

České vysoké učení technické v Praze

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

LÁVKA ČERNÝ KŘÍŽ

VYPRACOVAL: JAN JANOUŠEK

Vedoucí práce: Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

V Praze 2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Janoušek Jméno: Jan Osobní číslo: 438148
Zadávací katedra: K133 Katedra betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: (B3651) Stavební inženýrství
Studijní obor: (3647R013) Konstrukce a dopravní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Lávka Černý Kříž
Název bakalářské práce anglicky: The Black Cross footbridge

Pokyny pro vypracování:

Součástí řešení bude:

- rešerše na téma lávek pro pěši v podobě oblouků s horní mostovkou
- zpracování komentovaného statického výpočtu mostu
- detailní posouzení hlavních konstrukčních prvků výsledné varianty řešení

Seznam doporučené literatury:

- Stráský, J. (2001) Betonové mosty, ŠEL, Knihnice autorizovaného inženýra a technika, TK21, s.103
Navrátil, J. (2004) Předpjaté betonové konstrukce, Akademické nakladatelství CERM, s.160

Jméno vedoucího bakalářské práce: Doc. Ing. Marek Foglar, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 25/2/2019 Termín odevzdání bakalářské práce: 26/5/2019
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného/ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

25.2.2019
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Lávka Černý Kříž* vypracoval samostatně pod odborným vedením doc. Ing. Marka Foglara, Ph.D.

V Praze dne 26.5.2019

.....

Jan Janoušek

Poděkování:

V první řadě děkuji doc. Ing. Marku Foglarovi, Ph.D. za připomínky, rady a podněty při konzultacích a zkušenosti, které mi jeho vedení dalo. Dále děkuji rodině za podporu během mého studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá alternativním návrhem lávky na Černém Kříži na Šumavě.

Lávka leží v 1. zóně NP Šumava a přemostuje Studenou Vltavu. V rámci studie byly zpracovány tři varianty, ze kterých byla jedna vybrána k podrobnému posouzení.

Klíčová slova:

Lávka pro pěší, železobetonová konstrukce, oblouková konstrukce.

Abstract

This bachelor thesis deals with alternative design of the Black Cross footbridge. Footbridge is situated in 1st zone of NP Šumava and it spans Studená Vltava river. Four variants were considered, of which one was chosen for a detailed design.

Keywords:

Footbridge, reinforced concrete structure, arch structure.

1. Rešerše	1
1.1. Základní pojmy	1
1.2. Obloukové konstrukce	3
1.3. Obloukové lávky s horní mostovkou	6
1.4. Prostorové uspořádání lávek	10
2. Úvod.....	12
3. Studie alternativních řešení.....	13
3.1 Místo stavby.....	13
3.2 Terén.....	13
3.3 Inženýrské sítě.....	13
3.4 Varianty řešení	14
3.4.1 Varianta A - Spřažená dřevobetonová konstrukce	14
3.4.2 Varianta B - Visutý předpjatý pás.....	16
3.4.3 Varianta C - Samokotvená konstrukce	18
4. Studie chování vybrané varianty	20
4.1 Materiály.....	20
4.2 Zatížení.....	22
4.2.1 Stálá zatížení	22
4.2.2 Proměnná zatížení	23
4.3 Zatěžovací stavy	24
4.4 Grafické průběhy vnitřních sil	28
4.4.1 Varianta 1 - oblouk se vzepětím $f=1,75m$	28

4.4.2 Varianta 2 - oblouk se vzepětím $f=2,35m$	33
4.4.3 Varianta 3 - vzepětí oblouku 2,90m.....	38
4.4.4 Varianta 4 - oblouk se vzepětím 3,5m.....	42
4.4.5 Varianta 5 - vzepětí oblouku 5,0m	47
4.4.6 Varianta 6 - oblouk se vzepětím 7,0m.....	51
5. Podrobný výpočet	57
5.1 Sestavy zatížení	60
5.2 Kombinace zatížení	61
5.2.1 Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti.....	61
5.2.2 Kombinace pro mezní stavy použitelnosti.....	68
6. Technologie výstavby a její dopad na návrh konstrukce	72
6.1 Monolitický způsob výstavby	72
6.2 Prefa-monolitická výstavba	74
6.3 Výstavba z prefabrikátů.....	76
7. Posouzení konstrukce	79
7.1 Mezní stav únosnosti	79
7.1.1 Posouzení oblouku	79
7.1.2 Posouzení mostovky	88
8. Závěr.....	95
9. Použité zdroje.....	96

1. Rešerše

1.1. Základní pojmy

Mostní objekt

Tvoří součást dopravní cesty (pozemní komunikace, dráhy, vodní cesty) v místě v němž je třeba překonat přírodní nebo umělou překážku, nebo zvolit takové řešení z ekonomických, ekologických, vodohospodářských či estetických důvodů.

