroj: <http://www.labskastezka.cz/cz/galerie/fotogalerie/bariery/glr-264-nymburk-zdymadlo>]

2.1.2 ZÁKLADNÍ PARAMETRY KONSTRUKCE

Hlavní nosná příhradová konstrukce je tvořena z ocelových uzavřených kruhových profilů. Veškeré styčníky prutových prvků jsou svařované. Otočná platforma je tvořena z válcovaných ocelových profilů HEB a UPE. Bočnice platformy je navržena ze svařovaných U profilů. Celková délka mostu je 23,7m. Maximální výška je 4,9m, tato výška byla stanovena tak, aby průjezdní výška splňovala minimální průjezdní výšku stanovenou pro cyklisty. Hodnoty uvedené v normě ČSN 73 6201 uvádějí minimální volnou výšku 2,5m a minimální průjezdnou šířku 2,0m. Navržená šířka lávky je v místě nejmenšího zúžení 2,5m. Protilehlá maximální šířka lávky je 5,1m.

Jedním z hlavních nosných prvků jsou dva obloukové nosníky o poloměru 14,5m. Tyto nosníky jsou na jednom konci zdvojeny, konkrétně se jedná o místo napojení nosníků na otočnou platformu. Předběžný návrh konstrukce potvrdil, že tímto řešením lze významně zvýšit celkovou tuhost lávky. Prostorová tuhost obloukových nosníků je zajišťována navrženými příčnicemi a diagonálami z uzavřených kruhových profilů, které propojují nosníky s mostovkou.

Z důvodu maximálního snížení váhy lávky byla z větší části mostovka řešena jako prostorová příhradová konstrukce. Tato část mostovky je tvořena třemi hlavními příhradovými nosníky, které jsou mezi sebou propojeny příčnými, horizontálními a diagonálními výztuhami. Mostovka tvořící otočnou platformu je sestavena z válcovaných profilů HEB a UPE v podélném i příčném směru. Tento rošt je po svém obvodu zakončen

svařovaným U nosníkem. Rošt platformy je z části vyplněn betonem, který zde primárně tvoří protiváhu navržené konstrukci tak, aby nedošlo k nadměrnému opotřebením vyrovnávajících podpor při procesu otáčení či dokonce překlopení celé lávky. Skladba pochozí vrstvy mostovky je tvořena příčnicí, a na nich uloženým ocelovým roštem z tahokovu. Příčnicí jsou tvořeny ocelovými profily IPE 120, jsou kladeny pravidelné v osové vzdálenosti 0,5m.

2.2 VÝPOČTOVÉ MODELY KONSTRUKCE

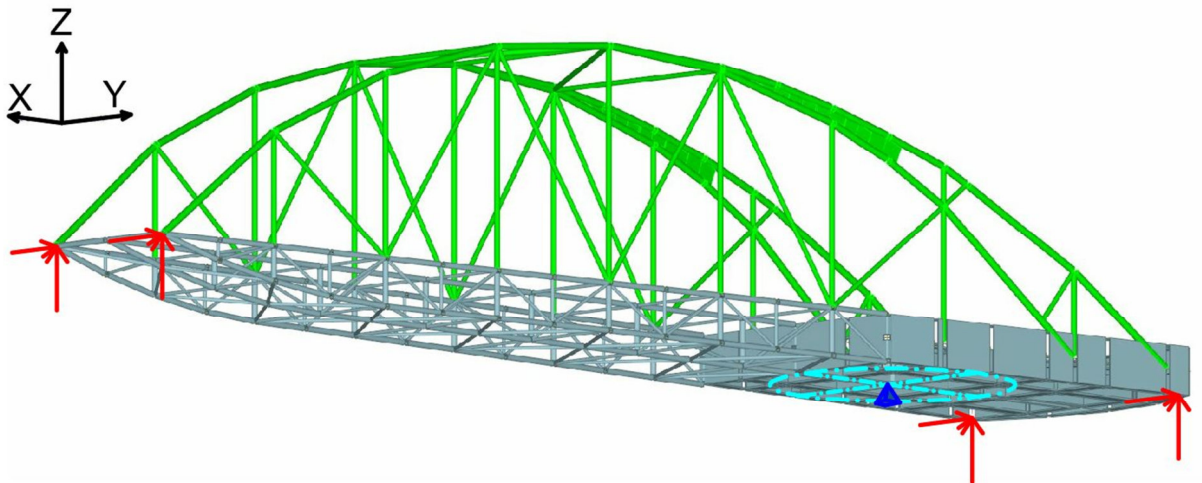
Vzhledem k provoznímu charakteru konstrukce je nutné vytvořit dva výpočtové modely. Oba modely jsem vypracoval v programu FIN 3D tak, aby v co největší míře charakterizovali chování reálné konstrukce. Rozdíly mezi výpočtovými modely jsou v zásadě jen dva, jde o způsob uložení a rozsah uvažovaných zatěžovacích stavů. Navržená ocelová konstrukce předpokládá spojování prutových prvků svařováním, z toho důvodu jsou veškeré styčnice uvažovány jako dokonale tuhé.

FYZIKÁLNÍ VELIČINY POUŽITÉ KONSTRUKČNÍ OCELI S355

$E = 210\,000\text{ MPa}$	- modul pružnosti v tahu a tlaku
$G = 81\,000\text{ MPa}$	- modul pružnosti ve smyku
$\nu = 0,3$	- součinitel příčné deformace
$\alpha = 12 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}$	- součinitel tepelné roztažnosti

2.2.1 MODEL VM1

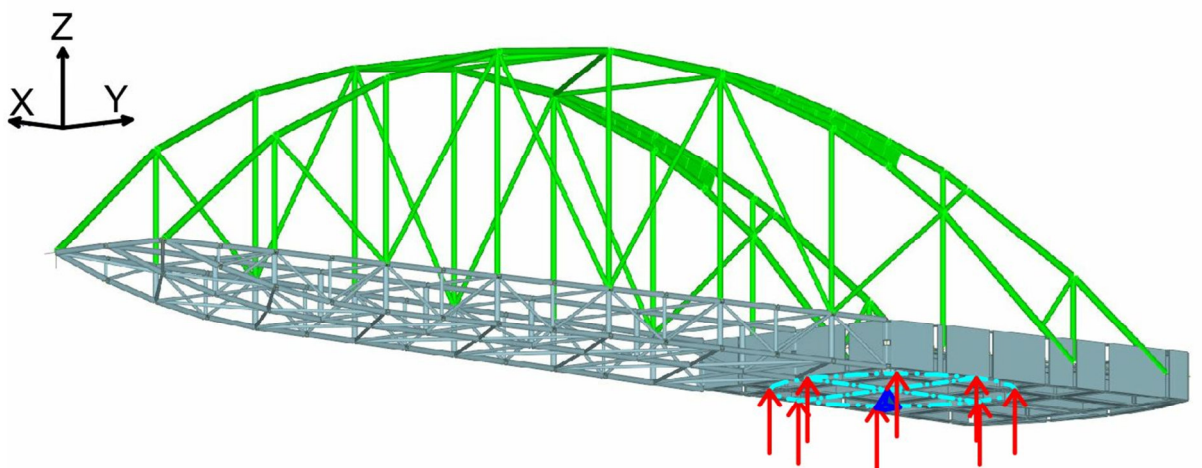
První výpočtový model má svým uložení a zatížením co nejvíce vystihovat otočnou lávku v otevřené poloze. Otočná lávka je tak v otevřené poloze uložena na koncových podpěrách, kterými jsou opatřeny oba břehy překonávaného vodního toku. Na obrázku jsou tato uložení znázorněna šipkami, které představují předpokládané reakční účinky. Tyto koncové podpory jsou modelovány jako rotační vazby posuvné v jednom směru. Hlavním prvkem modelu uložení je otočný čep s jedním stupněm volnosti, konkrétně umožňuje pouze rotační pohyb kolem své vertikální osy.



Obrázek 2.3: Model uložení konstrukce VM1 [Zdroj: autor diplomové práce]

2.2.2 MODEL VM2

Druhý výpočtový model má svým uložením a zatížením co nejvíce vystihovat otočnou lávku v přechodové fázi otáčení. Lávka je během otáčení uložena pouze na centrálním otočném čepu a současně jsou aktivovány i pomocné opěrné body, které jsou soustředěny kolem centrálního čepu. Otočný čep je modelován s jedním stupněm volnosti, konkrétně umožňuje pouze rotační pohyb kolem své vertikální osy. Pomocné opěrné body představují vyvažovací valivé podpory, zabráňující pohybu ve směru osy Z globálního souřadného systému. Předpokládané reakce vyvažovacích podpor jsou na obrázku znázorněny šipkami.



Obrázek 2.4: Model uložení konstrukce VM2 [Zdroj: autor diplomové práce]

2.3 ROZBOR PŮSOBÍCÍHO ZATÍŽENÍ PODLE ČSN EN 1991

2.3.1 STÁLÁ ZATÍŽENÍ

VLASTNÍ TÍHA KONSTRUKCE

Použitý výpočetní program umožňuje generování zatížení vlastní tíhou automaticky. Vše probíhá na základě použitých profilů a jejich příslušných objemových hmotností. V tomto zatěžovacím stavu není uvažováno se stálým zatížením skladby mostovky a použitého záchytného systému.

VLASTNÍ TÍHA ZÁBRADLÍ A SKLADBY MOSTOVKY

Vlastní tíha pojezdové části mostovky je vypočtena na základě použité skladby. Výsledná hodnota plošného zatížení je následně přepočítána dle příslušné zatěžovací šířky na liniové zatížení, které působí přímo na hlavní příhradové nosníky mostovky.

Tab. 2.1 Vlastní tíha pochozí skladby mostovky

Popis skladby	TI.	Hmotnost prvku	Zatížení char.
Podlahový rošt z tahokovu	40 mm	26,16 kg/m ²	0,26 kN/m ²
Ocelový nosník IPE 120 ã500mm	120 mm	10,6 kg/bm	0,21 kN/m ²

$$\Sigma \quad 0,47\text{kN/m}^2$$

Zábradlí bude umístěno po obou stranách lávky. Zatížení je přepočítáno na liniové zatížení působící na krajní nosníky mostovky. Výška zábradlí je podle technických podmínek ministerstva dopravy minimálně 1,3m. Uvažované liniové zatížení od zábradlí na konstrukci lávky je 0,8kN/m.

2.3.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE CHODCI

V normě ČSN EN 1991-2 jsou stanovena příčná a vodorovná zatížení působící na lávky pro chodce. Národní příloha této normy uvádí hodnotu plošného zatížení působící ve svislém směru. Charakteristická hodnota je určena jako $q_{fk} = 5\text{kN/m}^2$, tuto hodnotu umožňuje norma na základě délky lávky a předpokládané hustotě chodců snížit.

Plošné zatížení chodci:

$$q_{fk} = 5\text{kN/m}^2 \quad - \text{zatížení souvislého proudu lidí}$$

$$q_{fk} = 2,0 + 120/(L + 30) \quad - \text{snížená hodnota zatížení lidmi}$$

$$L = 23\text{m} \quad - \text{délka lávky}$$

$$q_{fk} = 2,0 + 120/(23 + 30) = 4,3\text{kN/m}^2$$

Soustředěné zatížení:

$$Q_{f_{wk}} = 10kN \quad - \text{zatížení působí na ploše } 0,1m \times 0,1m$$

Vodorovné zatížení konstrukce:

$$q_{f_{lk}} = (0,1 \cdot A_f \cdot q_{fk})/L \quad - \text{liniové zatížení působící na konstrukci}$$

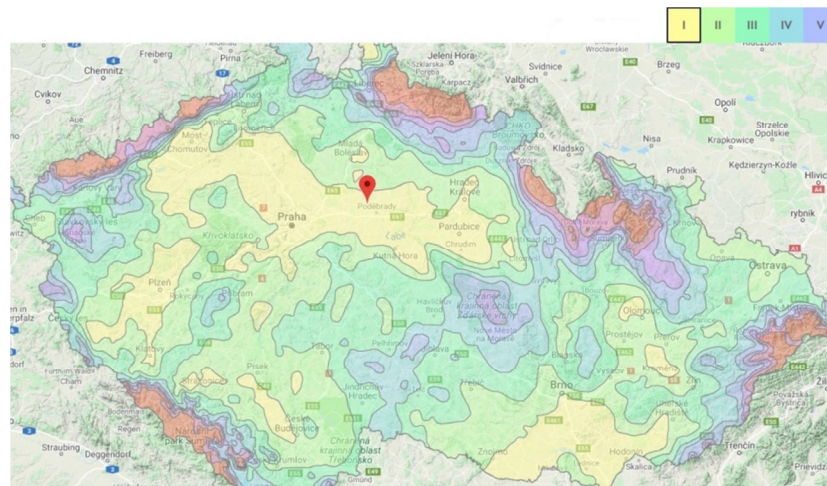
$$A_f = 87m^2 \quad - \text{celková zatěžovací plocha}$$

$$L = 23m \quad - \text{délka lávky}$$

$$q_{f_{lk}} = (0,1 \cdot 87 \cdot 5,0)/23 = 1,93kN/m$$

ZATÍŽENÍ SNĚHEM

Zatížení sněhem bylo stanoveno na základě charakteristické hodnoty, dle mapy sněhových oblastí na území České republiky. Mapa je rozdělena do několika oblastí a každé oblasti náleží charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi s_k .



Obrázek 2.5: Mapa sněhových oblastí ČR [Zdroj: <https://www.dlupal.com/cs/reseni/online-sluzby/oblasti-zatizeni-snehem-vetrem-a-zemetresenim>]

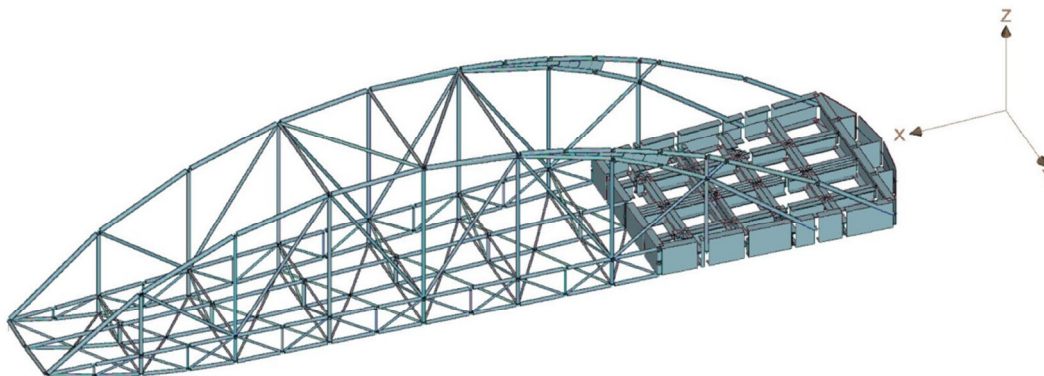
Nymburk spadá do oblasti I.

$$s_k = 0,7kN/m^2 \quad - \text{charakteristické zatížení sněhem na zemi}$$

ZATÍŽENÍ VĚTREM

Pro mostní konstrukce jednoduchých tvarů lze pro výpočet zatížení větrem použít zjednodušenou metodu, kterou popisuje ČSN EN 1991-1-4. Zjednodušenou metodu lze v zásadě použít jen pro mosty konstantní šířky s rozpětím do 200m. Tato norma pro ostatní typy mostů předepisuje individuální posouzení, které není dále specifikováno.

Konstrukci jsem podrobil aerodynamické analýze výpočetního programu RWIND Simulation, který je schopen vygenerovat zatížení větrem na složitějších typech konstrukcí. Program pro stanovení proudění vzduchu kolem vymodelované konstrukce používá numerický model CFD. Výsledkem aerodynamické analýzy je tlak na povrchu tělesa. Reprezentativní hodnoty tlaku na povrchu jednotlivých prvků, jsou následně převedeny na liniové zatížení, které je použito v hlavním výpočtovém modelu. Model lávky byl vystaven proudění vzduchu ve směru Y; X; -X, dle souřadného systému uvedeného na obrázku.