Lze je dělit na mosty (kolmá světlost alespoň jednoho mostního otvoru je větší než 2m), propustky (kolmá světlost mostního otvoru je od 0,4m do 2,0m včetně) a lávky pro pěší a cyklisty.

Lávka

Je mostní objekt sloužící chodcům anebo cyklistům.

Hlavní nosná konstrukce

Je část nosné konstrukce, která slouží k překlenutí překážky a obvykle je uložena na spodní stavbě mostu

Mostovka

Je část nosné konstrukce, která přenáší zatížení od dopravy z mostního svršku do hlavní nosné konstrukce. Podle polohy ji dělíme na horní, dolní, mezilehlou a zapuštěnou. Z hlediska konstrukčního ji dělíme na prvkovou, deskovou, roštovou a ortotropní.

Dělení lávek dle materiálu nosné konstrukce

- Betonové - hlavní nosná konstrukce je vyrobena z prostého, železového, nebo předpjatého betonu, ev. z jejich kombinací

- Kovové - hlavní nosná konstrukce je vyrobena z oceli, litiny, nebo z lehkých slitin (např. hliník)
- Dřevěné - hlavní nosná konstrukce je vyrobena ze dřeva, nebo materiálů na bázi dřeva
- Kombinované (hybridní) - hlavní nosná konstrukce (nebo její část) je složena z různých stavebních materiálů
- Spřažená ocelobetonová - betonová část průřezu je spřažená s ocelovou částí průřezu hlavní nosné konstrukce
- Spřažená betonová - nosná konstrukce je z betonů různých druhů (předpjatý beton a železobeton)
- Spřažená dřevobetonová - betonová část (deska) průřezu hlavní nosné konstrukce je spřažena s dřevěnou částí (nosníky) průřezu

Dělení dle statického působení nosné konstrukce

- Desková
- Trámová
- Rámová
- Oblouková
- Klenbová
- Věšadlová
- Vzpínadlová
- Vzpěradlová
- Zavěšená
- Visutá

1.2 Obloukové konstrukce

Obecně

Oblouková konstrukce sestává ze 3 částí - oblouk, mostovka a vzpěry, nebo táhla. Hlavním nosným prvkem je oblouk, který má zakřivenou střednici a díky tomu dominantní část namáhání tvoří normálové napětí. To nám umožňuje používat křehké materiály - materiály s relativně vysokou pevností v tlaku, ale minimální pevností v tahu (např. kamenné či cihlové zdivo, nebo prostý beton). V současné době jsou obloukové konstrukce většinou realizovány ze železobetonu, jsou štíhlejší a výrazněji se na nich projevuje proměnné zatížení - ohybovými momenty. Momenty od stálého zatížení se dají eliminovat vhodným návrhem střednice.

Statické působení

Podle statického působení dělíme obloukové konstrukce na oboustranně vetknuté, dvoukloubové a trojkloubové. Nejčastějším řešením při použití železobetonu je oboustranné vetknutí.



Obr. 1: Statické schéma

Dělení dle polohy mostovky

Podle polohy mostovky dělíme obloukové konstrukce na konstrukce s horní mostovkou, dolní mostovkou, nebo mezilehlou mostovkou.

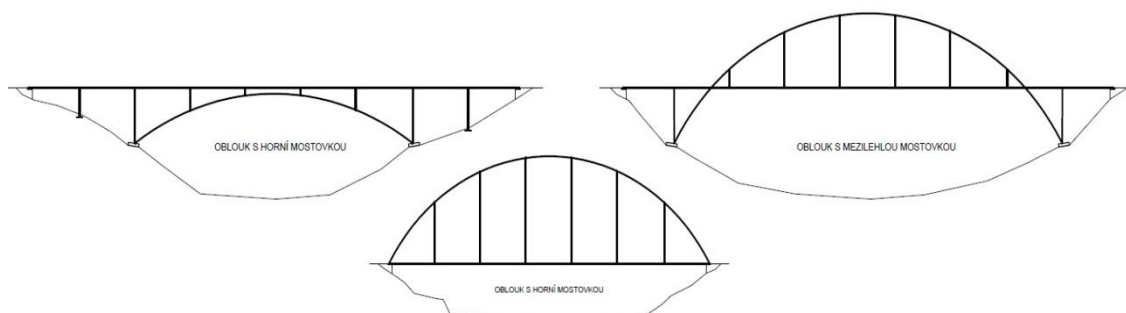
V případě oblouku s horní mostovkou je zatížení z mostovky přenášeno pomocí vzpěr, které jsou přímo spojeny s obloukem, nebo, pokud leží mimo oblouk, jsou založeny na vlastním základu. V základové spáře u paty oblouku vznikají velké vodorovné reakce a

proto je důležité, aby byla základová půda dostatečně únosná - ideální jsou skalní horniny. Oblouky s horní mostovkou jsou vhodné k přemostění hlubokých údolí.