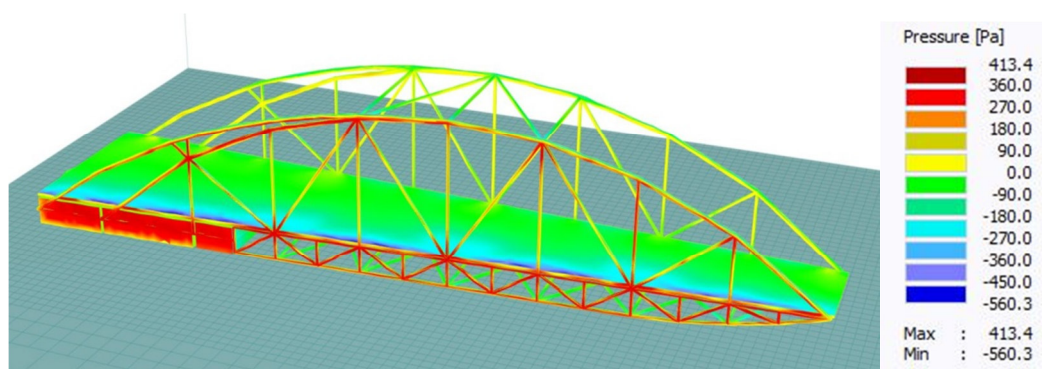


Obrázek 2.6: Model konstrukce v programu RWIND [Zdroj: autor diplomové práce]

Vstupní data zadaná v programu RWIND Simulation:

Lokalita – Nymburk	- oblast I dle mapy větrných oblastí
$v_{b,0} = 22,5 \text{ m/s}$	- výchozí hodnota základní rychlosti větru
$c_{dir} = 1,0$	- součinitel směru větru
$c_{season} = 1,0$	- součinitel ročního období
$v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 22,5 \text{ m/s}$	- základní rychlost větru
$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$	- měrná hmotnost vzduchu

Model proudění vzduchu ve směru osy Y:



Obrázek 2.7: Tlak větru působící na konstrukci ve směru osy Y [Zdroj: autor diplomové práce]

Výstup z programu RWIND Simulation:

$$w_{e,tlak} = 413,4\text{N/m}^2 \quad - \text{maximální tlak větru působící na povrch konstrukce}$$

$$w_{e,sání} = -560,3\text{N/m}^2 \quad - \text{minimální tlak větru (sání) působící na povrch konstrukce}$$

Výpočet liniového zatížení na jednotlivých prvcích konstrukce:

$$f_{w,e,i} = c_s c_d \cdot w_{e,i} \cdot b_{ref,i} \quad - \text{přepočet liniového zatížení}$$

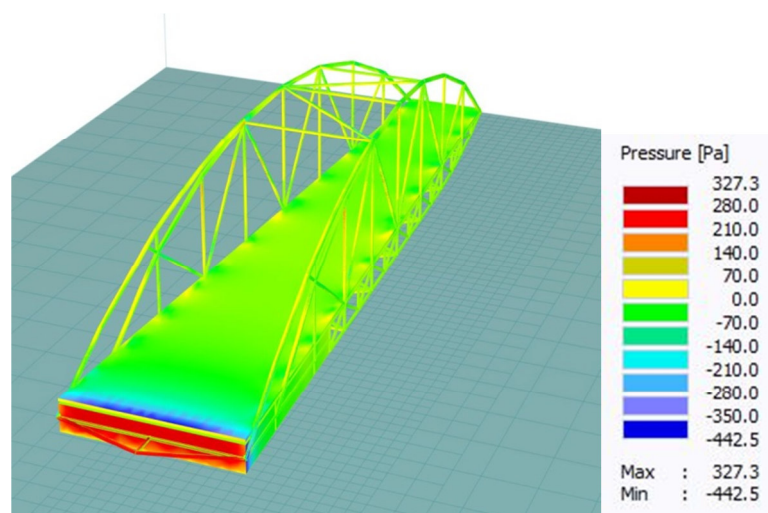
$$c_s c_d = 1,0 \quad - \text{součinitel konstrukce}$$

$$b_{ref,i} \quad - \text{referenční šířka prvků konstrukce namáhané větrem}$$

Plošné zatížení konstrukce větrem ve směru Z:

$$w_{e,z} = \pm 465,2\text{N/m}^2$$

Model proudění vzduchu ve směru osy X:



Obrázek 2.8: Tlak větru působící na konstrukci ve směru osy X [Zdroj: autor diplomové práce]

Výstup z programu RWIND Simulation:

$$w_{e,tlak} = 327,3\text{N/m}^2 \quad - \text{maximální tlak větru působící na povrch konstrukce}$$

$$w_{e,sání} = -442,5\text{N/m}^2 \quad - \text{minimální tlak větru (sání) působící na povrch konstrukce}$$

Výpočet liniového zatížení na jednotlivých prvcích konstrukce:

$$f_{w,e,i} = c_s c_d \cdot w_{e,i} \cdot b_{ref,i} \quad - \text{přepočet liniového zatížení}$$

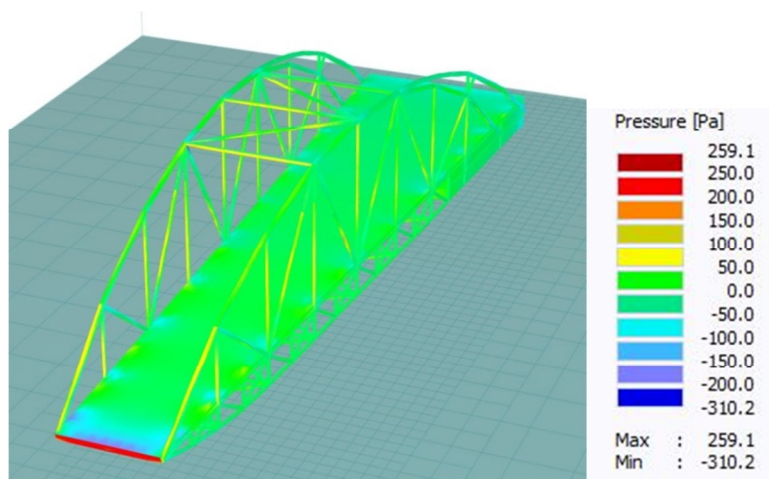
$$c_s c_d = 1,0 \quad - \text{součinitel konstrukce}$$

$$b_{ref,i} \quad - \text{referenční šířka prvků konstrukce namáhané větrem}$$

Plošné zatížení pochozí plochy ve směru Z:

$$w_{e,z} = \pm 118,5 \text{ N/m}^2$$

Model proudění vzduchu proti směru osy X:



Obrázek 2.9: Tlak větru působící na konstrukci proti směru osy X [Zdroj: autor diplomové práce]

Výstup z programu RWIND Simulation:

$$w_{e,tlak} = 259,1 \text{ N/m}^2 \quad - \text{ maximální tlak větru působící na povrch konstrukce}$$

$$w_{e,sání} = -310,2 \text{ N/m}^2 \quad - \text{ minimální tlak větru (sání) působící na povrch konstrukce}$$

Výpočet liniového zatížení na jednotlivých prvcích konstrukce:

$$f_{w,e,i} = c_s c_d \cdot w_{e,i} \cdot b_{ref,i} \quad - \text{ přepočítání liniového zatížení}$$

$$c_s c_d = 1,0 \quad - \text{ součinitel konstrukce}$$

$$b_{ref,i} \quad - \text{ referenční šířka prvků konstrukce namáhané větrem}$$

Plošné zatížení pochozí plochy ve směru Z:

$$w_{e,z} = \pm 95,6 \text{ N/m}^2$$

ZATÍŽENÍ TEPLOTOU

Stanovení zatížení konstrukce teplotou je dle ČSN EN 1991-1-5. Zatížení teplotou bude započítáno v každé návrhové situaci. Konstrukce lávky je typu 1 (ocelová nosná konstrukce).

Charakteristické teploty vzduchu ve stínu pro danou lokalitu:

$$T_{min} = -32^{\circ}\text{C} \quad - \text{ minimální teplota vzduchu ve stínu}$$

$$T_{max} = 40^{\circ}\text{C} \quad - \text{ maximální teplota vzduchu ve stínu}$$

Určení rovnoměrné složky teploty pro nosné konstrukce typu 1:

$$T_{e,min} = T_{min} - 3 = -35^{\circ}\text{C} \quad - \text{ minimální rovnoměrná teplota}$$

$$T_{e,max} = T_{max} + 16 = 56^{\circ}\text{C} \quad - \text{ maximální rovnoměrná teplota}$$

Určení charakteristické hodnoty rovnoměrné složky teploty:

$$T_0 = 10^{\circ}\text{C} \quad - \text{ výchozí teplota}$$

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = -45^{\circ}\text{C} \quad - \text{ minimální rovnoměrná teplota ochlazení}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 46^{\circ}\text{C} \quad - \text{ maximální rovnoměrná teplota ohřátí}$$

Určení celkové rozsahu účinné teploty:

$$\Delta T_N = |\Delta T_{N,con}| + |\Delta T_{N,exp}| = 91^{\circ}\text{C} \quad - \text{ celkový rozsah teploty}$$

Určení charakteristické hodnoty rovnoměrné složky teploty:

$$T_0 = 10^{\circ}\text{C} \quad - \text{ výchozí teplota}$$

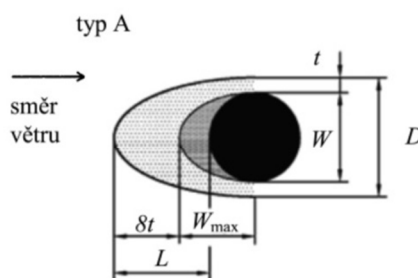
Stanovení rozdílové teploty svislé lineární složky podle typu nosné konstrukce:

$$\Delta T_{M,heat} = 18^{\circ}\text{C} \quad - \text{ horní povrch teplejší než dolní}$$

$$\Delta T_{M,cool} = 13^{\circ}\text{C} \quad - \text{ dolní povrch teplejší než horní}$$

ZATÍŽENÍ NÁMRAZOU

Stanovení zatížení konstrukce námrazou je dle ČSN ISO 12494. Lokalita dle mapy tříd námraz na území ČR spadá do třídy R2, která udává charakteristickou hmotnost námrazy $m = 0,9\text{kg}/\text{m}$. Pro tuto třídu je součinitel snížení tlaku větru $k = 0,4$. Je zjevné, že námraza nemá v tomto případě významný vliv na aerodynamické účinky větru. Výsledné zatížení námrazy by tak v kombinaci se zatížením větrem nebylo rozhodujícím zatížením, proto je ve výpočtu uvažován pouze vliv hmotnosti námrazy.



Obrázek 2.10: Tvorba námrazy na prutech kruhového průřezu [Zdroj: <http://old.konstrukce.cz/clanek/zatizeni-konstrukci-namrazou/>]

VÝPOČET ZATÍŽENÍ NÁMRAZOU

$$D = \left(\frac{4 \cdot 10^6 \cdot m}{\gamma \cdot \pi} + d^2 \right)^{0,5} \quad - \text{průměr námrazy (m)}$$

$$t = \frac{D-d}{2} \quad - \text{tloušťka námrazy (m)}$$

$$S = \pi \cdot (D^2 - d^2) + \frac{8t \cdot D}{2} \quad - \text{příčná plocha námrazy (m}^2\text{)}$$

$$q_k = S \cdot \gamma \quad - \text{zatížení námrazou (kN/m)}$$

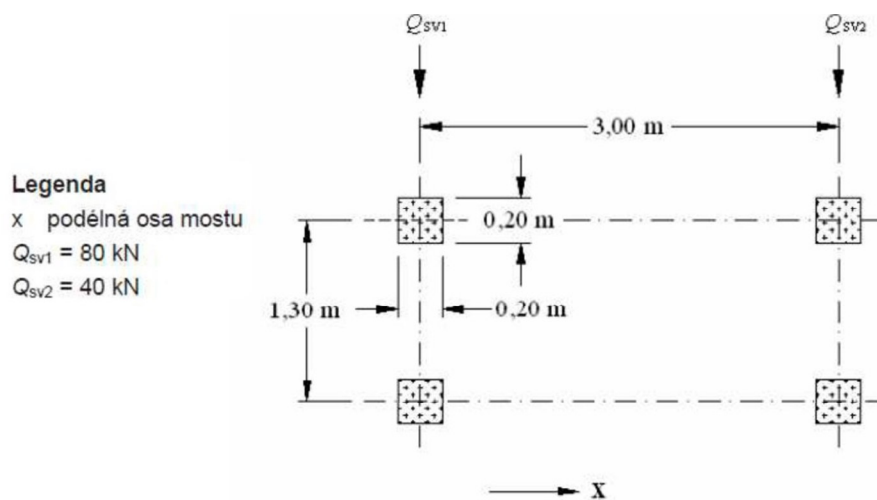
Tab. 2.2 Zatížení konstrukce námrazou

Průměr kruhového profilu d	Hmotnost ledu dle třídy námrazy ICR m	Objemová hmotnost námrazy γ	Průměr námrazy D	Tloušťka námrazy na profilu t	Celková plocha námrazy S	Zatížení profilu námrazou q_k
(mm)	(kg/m)	(kg/m ³)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN/m)
152,4	0,9	900	157	2	5290	0,05
101,6			108	3	5310	0,05
88,9			96	3	5321	0,05
60,3			70	5	5369	0,05

2.3.3 MIMOŘÁDNÁ ZATÍŽENÍ

VÝSKYT VOZIDLA NA LÁVCE

Jelikož není lávka mechanicky chráněna před výskytem vozidla či jiné mechanizace na konstrukci, je nutné uvažovat s tímto mimořádným zatížením. Příloha normy uvažuje vozidlo o hmotnosti 12t s rozmístěním náprav dle obr.. Vodorovná síla je uvažována jako 60% svislého zatížení.



Obrázek 2.11: Model zatížení vozidlem na mostní konstrukci [Zdroj: *Navrhování mostních konstrukcí podle eurokódů*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-90-0]

ZATÍŽENÍ VYVOLANÉ NÁRAZEM PLAVIDLA DO KONSTRUKCE

Norma definuje jako jedno z mimořádných zatížení náraz plavidla do konstrukce mostu. Jelikož jsou konstrukce lávek citlivé na účinky nárazu, je nejvýhodnějším řešením ochrana konstrukce před srážkou. Jedná se zejména o zachytné systémy v dostatečné vzdálenosti od nosné konstrukce lávky, nebo zajištění dostatečného průjezdního prostoru.

Navržená lávka kříží vnitrozemský vodní tok třídy IV, pro které je stanoveno referenční plavidlo o síle nárazu $F_{dx} = 5000kN$. Uvažovat s touto silou nárazu je pro navržený typ konstrukce nereálné. Řešením problému by mohlo být zvětšení průjezdné výšky pod lávkou, tím by však zanikl elementární smysl otočného mostu. Další variantou je účinný zachytý systém v kombinaci se zvýšenými požadavky na obsluhu otočného lávka a provoz dopravy na příslušném vodním toku, který by zabránil nárazu. Konkrétní řešení ochrany konstrukce lávky před nárazem plavidla není součástí této diplomové práce.

2.4 PŘEHLED ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ

Tab. 2.3 Zatěžovací stavy

Typ zatížení	Ozn.	Název	Součást výpočtového modelu		Poznámka	Součinitel zatížení γ	Kombinační součinitel		
			VM1	VM2			ψ_0	ψ_1	ψ_2
stálé	ZS1	Vlastní tíha konstrukce	ANO	ANO	Vzájemné spolupůsobení	1,35	-	-	-
	ZS2	Tíha pochůzně skladby							
	ZS3	Tíha zábradlí							
proměnné	ZS4	Zatížení chodci	ANO	NE	Vyloučené vzájemné spolupůsobení	1,50	0,4	0,4	0
	ZS5.1	Soustředěné zatížení P1	ANO	NE			0	0	0
	ZS5.2	Soustředěné zatížení P2							
	ZS5.3	Soustředěné zatížení P3							
	ZS5.4	Soustředěné zatížení P4							
	ZS5.5	Soustředěné zatížení P5							
	ZS5.6	Soustředěné zatížení P6							
	ZS6.1	Sníh 100%	ANO	ANO	Vyloučené vzájemné spolupůsobení	1,50	0,5	0,2	0
	ZS6.2	Sníh 50/100%							
	ZS7.1	Vítr Y	ANO	ANO			0,6	0,2	0
	ZS7.2	Vítr X							
	ZS7.3	Vítr -X							
	ZS8	Námraza	ANO	ANO	Vyloučené spolupůsobení s ZS6.1; ZS6.2	1,50	0,5	0	0
	ZS9.1	Teplota	ANO	ANO	Vyloučené vzájemné spolupůsobení		0,6	0,6	0,5
ZS9.2	Teplota								
mimořádné	ZS10.1	Výskyt vozidla P1	ANO	NE	Vyloučené vzájemné spolupůsobení	1,00	-	-	-
	ZS10.2	Výskyt vozidla P2							
	ZS10.3	Výskyt vozidla P3							
	ZS10.4	Výskyt vozidla P4							
	ZS10.5	Výskyt vozidla P5							
	ZS10.6	Výskyt vozidla P6							

2.5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Jednotlivé kombinace jsou sestavovány pro zatěžovací stavy, které mohou současně působit na výpočtový model. Při sestavování kombinací bylo postupováno dle ČSN EN 1990. Kombinační rovnice popisuje norma pro mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti.

2.5.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

ZÁKLADNÍ KOMBINACE

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

ALTERNATIVNÍ KOMBINACE

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

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

KOMBINACE MIMOŘÁDNÝCH NÁVRHOVÝCH SITUACÍ

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

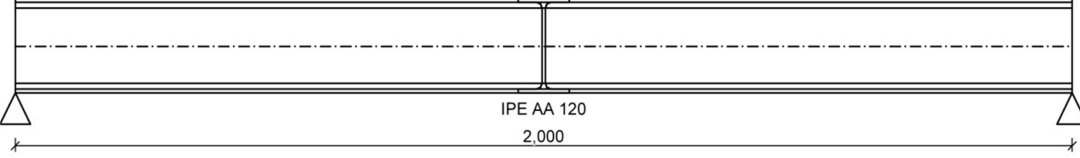
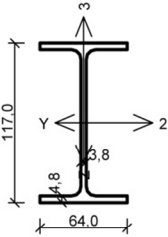
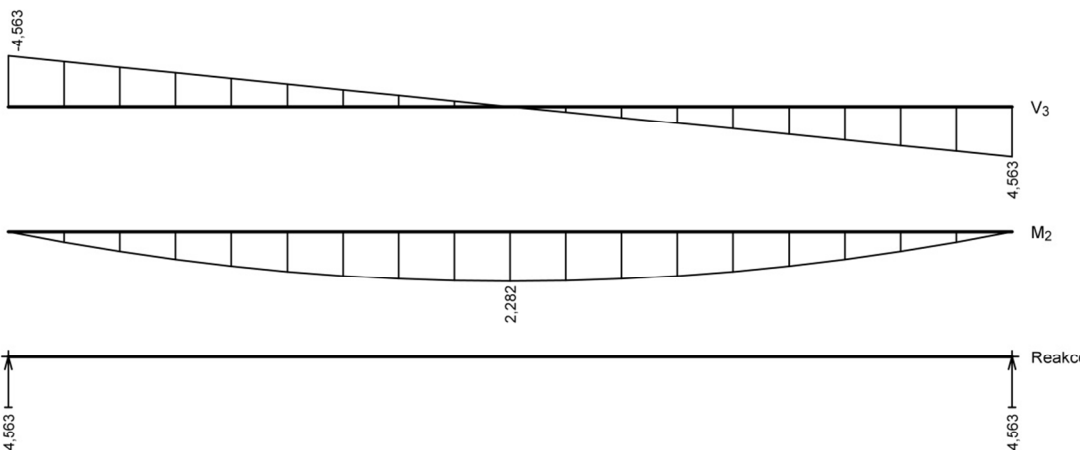
2.5.2 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

KOMBINACE CHARAKTERISTICKÁ

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

2.6 POSOUZENÍ MSÚ VYBRANÝCH PRVKŮ

2.6.1 NOSNÍK MOSTINY

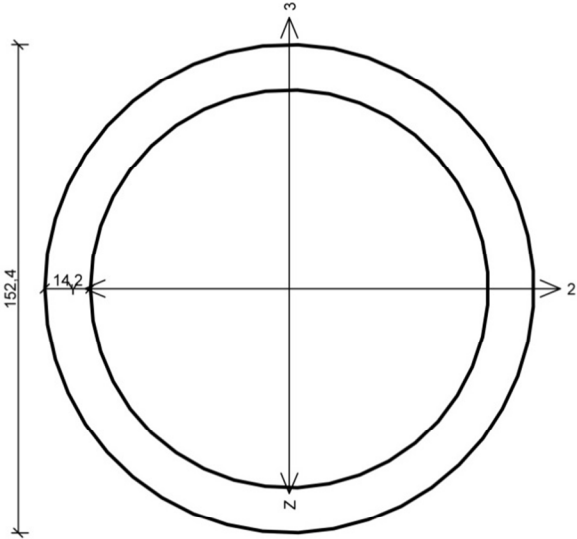
IPE 120	
	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Průřez IPE AA 120</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 235</p>
<p>Zatížení</p> <p>$f_{g,1} = 0,084 \text{ kN/m}$ $\gamma_f = 1,35$</p> <p>$f_{g,2} = 0,130 \text{ kN/m}$ $\gamma_f = 1,35$</p> <p>$f_{q,3} = 2,500 \text{ kN/m}$ $\gamma_f = 1,5$</p> <p>$f_{s,4} = 0,350 \text{ kN/m}$ $\gamma_f = 1,5$</p> <p>$F_{a,5} = 20,000 \text{ kN}$ (1,000m) $\gamma_f = 1$</p>	<p>Parametry klopení</p> <p>S klopením se nepočítá</p>
	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: A5+G1+G2; Třída průřezu: 1 Posudek smyku od posouvající síly V_z: $10,000 \text{ kN} < 72,728 \text{ kN}$ Vyhovuje Ohybový moment: $M_y = 10,107 \text{ kNm}$ Posudek ohybu: Únosnost: $M_{y,R} = 11,186 \text{ kNm}$ $|0,904| < 1$ Vyhovuje Průřez vyhovuje</p>	<p>Charakteristické zatěžovací případy Maximální deformace dílce je 1,2mm v bodě $x = 1,000\text{m}$ Maximální povolená deformace dílce je $2,000\text{m} / 250,0 = 8,0\text{mm}$ $1,2\text{mm} < 8,0\text{mm} \Rightarrow$ Vyhovuje Průhyb dílce VYHOVUJE</p>
VYHOVUJE	

2.6.2 OBLOUKOVÝ NOSNÍK

VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Tab. 2.4 Vnitřní síly obloukového nosníku

VM1	VM2
$N_{\max} = -300,74 \text{ kN}$	$N_{\max} = 348,68 \text{ kN}$
$V_{y,\max} = 2,36 \text{ kN}$	$V_{y,\max} = -3,38 \text{ kN}$
$V_{z,\max} = 16,71 \text{ kN}$	$V_{z,\max} = -30,15 \text{ kN}$
$M_{y,\max} = 9,82 \text{ kNm}$	$M_{y,\max} = -15,53 \text{ kNm}$
$M_{z,\max} = -5,65 \text{ kNm}$	$M_{z,\max} = -7,62 \text{ kNm}$
$M_{x,\max} = -1,94 \text{ kNm}$	$M_{x,\max} = -2,65 \text{ kNm}$

	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 152.4 x 14.2 Průřezová plocha: $A = 6,165E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 76,2 \text{ mm}$ $z_T = 76,2 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,487E07 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,487E07 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -1,952E05 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 1,952E05 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 1,952E05 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -1,952E05 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 2,975E07 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 2,722E05 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 2,722E05 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.81(b) - Q4:G1+G2+G3+W13+T17, varianta (b)</p> <p>$N = -267,827 \text{ kN}$ $V_z = 1,123 \text{ kN}$ $M_y = -0,667 \text{ kNm}$ $V_y = 0,692 \text{ kN}$ $M_z = 0,595 \text{ kNm}$ $T_t = -0,197 \text{ kNm}$ $T_w = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 22,650 m</p> <p>$L_z = 11,400 \text{ m}$ $k_z = 0,650$ $L_{cr,z} = 7,410 \text{ m}$ $L_y = 8,900 \text{ m}$ $k_y = 1,000$ $L_{cr,y} = 8,900 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.81(b) - Q4:G1+G2+G3+W13+T17, varianta (b); Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 0,464 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $0,464 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $1,123 \text{ kN} < 630,377 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $0,692 \text{ kN} < 630,377 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -267,827 \text{ kN}$; $M_y = -0,667 \text{ kNm}$; $M_z = 0,595 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepříznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -354,857 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -89,538 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 136,720 \text{ kNm}$ $|0,755 + 0,007 + 0,004| = |0,767| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -499,578 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -149,230 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 82,032 \text{ kNm}$ $|0,536 + 0,004 + 0,007| = |0,548| < 1$ Vyhovuje Štíhlost dílce: 181,2</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

2.6.3 SVISLICE

VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Tab. 2.5 Vnitřní síly svislíc

VM1	VM2
<p>N (kN)</p>	<p>N (kN)</p>
<p>V_y (kN)</p>	<p>V_y (kN)</p>
<p>V_z (kN)</p>	<p>V_z (kN)</p>
<p>M_y (kNm)</p>	<p>M_y (kNm)</p>
<p>M_z (kNm)</p>	<p>M_z (kNm)</p>
<p>M_x (kNm)</p>	<p>M_x (kNm)</p>
<p>N_{max} = -88,00; 77,83 kN</p>	<p>N_{max} = -235,29; 12,26 kN</p>
<p>V_{y,max} = 4,61 kN</p>	<p>V_{y,max} = -2,59 kN</p>
<p>V_{z,max} = 1,35 kN</p>	<p>V_{z,max} = 1,42 kN</p>
<p>M_{y,max} = 2,21 kNm</p>	<p>M_{y,max} = 2,46 kNm</p>
<p>M_{z,max} = 1,83 kNm</p>	<p>M_{z,max} = -2,05 kNm</p>
<p>M_{x,max} = 0,19 kNm</p>	<p>M_{x,max} = 0,23 kNm</p>

Kritický řez dílce "145:DD - 169" - průřez 1 (0,000m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 88.9 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 2,479E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 44,5 \text{ mm}$ $z_T = 44,5 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,960E06 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,960E06 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,920E06 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 6,259E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 6,259E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.23 - W6:G1+G2+G3+Q9+T11</p> <p>$N = -235,487 \text{ kN}$ $V_z = 0,974 \text{ kN}$ $M_y = 1,464 \text{ kNm}$ $V_y = -0,381 \text{ kN}$ $M_z = 0,378 \text{ kNm}$ $T_t = 0,202 \text{ kNm}$ $T_w = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 2,310 m</p> <p>$L_z = 2,310 \text{ m}$ $k_z = 0,800$ $L_{cr,z} = 1,848 \text{ m}$ $L_y = 2,310 \text{ m}$ $k_y = 0,800$ $L_{cr,y} = 1,848 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.23 - W6:G1+G2+G3+Q9+T11; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 2,068 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $2,068 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $0,974 \text{ kN} < 251,455 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $0,381 \text{ kN} < 251,455 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -235,487 \text{ kN}$; $M_y = 1,464 \text{ kNm}$; $M_z = 0,378 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepříznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -668,407 \text{ kN}$; $M_{y,R} = 27,065 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 27,065 \text{ kNm}$ $|0,352 + 0,054 + 0,014| = |0,420| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -668,407 \text{ kN}$; $M_{y,R} = 27,065 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 27,065 \text{ kNm}$ $|0,352 + 0,054 + 0,014| = |0,420| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 65,7</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

2.6.4 DIAGONÁLY

VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Tab. 2.6 Vnitřní síly diagonál

VM1	VM2
$N_{\max} = -61,20 \text{ kN}$	$N_{\max} = -164,70 \text{ kN}$
$V_{y,\max} = -1,09 \text{ kN}$	$V_{y,\max} = -1,50 \text{ kN}$
$V_{z,\max} = -7,28 \text{ kN}$	$V_{z,\max} = 1,49 \text{ kN}$
$M_{y,\max} = 2,67 \text{ kNm}$	$M_{y,\max} = 0,96 \text{ kNm}$
$M_{z,\max} = 1,47 \text{ kNm}$	$M_{z,\max} = 1,58 \text{ kNm}$
$M_{x,\max} = 0,22 \text{ kNm}$	$M_{x,\max} = 0,27 \text{ kNm}$

Kritický řez dílce "141:DD - 165" - průřez 1 (0,000m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 88.9 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 2,479E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 44,5 \text{ mm}$ $z_T = 44,5 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,960E06 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,960E06 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,920E06 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 6,259E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 6,259E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.21 - W6:G1+G2+G3+Q9</p> <p>$N = -164,492 \text{ kN}$ $V_z = -0,224 \text{ kN}$ $M_y = 0,046 \text{ kNm}$ $V_y = 0,909 \text{ kN}$ $M_z = -1,673 \text{ kNm}$ $T_t = -0,106 \text{ kNm}$ $T_w = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 4,537 m</p> <p>$L_z = 4,537 \text{ m}$ $k_z = 0,800$ $L_{cr,z} = 3,630 \text{ m}$ $L_y = 4,537 \text{ m}$ $k_y = 0,800$ $L_{cr,y} = 3,630 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.21 - W6:G1+G2+G3+Q9; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 1,082 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $1,082 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $0,224 \text{ kN} < 252,677 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $0,909 \text{ kN} < 252,677 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -164,492 \text{ kN}$; $M_y = 0,046 \text{ kNm}$; $M_z = -1,673 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepriznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -266,446 \text{ kN}$; $M_{y,R} = 22,822 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -22,822 \text{ kNm}$ $|0,617 + 0,002 + 0,073| = |0,693| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -266,446 \text{ kN}$; $M_{y,R} = 22,822 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -22,822 \text{ kNm}$ $|0,617 + 0,002 + 0,073| = |0,693| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 129,1</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

2.6.5 PŘÍHRADOVÝ NOSNÍK MOSTOVKY

VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Tab. 2.7 Vnitřní síly horního pásu mostovky

VM1	VM2
$N_{\max} = -31,45; \quad 99,54 \quad \text{kN}$	$N_{\max} = -100,50; \quad 32,15 \quad \text{kN}$
$V_{y,\max} = -1,89 \quad \text{kN}$	$V_{y,\max} = 1,84 \quad \text{kN}$
$V_{z,\max} = 9,87 \quad \text{kN}$	$V_{z,\max} = -7,16 \quad \text{kN}$
$M_{y,\max} = 2,63 \quad \text{kNm}$	$M_{y,\max} = -4,64 \quad \text{kNm}$
$M_{z,\max} = -1,29 \quad \text{kNm}$	$M_{z,\max} = 1,37 \quad \text{kNm}$
$M_{x,\max} = -0,43 \quad \text{kNm}$	$M_{x,\max} = -0,39 \quad \text{kNm}$

Kritický řez dílce "339:DD - 29 - 38, 221 - 223" - průřez 1 (16,275m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 88.9 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 2,479E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 44,5 \text{ mm}$ $z_T = 44,5 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,960E06 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,960E06 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,920E06 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 6,259E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 6,259E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.23 - W6:G1+G2+G3+Q9+T11</p> <p>$N = -99,246 \text{ kN}$ $V_z = 7,353 \text{ kN}$ $M_y = -4,672 \text{ kNm}$ $V_y = -1,196 \text{ kN}$ $M_z = -0,781 \text{ kNm}$ $T_t = -0,379 \text{ kNm}$ $T_w = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 16,275 m</p> <p>$L_z = 2,500 \text{ m}$ $k_z = 1,000$ $L_{cr,z} = 2,500 \text{ m}$ $L_y = 2,500 \text{ m}$ $k_y = 1,000$ $L_{cr,y} = 2,500 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.23 - W6:G1+G2+G3+Q9+T11; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 3,873 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $3,873 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $7,353 \text{ kN} < 249,219 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $1,196 \text{ kN} < 249,219 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -99,246 \text{ kN}$; $M_y = -4,672 \text{ kNm}$; $M_z = -0,781 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepříznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -486,952 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -25,577 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -25,577 \text{ kNm}$ $|0,204 + 0,183 + 0,031| = |0,417| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -486,952 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -25,577 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -25,577 \text{ kNm}$ $|0,204 + 0,183 + 0,031| = |0,417| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 88,9</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