Oblouky s dolní mostovkou sestávají z oblouku, mostovky a závěsů, kterými je zatížení přenášeno z mostovky na oblouk. Pokud konstrukci uložíme na ložiska, vznikne tzv. Langerův trám - mostovka je spojena s obloukem v jeho patě a působí jako táhlo. Na základovou půdu pak konstrukce působí jako prostý nosník. Je tak vhodná i v plochém terénu a zakládání na neskálním podloží. Závěsy mohou být uspořádány jako svislé, šikmé, nebo jako síťové. Z hlediska návrhu jsou svislé závěsy nejjednodušší. V šikmých závěsech mohou vznikat v některých zatěžovacích stavech tlaková namáhání a je tak nutné je posuzovat na vzpěr. Síťové uspořádání je složeno ze šikmých závěsů, které se kříží a při dostatečném počtu zkřížených závěsů působí jako stojina nosníku (oblouk a mostovka tvoří horní a dolní pásnici).

Oblouky s mezilehlou mostovkou mají závěsy i vzpěry - část mostovky ("pod" obloukem) je zavěšená a část ("nad" obloukem) je podepřená.

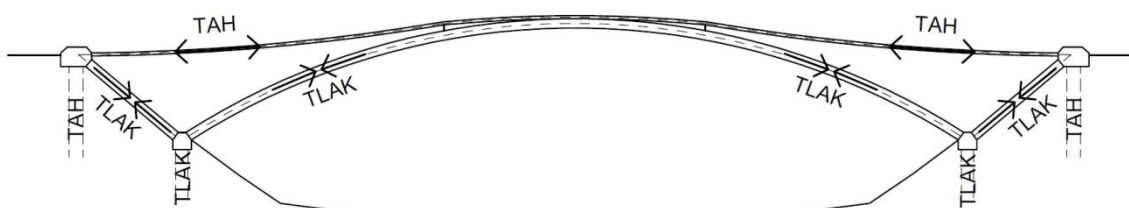
Mostovka může být na vzpěry uložena prostřednictvím ložisek, nebo do nich může být vetknutá.



Obr. 2: Poloha mostovky

Samokotvená konstrukce

Zvláštním typem obloukové konstrukce je tzv. samokotvená konstrukce. Takovou konstrukci vytvoříme, když zkombinujeme oblouk a předpjatý pás (tvoří mostovku). Předpjatý pás je namáhán tahem, oblouk tlakem a vzájemně jsou spojeny tlačnou vzpěrou - na základovou půdu pak působí pouze svislými silami a je možné takovou konstrukci navrhnout i v místě se špatnými základovými podmínkami.



Obr. 3: Schéma statického působení samokotvené konstrukce

Návrhové parametry

Základními parametry, kterými lze definovat obloukové konstrukce jsou:

- rozpětí L - vodorovná vzdálenost mezi patami oblouku
- vzepětí f - svislá vzdálenost mezi patou a vrcholem oblouku
- poměrné vzepětí f/L - říká nám, jak plochý, nebo vysoký oblouk je. Hodnota by se měla pohybovat mezi $1/1$ - $1/15$
- smělost oblouku L^2/f - po přenásobení součiniteli (závislými na typu oblouku), lze odhadnout velikost vodorovné síly, vznikající v oblouku

Vhodným rozdělením tuhostí jednotlivých prvků (mostovka - oblouk) je možné přerozdělit vnitřní síly v konstrukci, např. navrhnout tuhý oblouk, nebo tuhá mostovka.