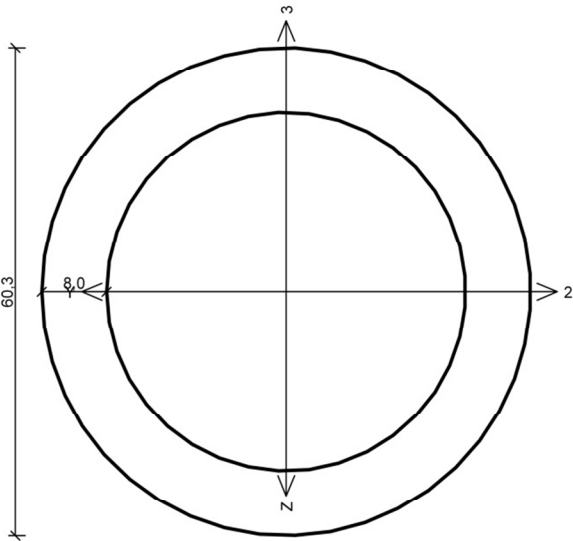
Tab. 2.8 Vnitřní síly dolního pásu mostovky

VM1	VM2
<p>N (kN)</p>	<p>N (kN)</p>
<p>V_y (kN)</p>	<p>V_y (kN)</p>
<p>V_z (kN)</p>	<p>V_z (kN)</p>
<p>M_y (kNm)</p>	<p>M_y (kNm)</p>
<p>M_z (kNm)</p>	<p>M_z (kNm)</p>
<p>M_x (kNm)</p>	<p>M_x (kNm)</p>
<p>$N_{max} = 136,16; \text{ kN}$ $-6,13$</p>	<p>$N_{max} = -121,27; \text{ kN}$ $1,76$</p>
<p>$V_{y,max} = -1,97 \text{ kN}$</p>	<p>$V_{y,max} = -2,21 \text{ kN}$</p>
<p>$V_{z,max} = -425 \text{ kN}$</p>	<p>$V_{z,max} = -2,25 \text{ kN}$</p>
<p>$M_{y,max} = -3,50 \text{ kNm}$</p>	<p>$M_{y,max} = 1,53 \text{ kNm}$</p>
<p>$M_{z,max} = -1,31 \text{ kNm}$</p>	<p>$M_{z,max} = -1,74 \text{ kNm}$</p>
<p>$M_{x,max} = 0,21 \text{ kNm}$</p>	<p>$M_{x,max} = 0,23 \text{ kNm}$</p>

Kritický řez dílce "338:DD - 9 - 18, 215 - 217" - průřez 1 (16,355m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 88.9 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 2,479E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 44,5 \text{ mm}$ $z_T = 44,5 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,960E06 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,960E06 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,920E06 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 6,259E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 6,259E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.20 - W6:G1+G2+G3+T10 $N = -102,863 \text{ kN}$ $V_z = 1,915 \text{ kN}$ $M_y = -0,871 \text{ kNm}$ $V_y = 2,377 \text{ kN}$ $M_z = 1,756 \text{ kNm}$ $T_t = 0,216 \text{ kNm}$ $T_\omega = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 16,355 m $L_z = 2,500 \text{ m}$ $k_z = 1,000$ $L_{cr,z} = 2,500 \text{ m}$ $L_y = 0,800 \text{ m}$ $k_y = 1,000$ $L_{cr,y} = 0,800 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.20 - W6:G1+G2+G3+T10; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 2,209 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $2,209 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $1,915 \text{ kN} < 251,280 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $2,377 \text{ kN} < 251,280 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -102,863 \text{ kN}$; $M_y = -0,871 \text{ kNm}$; $M_z = 1,756 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepriznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -844,679 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -29,778 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 29,778 \text{ kNm}$ $|0,122 + 0,029 + 0,059| = |0,210| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -486,952 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -29,778 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 29,778 \text{ kNm}$ $|0,211 + 0,029 + 0,059| = |0,299| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 88,9</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

Tab. 2.9 Vnitřní síly diagonál mostovky

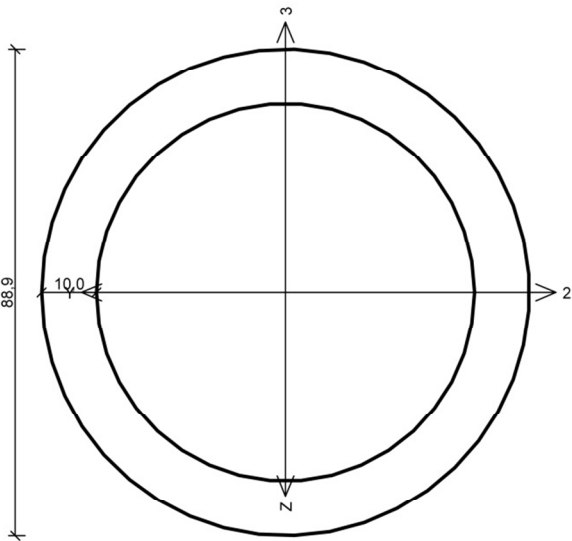
VM1	VM2
$N_{\max} = -16,19; \quad \text{kN}$ $35,22$	$N_{\max} = -224,52; \quad \text{kN}$ $34,85$
$V_{y,\max} = 0,40 \quad \text{kN}$	$V_{y,\max} = 0,43 \quad \text{kN}$
$V_{z,\max} = -0,92 \quad \text{kN}$	$V_{z,\max} = 0,75 \quad \text{kN}$
$M_{y,\max} = -0,78 \quad \text{kNm}$	$M_{y,\max} = 0,35 \quad \text{kNm}$
$M_{z,\max} = 0,45 \quad \text{kNm}$	$M_{z,\max} = 0,33 \quad \text{kNm}$
$M_{x,\max} = -0,13 \quad \text{kNm}$	$M_{x,\max} = 0,10 \quad \text{kNm}$

Kritický řez dílce "129:DD - 153" - průřez 1 (1,485m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 60.3 x 8.0 Průřezová plocha: $A = 1,314E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 30,1 \text{ mm}$ $z_T = 30,1 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 4,599E05 \text{ mm}^4$ $I_z = 4,599E05 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -1,525E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 9,199E05 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 2,205E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 2,205E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.20 - W6:G1+G2+G3+T10 $N = -223,894 \text{ kN}$ $V_z = 0,130 \text{ kN}$ $M_y = 0,003 \text{ kNm}$ $V_y = 0,120 \text{ kN}$ $M_z = 0,154 \text{ kNm}$ $T_t = -0,039 \text{ kNm}$ $T_\omega = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 1,485 m $L_z = 1,485 \text{ m}$ $k_z = 0,800$ $L_{cr,z} = 1,188 \text{ m}$ $L_y = 1,485 \text{ m}$ $k_y = 0,800$ $L_{cr,y} = 1,188 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.20 - W6:G1+G2+G3+T10; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 1,135 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $1,135 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $0,130 \text{ kN} < 133,958 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $0,120 \text{ kN} < 133,958 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -223,894 \text{ kN}$; $M_y = 0,003 \text{ kNm}$; $M_z = 0,154 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepriznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -362,760 \text{ kN}$; $M_{z,R} = 7,977 \text{ kNm}$ $|0,617 + 0,000 + 0,019| = |0,637| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -362,760 \text{ kN}$; $M_{z,R} = 7,977 \text{ kNm}$ $|0,617 + 0,000 + 0,019| = |0,637| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 63,5</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

Tab. 2.10 Vnitřní síly příčného ztužení mostovky

VM1	VM2
<p>N (kN)</p>	<p>N (kN)</p>
<p>V_y (kN)</p>	<p>V_y (kN)</p>
<p>V_z (kN)</p>	<p>V_z (kN)</p>
<p>M_y (kNm)</p>	<p>M_y (kNm)</p>
<p>M_z (kNm)</p>	<p>M_z (kNm)</p>
<p>M_x (kNm)</p>	<p>M_x (kNm)</p>
<p>N_{max} = -72,94; 73,55 kN</p>	<p>N_{max} = -11,43; 18,07 kN</p>
<p>V_{y,max} = 17,91 kN</p>	<p>V_{y,max} = 1,93 kN</p>
<p>V_{z,max} = -29,70 kN</p>	<p>V_{z,max} = -3,27 kN</p>
<p>M_{y,max} = -11,35 kNm</p>	<p>M_{y,max} = 2,68 kNm</p>
<p>M_{z,max} = 6,99 kNm</p>	<p>M_{z,max} = 0,79 kNm</p>
<p>M_{x,max} = 0,65 kNm</p>	<p>M_{x,max} = 0,04 kNm</p>

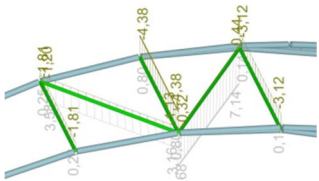

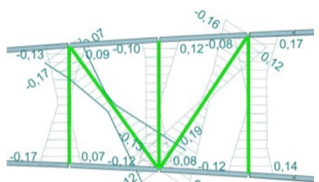
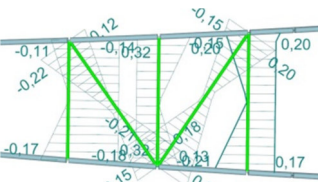
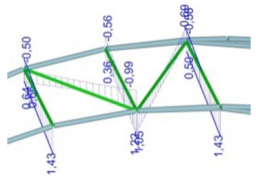
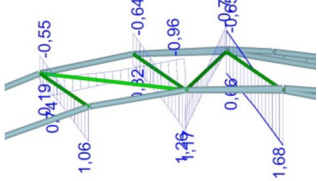
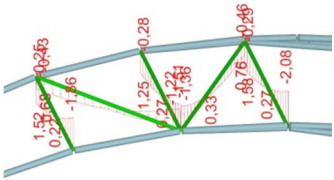
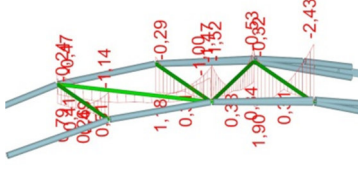
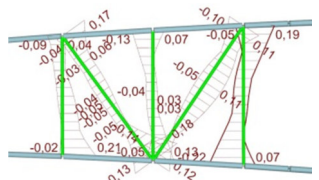
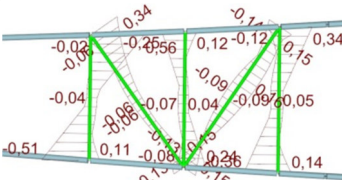
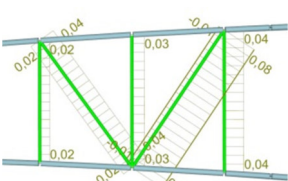
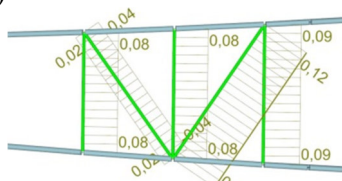
Kritický řez dílce "100:DD - 128" - průřez 1 (0,000m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 60.3 x 8.0 Průřezová plocha: $A = 1,314E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 30,1 \text{ mm}$ $z_T = 30,1 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 4,599E05 \text{ mm}^4$ $I_z = 4,599E05 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -1,525E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 9,199E05 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 2,205E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 2,205E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.98 - S11+W13:A21+G1+G2+G3+T17+T18</p> <p>$N = 68,095 \text{ kN}$ $V_z = -0,044 \text{ kN}$ $M_y = 0,338 \text{ kNm}$ $V_y = -0,271 \text{ kN}$ $M_z = 0,404 \text{ kNm}$ $T_t = 0,028 \text{ kNm}$ $T_\omega = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 2,108 m</p> <p>$L_z = 2,108 \text{ m}$ $k_z = 0,800$ $L_{cr,z} = 1,686 \text{ m}$ $L_y = 2,108 \text{ m}$ $k_y = 0,800$ $L_{cr,y} = 1,686 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.98 - S11+W13:A21+G1+G2+G3+T17+T18; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 0,802 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $0,802 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $0,044 \text{ kN} < 134,176 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $0,271 \text{ kN} < 134,176 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = 68,095 \text{ kN}$; $M_y = 0,338 \text{ kNm}$; $M_z = 0,404 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepříznivější kombinace prostého tahu a ohybu: Únosnosti: $N_R = 466,627 \text{ kN}$; $M_{y,R} = 11,028 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 11,028 \text{ kNm}$ $|0,146 + 0,031 + 0,037| = |0,213| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 112,7</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

Kritický řez dílce "329:DD - 63, 64" - průřez 1 (1,950m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 88.9 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 2,479E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 44,5 \text{ mm}$ $z_T = 44,5 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,960E06 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,960E06 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,920E06 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 6,259E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 6,259E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.98 - S11+W13:A21+G1+G2+G3+T17+T18</p> <p>$N = -73,072 \text{ kN}$ $V_z = -29,591 \text{ kN}$ $M_y = -11,312 \text{ kNm}$ $V_y = 17,912 \text{ kN}$ $M_z = -6,977 \text{ kNm}$ $T_t = 0,002 \text{ kNm}$ $T_w = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 3,900 m</p> <p>$L_z = 3,900 \text{ m}$ $k_z = 0,800$ $L_{cr,z} = 3,120 \text{ m}$ $L_y = 3,900 \text{ m}$ $k_y = 0,800$ $L_{cr,y} = 3,120 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.98 - S11+W13:A21+G1+G2+G3+T17+T18; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 0,018 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $0,018 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $29,591 \text{ kN} < 253,996 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $17,912 \text{ kN} < 253,996 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -73,072 \text{ kN}$; $M_y = -11,312 \text{ kNm}$; $M_z = -6,977 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejneprůzračnější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -346,129 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -30,574 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -30,574 \text{ kNm}$ $|0,211 + 0,370 + 0,228| = |0,809| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -346,129 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -30,574 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -30,574 \text{ kNm}$ $|0,211 + 0,370 + 0,228| = |0,809| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 111,0</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

2.6.6 ZAVĚTROVÁNÍ

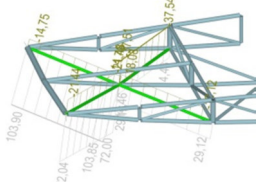
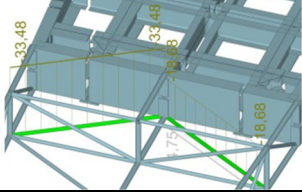
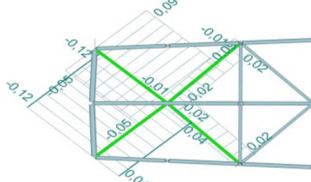
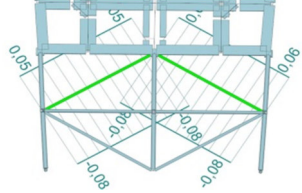
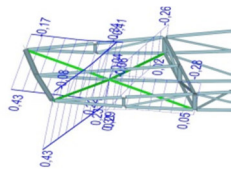
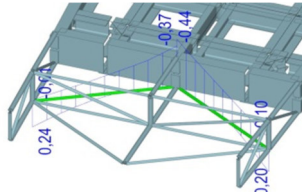
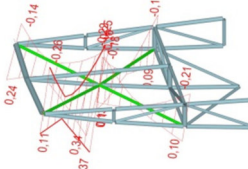
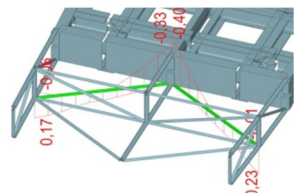
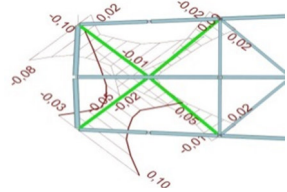
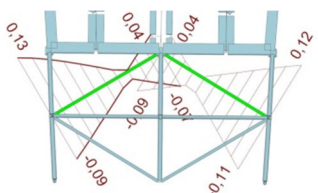
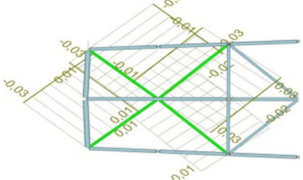
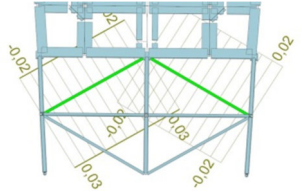
VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Tab. 2.11 Vnitřní síly zavětrování obloukových nosníků