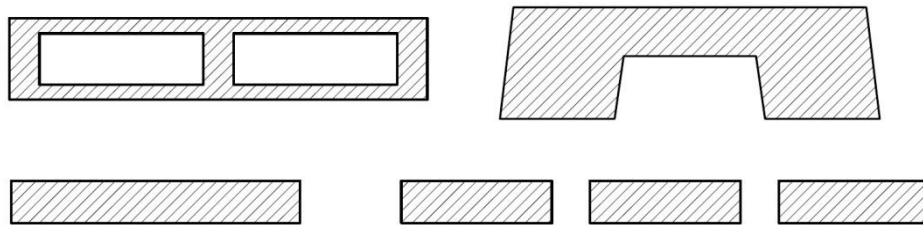


Obr. 4: Návrhové parametry

1.3. Obloukové lávky s horní mostovkou

Příčný řez

Průřez oblouku závisí na volbě statického uspořádání a na velikosti konstrukce. U menší konstrukce je možné použít konstantní průřez. U větších konstrukcí spíše navrhne proměnný průřez - např. u vetknutého oblouku se průřez bude směrem k vrcholu oblouku zmenšovat. Průřezy mohou být plnostěnné (obdélníkové), rozdělené na pásy, komorové, otevřené, nebo příhradové (v případě ocelové, nebo dřevěné konstrukce).



Obr. 5: Typické příčné řezy konstrukce oblouku

Vzpěry jsou obvykle tvořeny dvěma plnými sloupy, průběžnou stěnou, T-průřezem, nebo rámovou konstrukcí. Uspořádání vzpěr závisí na konstrukčním řešení oblouku a mostovky.

Táhla se navrhují převážně ze systémových prvků, nebo ocelových profilů (např. trubek, nebo tyčí).

Mostovka může být prefabrikovaná i monolitická. Prefabrikovaná mostovka bývá z prefa nosníků a spřažené železobetonové desky, nebo spřažená ocelobetonová, nebo čistě ocelová. Prefabrikovanou mostovku můžeme montovat v předpolí a následně ji vysouvat přes oblouk, což zkrátí dobu výstavby. Monolitická mostovka bývá železobetonová, nebo předpjatá - deskového, trémového, nebo i komorového průřezu.

Lávka na Dětský ostrov v Praze

Lávka byla postavena v letech 1933-1941. Konstrukce je tvořena štíhlým obloukem aspolupůsobící mostovkou. Oblouk má rozpětí přibližně 20m a je vetknut do opěr, které byly původně postaveny pro plánovaný most z Myslíkovy ulice.



Obr. 6: Most na dětský ostrov [9]

Lávka přes R35 u Olomouce

Konstrukce navržená jako samokotvená převádí sdružený provoz pěších a cyklistů přes rychlostní silnici R35 na obchvatu Olomouce. Lávka je tvořená předpjatým pásem, vzpěrami a obloukem.

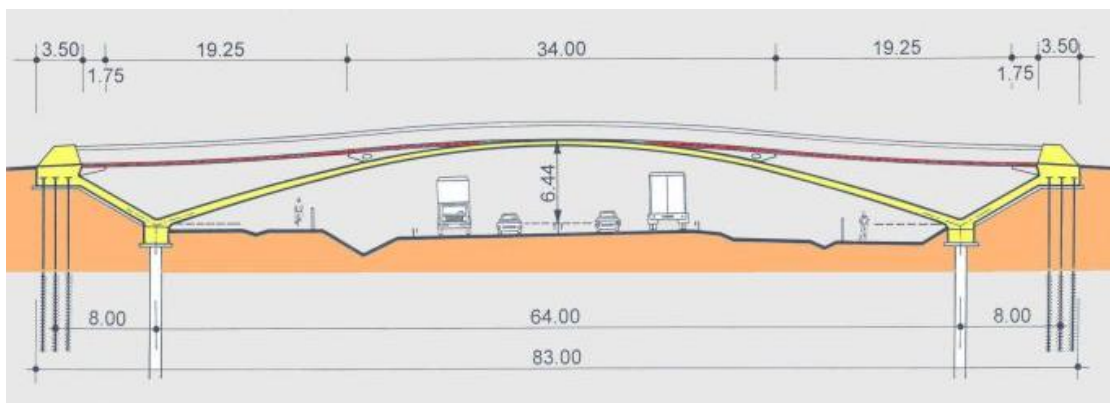
Předpjatý pás je tvořen z prefabrikovaných segmenů (délky 3m, tloušťka desky 110-290mm) z vysokopevnostního betonu C70/85, které jsou uloženy na dvojici předepnutých kabelů v nerezových trubkách. Předpjatý pás má délku 76m a ve střední části je uložen na oblouku. Kabely jsou na konci mostu ukotveny v kotevních blocích, které jsou uloženy na mikropilotách.