	VM1	VM2
N (kN)		
V _y (kN)		
V _z (kN)		
M _y (kNm)		
M _z (kNm)		
M _x (kNm)		
N _{max} =	-4,38; 7,14 kN	N _{max} = -5,37; 12,64 kN
V _{y,max} =	0,20 kN	V _{y,max} = 0,32 kN
V _{z,max} =	1,43 kN	V _{z,max} = 1,68 kN
M _{y,max} =	-2,08 kNm	M _{y,max} = -2,43 kNm
M _{z,max} =	0,19 kNm	M _{z,max} = 0,56 kNm
M _{x,max} =	0,08 kNm	M _{x,max} = 0,12 kNm

Kritický řez dílce "150:DD - 178" - průřez 1 (0,000m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 88.9 x 10.0 Průřezová plocha: $A = 2,479E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 44,5 \text{ mm}$ $z_T = 44,5 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,960E06 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,960E06 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,409E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -4,409E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,920E06 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 6,259E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 6,259E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.21 - W6:G1+G2+G3+Q9</p> <p>$N = -5,021 \text{ kN}$ $V_z = -1,681 \text{ kN}$ $M_y = -2,439 \text{ kNm}$ $V_y = -0,176 \text{ kN}$ $M_z = 0,357 \text{ kNm}$ $T_1 = 0,086 \text{ kNm}$ $T_\omega = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 3,900 m $L_z = 3,900 \text{ m}$ $k_z = 1,000$ $L_{cr,z} = 3,900 \text{ m}$ $L_y = 3,900 \text{ m}$ $k_y = 1,000$ $L_{cr,y} = 3,900 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.21 - W6:G1+G2+G3+Q9; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 0,878 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $0,878 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $1,681 \text{ kN} < 252,930 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $0,176 \text{ kN} < 252,930 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -5,021 \text{ kN}$; $M_y = -2,439 \text{ kNm}$; $M_z = 0,357 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepříznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -234,202 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -25,198 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 25,198 \text{ kNm}$ $|0,021 + 0,097 + 0,014| = |0,132| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -234,202 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -25,198 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 25,198 \text{ kNm}$ $|0,021 + 0,097 + 0,014| = |0,132| < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 138,7</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

Tab. 2.12 Vnitřní síly zavětrování mostovky


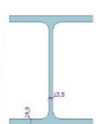
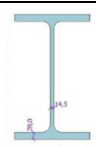
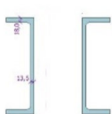
VM1	VM2
N (kN) 	N (kN) 
V_y (kN) 	V_y (kN) 
V_z (kN) 	V_z (kN) 
M_y (kNm) 	M_y (kNm) 
M_z (kNm) 	M_z (kNm) 
M_x (kNm) 	M_x (kNm) 
$N_{\max} = -37,54; 103,90$ kN	$N_{\max} = -33,48; 4,75$ kN
$V_{y,\max} = -0,12$ kN	$V_{y,\max} = -0,08$ kN
$V_{z,\max} = 0,43$ kN	$V_{z,\max} = -0,44$ kN
$M_{y,\max} = -0,78$ kNm	$M_{y,\max} = -0,40$ kNm
$M_{z,\max} = 0,10$ kNm	$M_{z,\max} = 0,13$ kNm
$M_{x,\max} = -0,03$ kNm	$M_{x,\max} = 0,03$ kNm

Kritický řez dílce "216:DD - 261" - průřez 1 (0,000m)	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez MSH 60.3 x 8.0 Průřezová plocha: $A = 1,314E03 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 30,1 \text{ mm}$ $z_T = 30,1 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 4,599E05 \text{ mm}^4$ $I_z = 4,599E05 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 1,525E04 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -1,525E04 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 9,199E05 \text{ mm}^4$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 2,205E04 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 2,205E04 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Kombinace č.20 - W6:G1+G2+G3+T10</p> <p>$N = -33,701 \text{ kN}$ $V_z = -0,294 \text{ kN}$ $M_y = -0,227 \text{ kNm}$ $V_y = 0,043 \text{ kN}$ $M_z = -0,033 \text{ kNm}$ $T_t = -0,009 \text{ kNm}$ $T_w = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 2,435 m</p> <p>$L_z = 2,435 \text{ m}$ $k_z = 1,000$ $L_{cr,z} = 2,435 \text{ m}$ $L_y = 2,435 \text{ m}$ $k_y = 1,000$ $L_{cr,y} = 2,435 \text{ m}$</p>	
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Kombinace č.20 - W6:G1+G2+G3+T10; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 0,253 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $0,253 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $0,294 \text{ kN} < 134,537 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $0,043 \text{ kN} < 134,537 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -33,701 \text{ kN}$; $M_y = -0,227 \text{ kNm}$; $M_z = -0,033 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepříznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = -139,194 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -8,869 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -8,869 \text{ kNm}$ $|0,242 + 0,026 + 0,004| = |0,271| < 1$ Vyhovuje Únosnosti: $N_R = -139,194 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -8,869 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -8,869 \text{ kNm}$ $|0,242 + 0,026 + 0,004| = |0,271| < 1$ Vyhovuje Štíhlost dílce: 130,2</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

2.6.7 OTOČNÁ PLATFORMA

VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Tab. 2.13 Vnitřní síly otočné platformy

Návrh a posouzení profilů roštu otočné platformy								
Profil	Výpočtový model	Návrhové hodnoty vnitřních sil působící na průřezu						
		N (kN)	V _y (kN)	V _z (kN)	M _y (kNm)	M _z (kNm)	M _x (kNm)	
Svařované U 800x200x18		VM1	-74,8; 194,22	56,77	254,97	107,35	13,65	1,83
		VM2	-326,65; 60,71	76,57	168,08	-190,23	-15,46	1,56
HEB 400		VM1	-12,45; 14,42	17,47	108,67	-219,52	-12,59	0,52
		VM2	-9,85; 6,09	-18,14	105,58	-77,99	7,24	0,98
HEB 500		VM1	-9,34; 54,51	14,69	114,33	-199,15	9,05	-0,79
		VM2	-56,47	5,95	-139,90	-111,20	3,56	-1,46
2xUPE 400		VM1	-33,49; 149,13	20,12	249,92	-333,99	-15,08	0,03
		VM2	-98,82; 1,68	-61,36	256,05	94,21	-9,22	0,05

U 800x200x18	
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez U-průřez 200x800 Průřezová plocha: $A = 2,095E04 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 40,3 \text{ mm}$ $z_T = 400,0 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,770E09 \text{ mm}^4$ $I_z = 6,351E07 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,425E06 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 3,976E05 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,425E06 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -1,577E06 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 2,263E06 \text{ mm}^4$ Výšečový moment setrvačnosti: $I_{\omega} = 7,084E12 \text{ mm}^6$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 5,442E06 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 7,066E05 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Zat. případ 3</p> <p>$N = -326,650 \text{ kN}$ $V_z = 168,080 \text{ kN}$ $M_y = -190,230 \text{ kNm}$ $V_y = 76,570 \text{ kN}$ $M_z = 15,460 \text{ kNm}$ $T_t = 1,830 \text{ kNm}$ $T_{\omega} = 0,000 \text{ kNm}$ $B = 0,000 \text{ kNm}^2$</p>	
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 6,800 m $L_z = 6,800 \text{ m}$ $L_y = 6,800 \text{ m}$</p>	<p>Parametry klopení S klopením se nepočítá</p>
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Zat. případ 3; Třída průřezu: 3</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 14,557 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $14,557 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $168,080 \text{ kN} < 2737,354 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $76,570 \text{ kN} < 1433,170 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = -326,650 \text{ kN}$; $M_y = -190,230 \text{ kNm}$; $M_z = 15,460 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepriznivější kombinace prostého tlaku a ohybu: Únosnosti: $N_R = 7437,960 \text{ kN}$; $M_{y,R} = 1570,745 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -559,811 \text{ kNm}$ $|-0,044 + -0,121 + -0,028| = |-0,193| < 1$ Vyhovuje Štíhlost dílce: 123,5</p> <p>Průřez vyhovuje</p>	
VYHOVUJE	

HEB 400											
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez HE 400 B Průřezová plocha: $A = 1,978E04 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 150,0 \text{ mm}$ $z_T = 200,0 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 5,768E08 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,082E08 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -2,884E06 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 7,213E05 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 2,884E06 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -7,213E05 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 3,557E06 \text{ mm}^4$ Výšečový moment setrvačnosti: $I_\omega = 3,817E12 \text{ mm}^6$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 3,232E06 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 1,104E06 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>										
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Zat. případ 2</p> <table border="0"> <tr> <td>$N = 14,420 \text{ kN}$</td> <td>$M_y = -219,520 \text{ kNm}$</td> </tr> <tr> <td>$V_z = 108,670 \text{ kN}$</td> <td>$M_z = 12,590 \text{ kNm}$</td> </tr> <tr> <td>$V_y = 17,470 \text{ kN}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$T_t = 0,520 \text{ kNm}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$T_\omega = 0,000 \text{ kNm}$</td> <td>$B = 0,000 \text{ kNm}^2$</td> </tr> </table>	$N = 14,420 \text{ kN}$	$M_y = -219,520 \text{ kNm}$	$V_z = 108,670 \text{ kN}$	$M_z = 12,590 \text{ kNm}$	$V_y = 17,470 \text{ kN}$		$T_t = 0,520 \text{ kNm}$		$T_\omega = 0,000 \text{ kNm}$	$B = 0,000 \text{ kNm}^2$	
$N = 14,420 \text{ kN}$	$M_y = -219,520 \text{ kNm}$										
$V_z = 108,670 \text{ kN}$	$M_z = 12,590 \text{ kNm}$										
$V_y = 17,470 \text{ kN}$											
$T_t = 0,520 \text{ kNm}$											
$T_\omega = 0,000 \text{ kNm}$	$B = 0,000 \text{ kNm}^2$										
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 5,000 m Se vzpěrem se nepočítá</p>	<p>Parametry klopení S klopením se nepočítá</p>										
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Zat. případ 2; Třída průřezu: 1 Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 3,509 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $3,509 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje Posudek smyku od posouvající síly V_z: $108,670 \text{ kN} < 1429,179 \text{ kN}$ Vyhovuje Posudek smyku od posouvající síly V_y: $17,470 \text{ kN} < 2601,383 \text{ kN}$ Vyhovuje Vnitřní síly: $N = 14,420 \text{ kN}$; $M_y = -219,520 \text{ kNm}$; $M_z = 12,590 \text{ kNm}$ Posudek nejnepriznivější kombinace prostého tahu a ohybu: Únosnosti: $N_R = 7021,900 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -1147,360 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = 391,920 \text{ kNm}$ $0,002 + 0,191 + 0,032 = 0,226 < 1$ Vyhovuje Štíhlost dílce: 67,6</p> <p>Průřez vyhovuje</p>											
VYHOVUJE											

HEB 500											
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez HE 500 B Průřezová plocha: $A = 2,386E04 \text{ mm}^2$ Poloha těžiště: $y_T = 150,0 \text{ mm}$ $z_T = 250,0 \text{ mm}$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 1,072E09 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,262E08 \text{ mm}^4$ Průřezové moduly: $W_{y,1} = -4,287E06 \text{ mm}^3$ $W_{z,1} = 8,416E05 \text{ mm}^3$ $W_{y,2} = 4,287E06 \text{ mm}^3$ $W_{z,2} = -8,416E05 \text{ mm}^3$ Moment tuhosti v prostém kroucení: $I_k = 5,384E06 \text{ mm}^4$ Výšečový moment setrvačnosti: $I_{\omega} = 7,018E12 \text{ mm}^6$ Plastické průřezové moduly: $W_{pl,y} = 4,815E06 \text{ mm}^3$ $W_{pl,z} = 1,292E06 \text{ mm}^3$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu f_y : 355,0 MPa Mez pevnosti f_u : 510,0 MPa Modul pružnosti E : 210000 MPa Modul pružnosti ve smyku G : 81000 MPa</p>										
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Zat. případ 2</p> <table border="0"> <tr> <td>$N = 54,510 \text{ kN}$</td> <td>$M_y = -199,150 \text{ kNm}$</td> </tr> <tr> <td>$V_z = 114,330 \text{ kN}$</td> <td>$M_z = -9,050 \text{ kNm}$</td> </tr> <tr> <td>$V_y = 14,690 \text{ kN}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>$T_t = -0,790 \text{ kNm}$</td> <td>$B = 0,000 \text{ kNm}^2$</td> </tr> <tr> <td>$T_{\omega} = 0,000 \text{ kNm}$</td> <td></td> </tr> </table>	$N = 54,510 \text{ kN}$	$M_y = -199,150 \text{ kNm}$	$V_z = 114,330 \text{ kN}$	$M_z = -9,050 \text{ kNm}$	$V_y = 14,690 \text{ kN}$		$T_t = -0,790 \text{ kNm}$	$B = 0,000 \text{ kNm}^2$	$T_{\omega} = 0,000 \text{ kNm}$		
$N = 54,510 \text{ kN}$	$M_y = -199,150 \text{ kNm}$										
$V_z = 114,330 \text{ kN}$	$M_z = -9,050 \text{ kNm}$										
$V_y = 14,690 \text{ kN}$											
$T_t = -0,790 \text{ kNm}$	$B = 0,000 \text{ kNm}^2$										
$T_{\omega} = 0,000 \text{ kNm}$											
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 6,750 m Se vzpěrem se nepočítá</p>	<p>Parametry klopení S klopením se nepočítá</p>										
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Zat. případ 2; Třída průřezu: 1</p> <p>Posudek smyku od kroucení: Napětí: $\tau_t = 4,108 \text{ MPa}$; $\tau_w = 0,000 \text{ MPa}$ Pevnost: $\tau_{Rd} = 204,959 \text{ MPa}$ $4,108 + 0,000 < 204,959$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_z: $114,330 \text{ kN} < 1847,750 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Posudek smyku od posouvající síly V_y: $14,690 \text{ kN} < 3025,649 \text{ kN}$ Vyhovuje</p> <p>Vnitřní síly: $N = 54,510 \text{ kN}$; $M_y = -199,150 \text{ kNm}$; $M_z = -9,050 \text{ kNm}$</p> <p>Posudek nejnepriznivější kombinace prostého tahu a ohybu: Únosnosti: $N_R = 8470,300 \text{ kN}$; $M_{y,R} = -1709,325 \text{ kNm}$; $M_{z,R} = -458,660 \text{ kNm}$ $0,006 + 0,117 + 0,020 = 0,143 < 1$ Vyhovuje</p> <p>Štíhlost dílce: 92,8</p> <p>Průřez vyhovuje</p>											
VYHOVUJE											

2xUPE 400											
	<p>Norma EN 1993-1-1/Česko.</p> <p>Únosnost průřezu : $\gamma_{M0} = 1,000$ Únosnost průřezu při posuzování stability : $\gamma_{M1} = 1,000$ Únosnost oslabeného průřezu : $\gamma_{M2} = 1,250$</p> <p>Průřez 2 x UPE 400 Průřezová plocha: $A = 1,838E04 \text{ mm}^2$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 4,196E08 \text{ mm}^4$ $I_z = 3,306E08 \text{ mm}^4$ Vzdálenost dílčích průřezů: $d = 200,0 \text{ mm}$</p> <p>Dílčí průřez UPE 400 Průřezová plocha: $A = 9,190E03 \text{ mm}^2$ Momenty setrvačnosti: $I_y = 2,098E08 \text{ mm}^4$ $I_z = 1,045E07 \text{ mm}^4$ Spojky rámové Vzdálenost spojek: $l_1 = 1,000 \text{ m}$ Rozměry spojek: $h = 300,0 \text{ mm}$ $t = 10,0 \text{ mm}$</p> <p>Materiál: EN 10210-1 : S 355 Materiálové charakteristiky: Mez kluzu $f_y : 355,0 \text{ MPa}$ Mez pevnosti $f_u : 510,0 \text{ MPa}$ Modul pružnosti $E : 210000 \text{ MPa}$ Modul pružnosti ve smyku $G : 81000 \text{ MPa}$</p>										
<p>Vnitřní síly v souřadném systému průřezu Zatěžovací případ s největším využitím Zat. případ 2</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">N = 149,130 kN</td> <td style="width: 50%;">M_y = -333,990 kNm</td> </tr> <tr> <td>V_z = 249,920 kN</td> <td>M_z = 15,080 kNm</td> </tr> <tr> <td>V_y = 20,120 kN</td> <td></td> </tr> <tr> <td>T_t = 0,000 kNm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>T_ω = 0,000 kNm</td> <td>B = 0,000 kNm²</td> </tr> </table>	N = 149,130 kN	M _y = -333,990 kNm	V _z = 249,920 kN	M _z = 15,080 kNm	V _y = 20,120 kN		T _t = 0,000 kNm		T _ω = 0,000 kNm	B = 0,000 kNm ²	
N = 149,130 kN	M _y = -333,990 kNm										
V _z = 249,920 kN	M _z = 15,080 kNm										
V _y = 20,120 kN											
T _t = 0,000 kNm											
T _ω = 0,000 kNm	B = 0,000 kNm ²										
<p>Parametry vzpěru Délka dílce: 6,750 m L_z = 6,750 m L_y = 6,750 m</p>											
<p>Výsledky posouzení - Rozhodující zatěžovací případ: Zat. případ 2; Třída průřezu: 1 Posudek smyku od posouvající síly V_z: 249,920 kN < 2302,513 kN Vyhovuje Vnitřní síly: N = 149,130 kN; M_y = -333,990 kNm; M_z = 15,080 kNm</p> <p>Posudek namáhání kombinace tahu a ohybu: Vnitřní síly na dílčím prutu: N_{ch} = 132,654 kN; M_{y,ch} = -166,995 kNm; M_{z,ch} = 5,030 kNm Únosnosti: N_R = 3262,450 kN; M_{y,R} = -448,246 kNm; M_{z,R} = 78,401 kNm $0,041 + 0,373 + 0,064 = 0,477 < 1$ Vyhovuje Štíhlost dílce: 50,3</p> <p>Průřez vyhovuje</p>											
VYHOVUJE											

2.7 DYNAMICKÉ POSOUZENÍ KONSTRUKCE

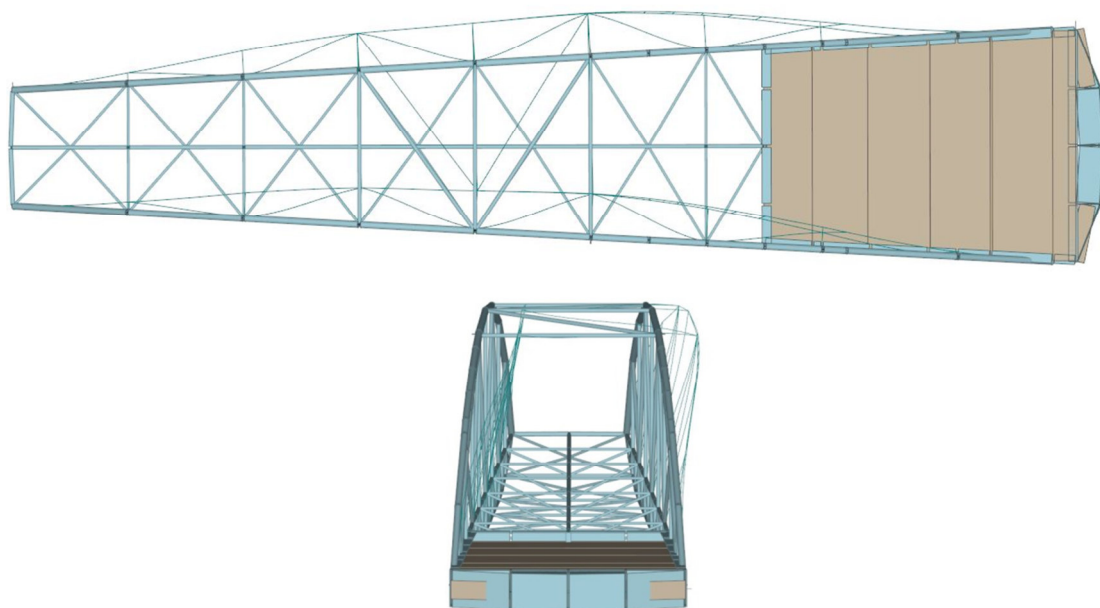
Norma ČSN EN 1990 předepisuje podmínky pro ocelové lávky, při jejichž splnění není nutné provádět podrobnou dynamickou analýzu. Národní příloha této normy udává rozmezí vlastní frekvence konstrukce pro kmitání ve svislém a vodorovném směru. Není nutné provádět podrobnou dynamickou analýzu konstrukce, pokud vlastní frekvence lávky leží mimo rozmezí 1,0 až 5,0 Hz pro svislé kmitání. V případě vodorovného kmitání musí vlastní frekvence navržené konstrukce ležet mimo interval 0,5 až 2,5 Hz.

2.7.1 ANALÝZA VLASTNÍCH TVARŮ PRO VÝPOČTOVÝ MODEL VM1

VLASTNÍ TVAR Č.1

Jedná se o vodorovné kmitání konstrukce s vlastní frekvencí 2,847 Hz. Konstrukce vyhovuje požadavkům s dostatečnou rezervou. Výkmit konstrukce je znázorněn na obr. 2.11.

$2,847 \text{ Hz} > 2,5 \text{ Hz} \rightarrow \text{Vyhovuje}$

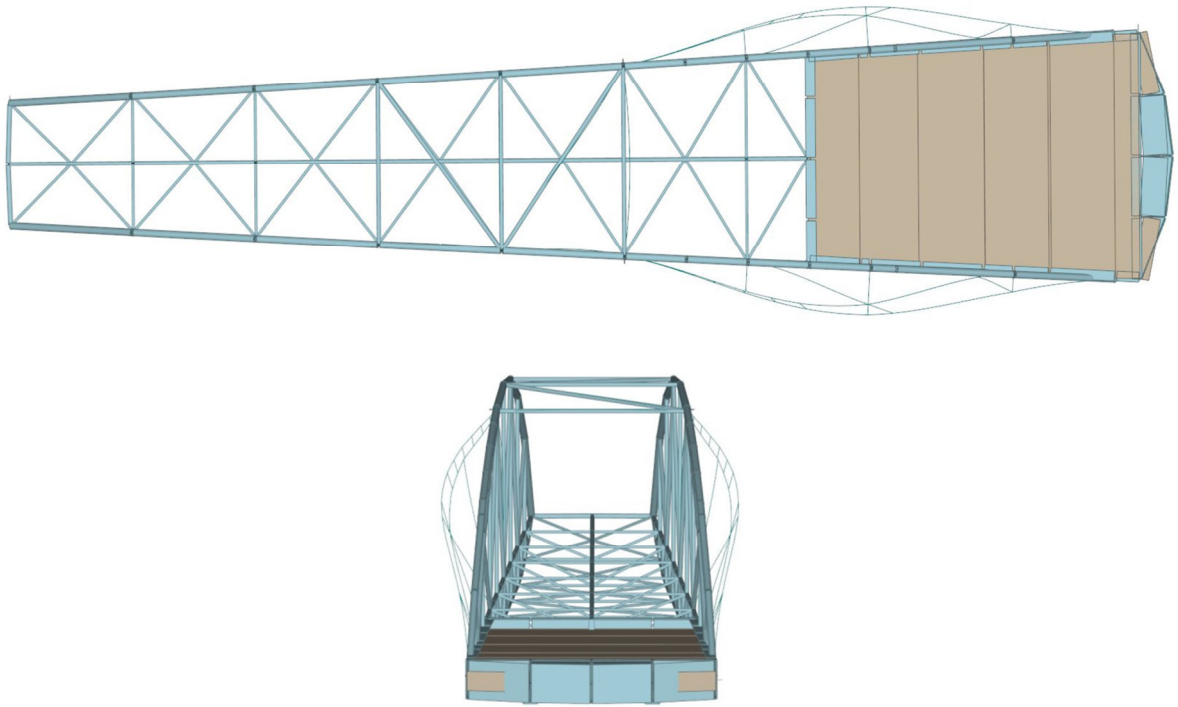


Obrázek 2.11: První vlastní tvar modelu VM1 [Zdroj: autor diplomové práce]

VLASTNÍ TVAR Č.2

Jedná se o vodorovné kmitání konstrukce s vlastní frekvencí 7,898 Hz. Konstrukce vyhovuje požadavkům s dostatečnou rezervou. Výkmit konstrukce je znázorněn na obr. 2.12.

$7,898 \text{ Hz} > 2,5 \text{ Hz} \rightarrow \text{Vyhovuje}$

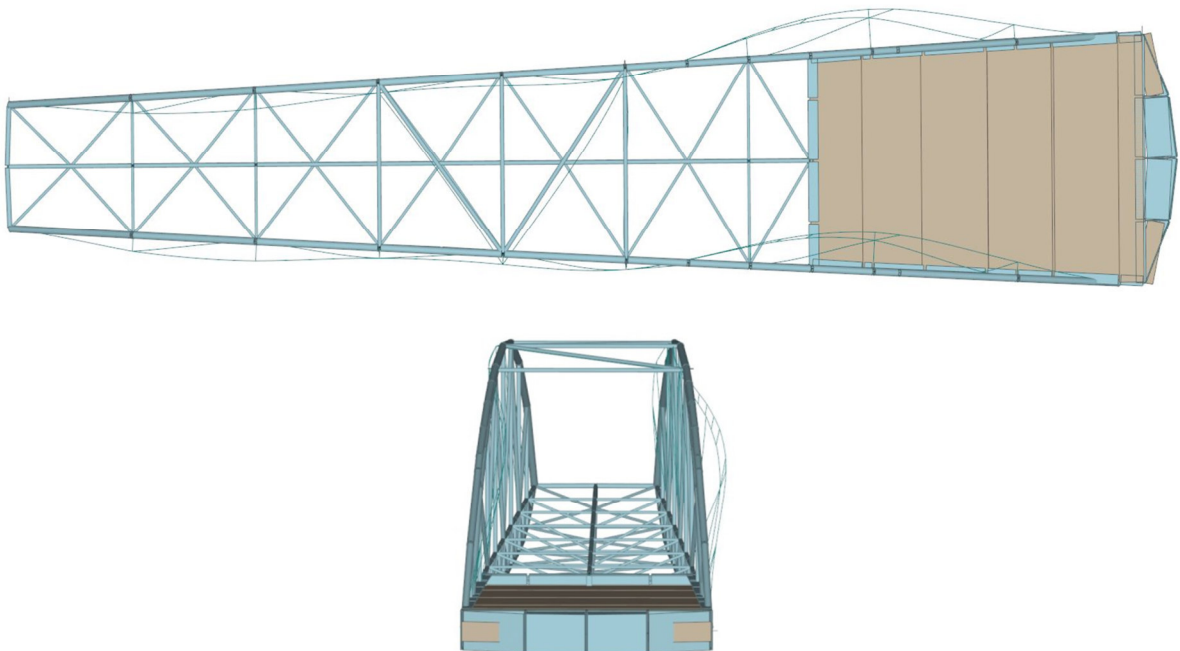


Obrázek 2.12: Druhý vlastní tvar modelu VM1 [Zdroj: autor diplomové práce]

VLASTNÍ TVAR Č.3

Jedná se o vodorovné kmitání konstrukce s vlastní frekvencí 8,477 Hz. Konstrukce vyhovuje požadavkům s dostatečnou rezervou. Výkmit konstrukce je znázorněn na obr. 2.13.

8,477 Hz > 2,5 Hz → Vyhovuje



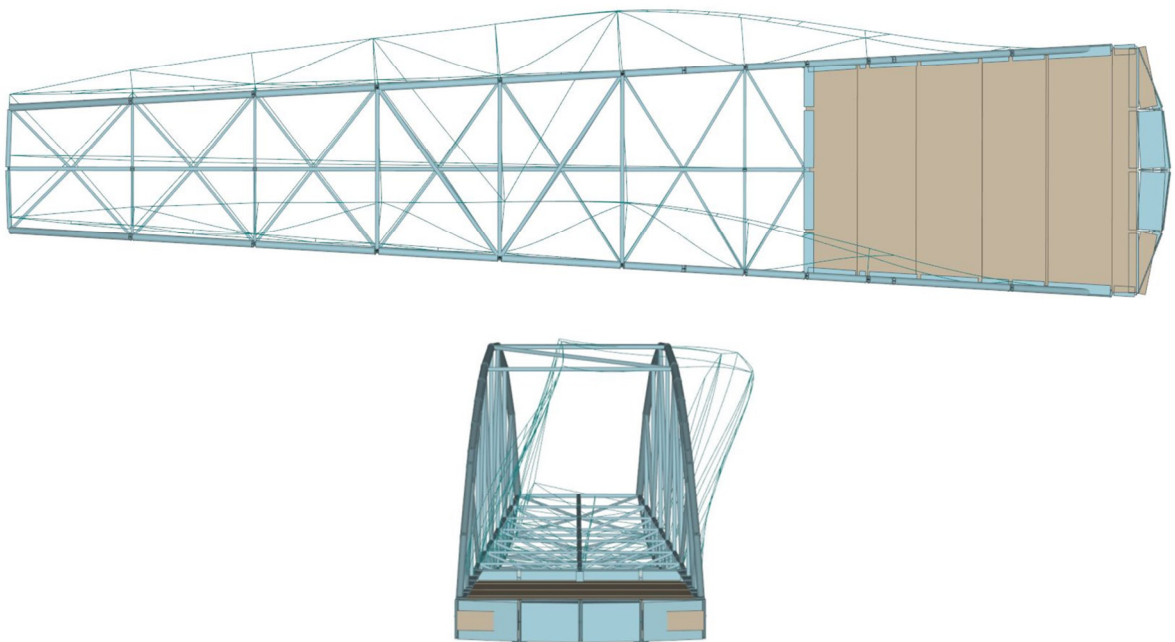
Obrázek 2.13: Třetí vlastní tvar modelu VM1 [Zdroj: autor diplomové práce]

2.7.2 ANALÝZA VLASTNÍCH TVARŮ PRO VÝPOČTOVÝ MODEL VM2

VLASTNÍ TVAR Č.1

Jedná se o vodorovné kmitání konstrukce s vlastní frekvencí 2,522 Hz. Jedná se výpočtový model, u kterého se nepředpokládá zatížení chodci či cyklisty. Jelikož se jedná o rozhodující zatížení z hlediska posouzení kmitání konstrukce, lze předpokládat nízké dynamické zatížení lávky. Konstrukce i tak splňuje požadavky pro lávky zatížené chodci. Výkmit konstrukce je znázorněn na obr. 2.14.

$2,522 \text{ Hz} > 2,5 \text{ Hz} \rightarrow \text{Vyhovuje}$

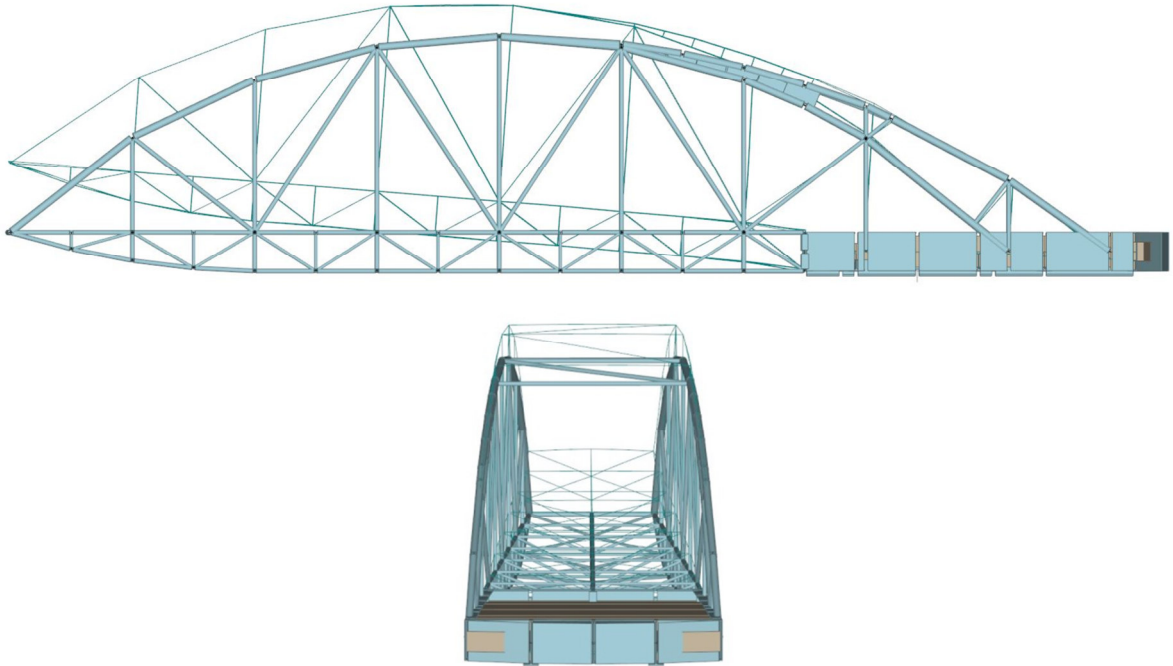


Obrázek 2.14: První vlastní tvar modelu VM2 [Zdroj: autor diplomové práce]

VLASTNÍ TVAR Č.2

Jedná se o svislé kmitání konstrukce s vlastní frekvencí 5,213 Hz. Konstrukce vyhovuje požadavkům s dostatečnou rezervou. Výkmit konstrukce je znázorněn na obr. 2.15.

$5,213 \text{ Hz} > 5,0 \text{ Hz} \rightarrow \text{Vyhovuje}$

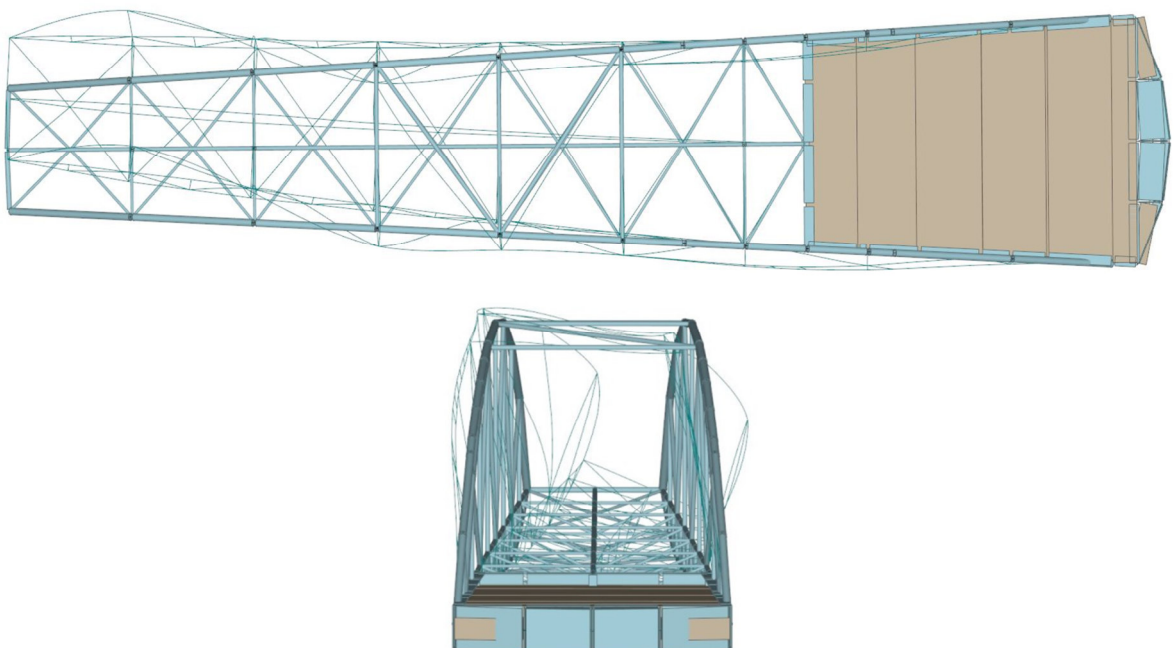


Obrázek 2.15: Druhý vlastní tvar modelu VM2 [Zdroj: autor diplomové práce]

VLASTNÍ TVAR Č.3

Jedná se o vodorovné kmitání konstrukce s vlastní frekvencí 5,872 Hz. Konstrukce vyhovuje požadavkům s dostatečnou rezervou. Výkmit konstrukce je znázorněn na obr. 2.16.

$5,872 \text{ Hz} > 2,5 \text{ Hz} \rightarrow \text{Vyhovuje}$



Obrázek 2.16: Třetí vlastní tvar modelu VM2 [Zdroj: autor diplomové práce]

2.7.3 POSOUZENÍ VÝSLEDNÝCH VLASTNÍCH TVARŮ

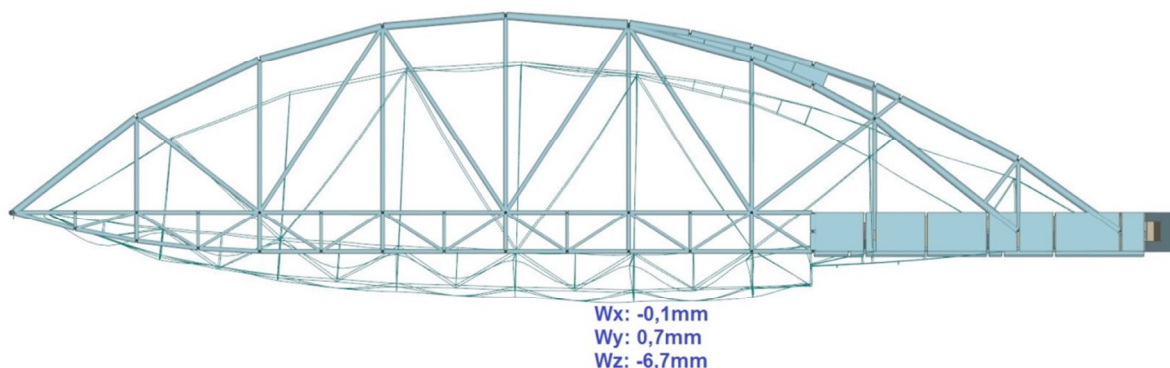
Dle požadavků ČSN EN 1990 a výsledných hodnot vlastních tvarů není nutné provádět podrobnou dynamickou analýzu konstrukce. Lávka splňuje požadavky nutné pro zajištění pohody chodců během jejího užívání, není potřeba zajišťovat další opatření.

2.8 SVISLÉ DEFORMACE LÁVKY

Požadavky na svislé průhyby udává norma ČSN EN 1990, která udává požadavek pro maximální průhyb lávky daný vzorcem $\delta_{lim} = \frac{L}{250}$, kde L je uvažovaná délka posuzované konstrukce.

2.8.1 PRŮHYB KONSTRUKCE VÝPOČTOVÉHO MODELU VM1

Analýzou výsledných hodnot deformací výpočtového modelu VM1 bylo zjištěno, že hodnota maximálního svislého posuvu je -6,7mm. Pro výpočet limitního posuvu byla jako hodnota L použita osová vzdálenost mezi otočným čepem a vzdálenější koncovou podporou.



Obrázek 2.17: Maximální deformace konstrukce modelu VM1 [Zdroj: autor diplomové práce]

$$\delta_{lim,1} = \frac{L}{250} = \frac{18600}{250} = 74,4mm$$

$$\delta_{lim,2} = \frac{L}{600} = \frac{18600}{600} = 31mm$$

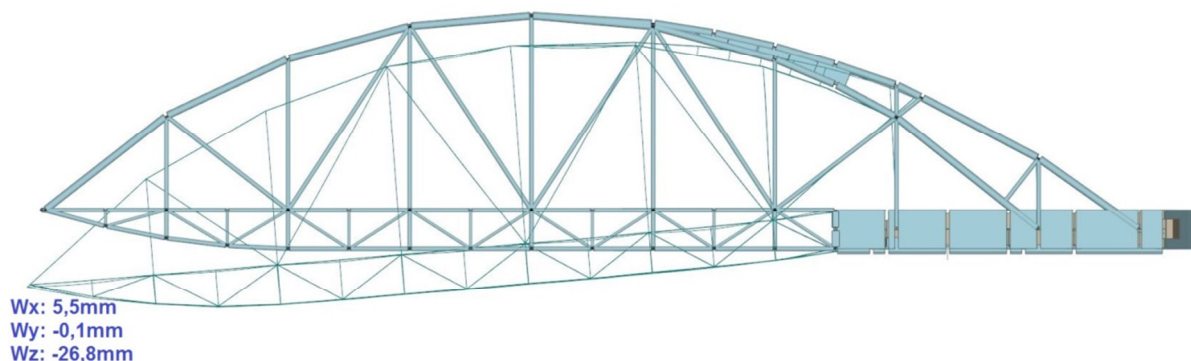
$$w_z \leq \delta_1 \leq \delta_2$$

$$6,7mm \leq 74,4mm \leq 31mm \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

2.8.2 PRŮHYB KONSTRUKCE VÝPOČTOVÉHO MODELU VM2

Analýzou výsledných hodnot deformací výpočtového modelu VM2 bylo zjištěno, že hodnota maximálního svislého posuvu je -26,8mm. Dle předpokladu se výpočtový model chová jako konzola, a maximální deformace se tak projevila na vzdálenějším převislém

konci. Pro výpočet limitního posuvu byla jako hodnota L použita osová vzdálenost mezi otočným čepem a vzdálenější koncovou podporou.



Obrázek 2.18: Maximální deformace konstrukce modelu VM2 [Zdroj: autor diplomové práce]

$$\delta_{lim,1} = \frac{L}{250} = \frac{18600}{250} = 74,4mm$$

$$\delta_{lim,2} = \frac{L}{600} = \frac{18600}{600} = 31mm$$

$$w_z \leq \delta_1 \leq \delta_2$$

$$26,8mm \leq 74,4mm \leq 31mm \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

2.8.3 POSOUZENÍ VÝSLEDNÝCH PRŮHYBŮ KONSTRUKCE

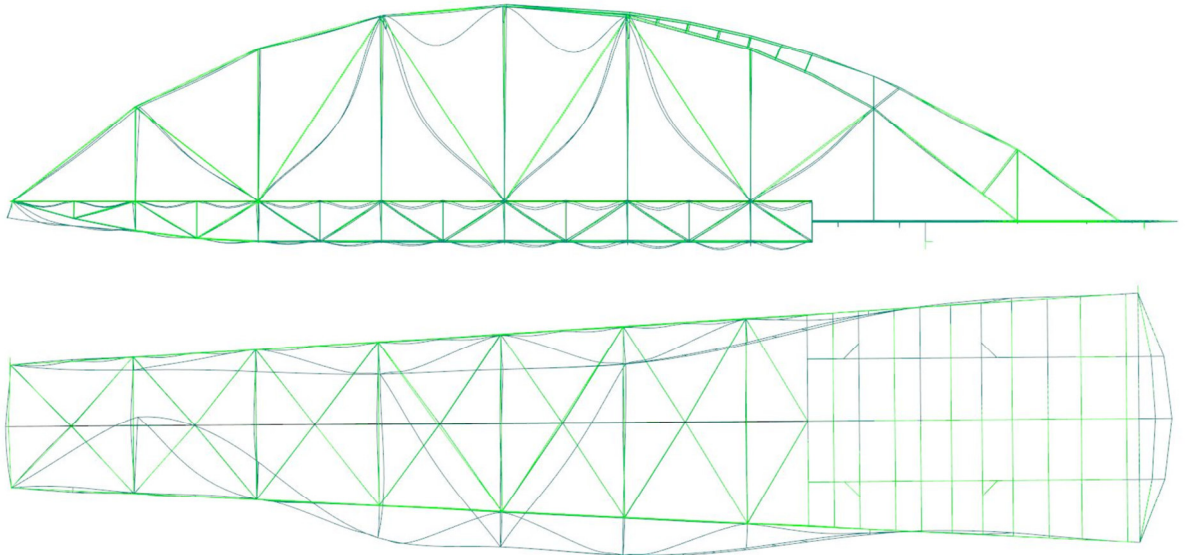
Výsledné deformace vyhovují požadavkům. Nevznikají žádné nadměrné deformace, které mohou omezovat konstrukci lávky během její životnosti. Není tak nutné provádět žádná opatření, která by vedla ke zlepšení výsledných deformací např. nadvýšení lávky. V obou případech výpočtový model vyhovuje dokonce přísnějšímu požadavku $\delta_{lim,2}$, konstrukce je tak z hlediska svislých deformací navržena s dostatečnou rezervou.

2.9 STABILITA KONSTRUKCE

Z inženýrského hlediska nám posouzení stability poskytuje mnoho zásadních informací o chování navržené konstrukce. Při návrhu štíhlých prutových konstrukcí je celkové posouzení lineární stability nezbytné. Software Fine 3D umožňuje posoudit stabilitu konstrukce na základě součinitele $k(-)$, který představuje násobek zatížení. Určuje tak kritické hodnoty zatížení, vedoucí ke ztrátě stability. Součinitel $k(-)$ je počítán pro každou použitou kombinaci zatížení daného výpočtového modelu. Konstrukce lze považovat za lineárně stabilní, pokud je splněna podmínka $k > 4$.

2.9.1 STABILITA MODELU VM1

Analýzou výsledných hodnot pro jednotlivé kombinace zatížení byla zjištěna nejnižší hodnota součinitele kritického zatížení.



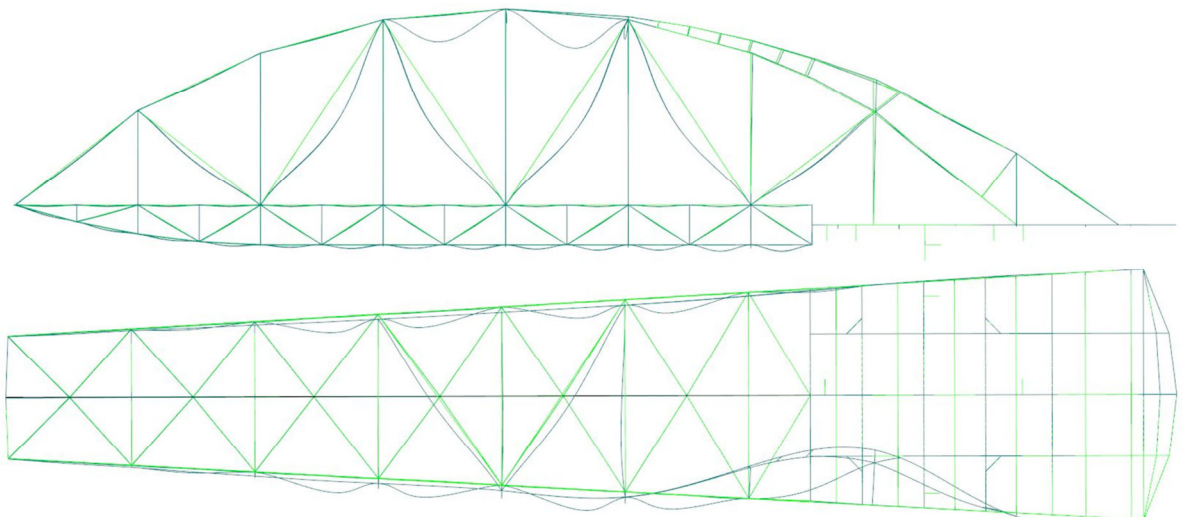
Obrázek 2.19: Schématické vybočení prutů konstrukce modelu VM1 [Zdroj: autor diplomové práce]

$$k = 9,60$$

$k > 4 \rightarrow$ Konstrukce je stabilní

2.9.2 STABILITA MODELU VM2

Analýzou výsledných hodnot pro jednotlivé kombinace zatížení byla zjištěna nejnižší hodnota součinitele kritického zatížení.



Obrázek 2.20: Schématické vybočené prutů konstrukce modelu VM2 [Zdroj: autor diplomové práce]

$$k = 14,98$$

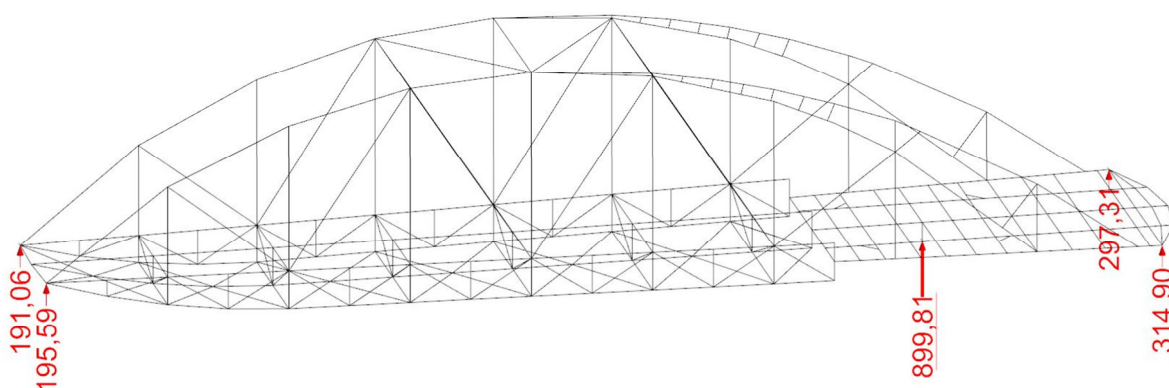
$k > 4 \rightarrow$ Konstrukce je stabilní

2.9.3 POSOUZENÍ STABILITY

Na základě výpočtu stability konstrukce bylo zjištěno, že se konstrukce obou výpočtových modelů chová mimořádně stabilně. Lze tak s jistotou říci, že lávka odolává navrženým účinkům zatížení. Nehrozí její náhlé nebo postupné zřícení.

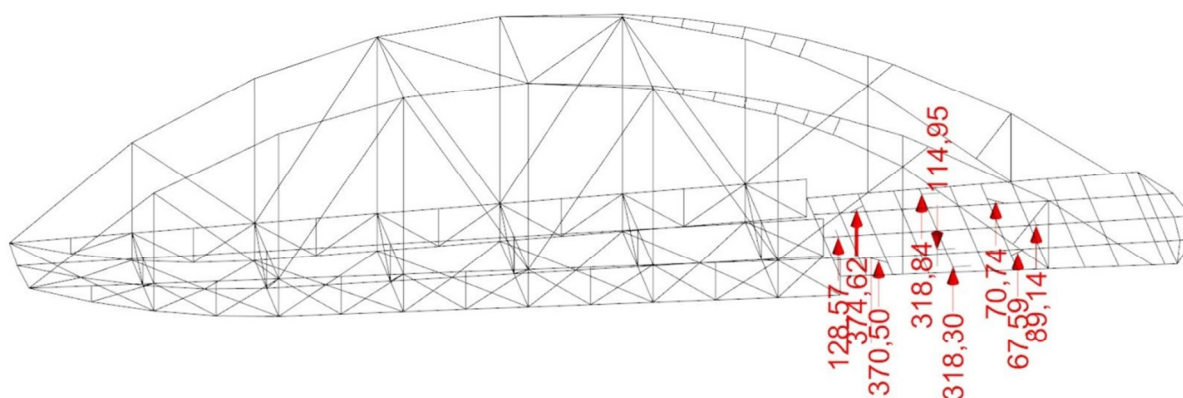
2.10 SVISLÉ REAKCE V PODPORÁCH

Analýza svislých reakcí vyvolané v podporách má sloužit jako podklad pro návrh dimenze jednotlivých podpor. Získané hodnoty jsou generovány z obou výpočtových modelů. Velikost reakcí odpovídá obálce kombinací zatížení pro MSÚ.



Obrázek 2.21: Svislé reakce v podporách modelu VM1 [Zdroj: autor diplomové práce]

Z výsledných reakcí je patrné, že otočný čep patří k nejvíce zatíženým prvkům celé soustavy podpor. Je nutné ho navrhnout tak, aby jeho svislá únosnost byla vyšší než 900kN. Koncové podpory otočné lávky musejí být schopné přenést zatížení minimálně 315kN.

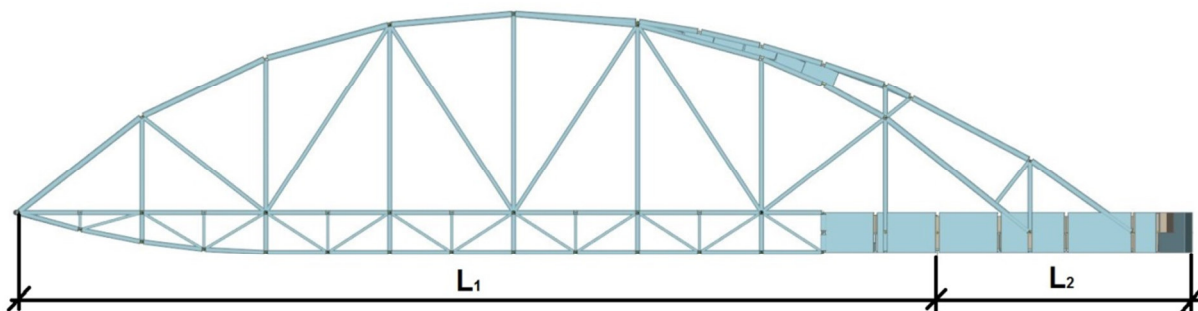


Obrázek 2.22: Svislé reakce v podporách modelu VM2 [Zdroj: autor diplomové práce]

Druhý výpočtový model jednoznačně zobrazuje zatížení podporových kol. Svislé reakce podporových kol nejsou symetricky rozložené, což může mít za následek nerovnoměrné opotřebení podpor. Tento problém by se dal vyřešit podrobnější analýzou vyvážení modelu. Návrhové zatížení těchto podpor je minimálně 375kN.

2.11 DÉLKOVÁ DILATACE LÁVKY

Jelikož se jedná o konstrukci, která není chráněna před teplotními účinky okolí, je nutné uvažovat s teplotní roztažností lávky. Zároveň bude při výpočtu zohledněna deformace od zatížení lávky na modelu VM1. Výpočet dilatace je nutný zejména z hlediska stanovení konkrétních požadavků na koncová ložiska a mostní závěry. Ložiska a mostní závěry pak lze jednoduše navrhnout na příslušné deformace způsobené teplotními změnami. Konstrukce bude posouzena na objemové změny způsobené oteplením i ochlazením, z těchto hodnot je možné stanovit celkový rozsah dilatace.



Obrázek 2.21: Uvažované délky pro výpočet teplotní dilatace [Zdroj: autor diplomové práce]

$\alpha_t = 12 \cdot 10^{-6}$	- tepelná roztažnost
$L_1 = 18,6\text{m}$	- délka dilatačního celku
$L_2 = 5,2\text{m}$	- délka dilatačního celku
$T_0 = 10^\circ\text{C}$	- výchozí teplota
$T_{e,max} = 56^\circ\text{C}$	- maximální rovnoměrná teplota
$T_{e,min} = -35^\circ\text{C}$	- minimální rovnoměrná teplota
$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 46^\circ\text{C}$	- rovnoměrné oteplení konstrukce
$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = -45^\circ\text{C}$	- rovnoměrné ochlazení konstrukce

VODOROVNÁ DEFORMACE PŘEVIŠLÉHO KONCE

$u_{x1,t,max} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot \Delta T_{N,exp} = 10,27\text{mm}$	- deformace oteplením
$u_{x1,t,min} = \alpha_t \cdot L_1 \cdot \Delta T_{N,con} = -10,04\text{mm}$	- deformace ochlazením
$u_{x1,zat,max} = 7,3\text{mm}$	- maximální deformace od zatížení

$u_{x1,zat,min} = -5,0\text{mm}$	- minimální deformace od zatížení
$u_{x1,max} = u_{x1,t,max} + u_{x1,zat,max} = 17,57\text{mm}$	- maximální prodloužení
$u_{x1,min} = u_{x1,t,min} + u_{x1,zat,min} = -15,04\text{mm}$	- maximální zkrácení
$u_{x1} = |u_{x1,max}| + |u_{x1,min}| = 32,61\text{mm}$	- celková deformace

VODOROVNÁ DEFORMACE PLATFORMY

$u_{x2,t,max} = \alpha_t \cdot L_2 \cdot \Delta T_{N,exp} = 2,87\text{mm}$	- deformace oteplením
$u_{x2,t,min} = \alpha_t \cdot L_2 \cdot \Delta T_{N,con} = -2,81\text{mm}$	- deformace ochlazením
$u_{x2,zat,max} = 0,3\text{mm}$	- maximální deformace od zatížení
$u_{x2,zat,min} = 0,0\text{mm}$	- minimální deformace od zatížení
$u_{x2,max} = u_{x2,t,max} + u_{x2,zat,max} = 3,17\text{mm}$	- maximální prodloužení
$u_{x2,min} = u_{x2,t,min} + u_{x2,zat,min} = -2,81\text{mm}$	- maximální zkrácení
$u_{x2} = |u_{x2,max}| + |u_{x2,min}| = 5,98\text{mm}$	- celková deformace

Mostní závěr a koncovou podporu převislé části otočné lávky je nutné dimenzovat na minimální vodorovný posuv 33mm v podélném směru. Na opačné straně je nutné navrhnout mostní závěr a koncovou podporu na minimální vodorovnou deformaci 6mm v podélném směru lávky.

Závěr

Hlavním z cílů teoretické části této diplomové práce je rozšířit podvědomí čtenáře v oblasti otočných mostních konstrukcí. Z historického hlediska jde o dlouhodobě známé řešení přemostění přírodní překážky, které je po technické stránce velmi zajímavé i v dnešní době. Jedná se o řešení, které u nás není moc často využíváno, a určitě si zaslouží mnohem větší pozornost. I v České republice lze totiž nalézt místa, kde by se jejich potenciál dal využít. Tato místa se nejčastěji nachází na tocích, kde je stále aktivní lodní doprava s přiměřenou aktivitou.

Otočné mosty mají mnoho variant řešení, které jde velmi jednoduše kombinovat a přizpůsobit tak daným potřebám. Specifické jsou svým vybavením, potřebným k otočnému pohybu, tyto komponenty budeme u běžných statických mostních staveb hledat marně. Jde například o pohon otáčení, speciální otočné uložení, řídicí jednotku procesu pohybu a mnohé další. Nespornou nevýhodou je fakt, že o všechny tyto speciální komponenty musejí být v pravidelných intervalech velmi důkladně kontrolovány. Servisní prohlídky musejí být prováděny výhradně specializovanými firmami. Tato skutečnost logicky zvyšuje finanční náročnost těchto servisních prohlídek než u běžných nepohyblivých mostů. Základní

požadavky na otočné mosty jsou v podstatě stejné, jako u běžných mostních objektů, nicméně jejich návrh vyžaduje v mnoha ohledech individuální přístup.

Praktická část je zaměřena na vlastní návrh otočné lávky pro chodce. Její tvarové řešení bylo částečně inspirováno otočným mostem navrženým Leonardem da Vinci. Aby tento návrh nepostrádal svůj smysl, bylo nutné vyhledat místo, kde tento mostní objekt nejvíce prokáže svůj potenciál. Nalezená lokalita v blízkosti plavební komory Nymburk splňuje veškeré základní atributy pro výstavbu takového typu lávky. Následovala tvorba výpočtového modelu, který by mohl přiblížit chování konstrukce.

V programu FIN 3D byly vytvořeny dva výpočtové modely, které se od sebe liší pouze v parametrech podpor a působícího zatížení. Jako primární materiál hlavní nosné konstrukce byla zvolena ocel s vyšší pevností S355, jelikož jde o ušlechtilý materiál, který je osvědčený u staveb podobného charakteru. Cílem bylo navrhnout konstrukci s co nejmenší možnou hmotností. Prostorová příhradová konstrukce se tak zdá jako ideální řešení, nicméně je nutné říci, že návrh z moderních kompozitních materiálů, se z tohoto ohledu jeví jako mnohem efektivnější. Statické uložení výpočtový modelů je navrženo tak, aby co nejvíce reprezentovali předpokládané chování podpor v otevřené poloze lávky, chování během procesu otáčení a v uzavřené poloze.

Zatížení obou numerických modelů je provedeno dle aktuálních platných norem a eurokódů. Při návrhu zatížení bylo postupováno podobným způsobem jako u nepohyblivých mostů. Největší slabiny, na které jsem během zatěžování konstrukce, byly v podstatě jen dvě. Pro zatížení námrazou není zpracován platný eurokód a aktuálně platná norma ČSN 12494 je velmi nepřehledná a z mého pohledu nedořešená. Dalším z problémů se kterým jsem se během návrhu zatížení setkal, bylo zatížení větrem. Zjednodušenou metodu uvedenou v normě ČSN EN 1991 lze použít z hlediska tvarového řešení mostů pouze na omezené množství. Byl jsem tedy nucen využít software RWIND Simulation, který provádí pomocí výpočtového algoritmu propočet zatížení objektů větrem. Jde o velmi zdařilou simulaci větrného tunelu. Jedinou nevýhodou tohoto simulátoru je jeho kompatibilita pouze s programy společnosti Dlubal, převod výsledků do ostatních výpočtových programů je tak značně komplikovaný.

Analýza výsledků obou výpočtových modelů umožnila posouzení vybraných prvků na MSÚ, z globálního hlediska bylo možné posoudit dynamické chování konstrukce, její stabilitu a MSP. Konstrukce lávky vyhověla všem základním požadavkům s dostatečnou rezervou. Podle veškerých výsledků je předpokládaný návrh bezpečný a stabilní. Nutno však podotknout, že jde o velmi zevrubný návrh, který by bylo potřeba v případě realizace zpřesnit. Pro účely práce je tento rozsah dostačující. Pokračovat v práci by se například dalo podrobným návrhem podpor, otočného mechanismu a svařovaných spojů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] KOGLIN, Terry L. a Robert KOGLIN. *Movable Bridge Engineering*. Michigan: Wiley, 2003. ISBN 0471419605, 9780471419600.
- [2] WAI-FAH CHEN a Lian DUAN. *Bridge Engineering Handbook*. 2st ed. United States: Taylor & Francis, 2014. ISBN 9781439852217.
- [3] AASHTO *Movable Bridge Inspection, Evaluation and Maintenance Manual*. USA: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1998. ISBN 1560510919, 9781560510918.
- [4] KOLEKTIV AUTORŮ, *Navrhování mostních konstrukcí podle eurokódů*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-90-0.
- [5] PECHAR, Jiří, Jiří BUREŠ a Antonín SCHINDLER. *Kovové mosty*. 2. vydání, přepracované. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00523-X.
- [6] KUČERA, Václav. *Architektura inženýrských staveb*. Praha: Grada Publishing, 2009. ISBN 978-80-247-2504-8.
- [7] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce*. Praha: ČVUT Praha, 2011. ISBN 9788001054895.
- [8] ČSN 73 6201. *Projektování mostních objektů*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [9] ČSN EN 1990. *Zásady navrhování konstrukcí*. Ed.2. Praha: Český normalizační institut, 2015.
- [10] ČSN EN 1991. *Zatížení konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [11] ČSN EN 1993. *Navrhování ocelových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [12] ČSN ISO 12494. *Zatížení konstrukcí námrazou*. Praha: Český normalizační institut, 2018.
- [13] *Strojírny Podzimek* [online]. 2003 [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <http://www.p-s.cz/otocne-mosty-c17z4l0.html>
- [14] *Normandy Then and Now* [online]. 2017 [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://www.normandythenandnow.com/why-save-the-colbert-bridge-in-dieppe/>
- [15] *Eadon Consulting* [online]. 2015 [cit. 2020-06-28]. Dostupné z: <https://eadonconsulting.co.uk/project/greenwich-reach-swing-bridge/>

Seznam použitého softwaru

- FIN 3D
- Microsoft Office Word 2010
- Microsoft Office Excel 2010
- AutoCAD 2017
- RWIND Simulation

Přílohy

A – Výstup FIN 3D

B – Výkresová dokumentace