Oblouk má rozpětí 64m, vzezřítí 6,44m a je z vysokopevnostního betonu C60/75. Průřez má konstantní šířku 2,1m a výšku proměnnou od 0,35m ve vrcholu až po 0,7m v patě oblouku. Založen je na velkopřůměrových pilotách $\varnothing 900\text{mm}$.

Oblouk je s předpjatým pásem spojen prefabrikovanými vzpěrami, které zajišťují přenos vodorovných sil mezi obloukem a pásem.



Obr. 7: Lávka přes R35 u Olomouce [10]



Obr. 8: Podélný řez lávkou [10]

Lávka přes řeku Svratku v Brně

Lávka přemostňuje řeku Svratku v Brně a propojuje starý střed města s administrativním centrem. Konstrukce je navržena jako samokotvená, z oblouku a předpjatého pásu.

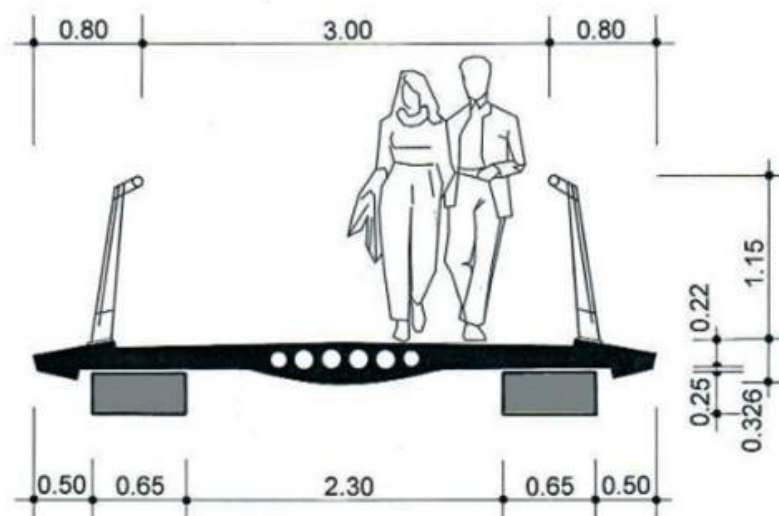
Oblouk je z vysokopevnostního betonu C70/85, má rozpětí 42,9m, vzepětí 2,65m. V příčném řezu je tvořen dvěma větvemi, které jsou u opěry spojené a směrem k vrcholu se vzájemně vzdalují.

Předpjatý pás je dlouhý 43,5m a je složen z prefabrikovaných segmentů délky 1,5m z vysokopevnostního betonu C70/85, které jsou neseny a předepnuty čtyřmi předpínacími kabely zainjektovanými v polyethylenových trubkách.

Konstrukce je založená na vrtaných pilotách, které jsou díky samokotvenému systému namáhány pouze osovými silami.



Obr. 9: Lávka přes řeku Svratku v Brně [11]



Obr. 10: Příčný řez [11]

1.4. Prostorové uspořádání lávek

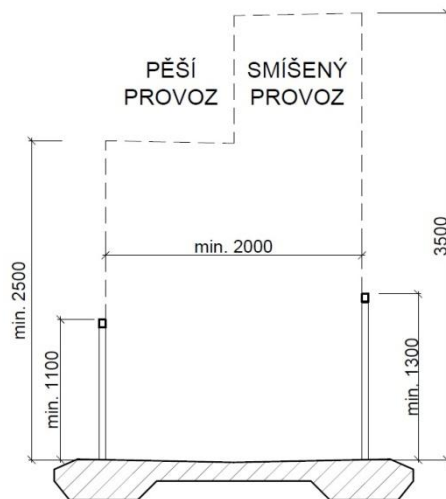
Průchozí prostor

Je světlý prostor určený pro chodce, příp. cyklisty, který se musí dodržet v celé délce pásu pro chodce a/nebo cyklisty na mostním objektu.

Horní omezení průchozího prostoru je rovnoběžné s povrchem mostovky a jeho výška je minimálně 2,5m, při provozu cyklistů se doporučuje 3,5m.

Boční omezení je svislé a šířka se stanovuje podle výhledové intenzity provozu chodců, nebo cyklistů a s ohledem na šířku průchozího prostoru na navazujícím úseku pozemní komunikace.

Základní šířka pruhu pro chodce je 0,75m, pro cyklisty 1,0m a šířku průchozího prostoru získáme jejich násobky. Nejméně však 2,0m, při obousměrném provozu se doporučuje šířka minimálně 3,5m.



Obr. 11: Schéma průchozího prostoru na lávce

Podélný sklon

Podle ČSN 73 6110 smí být maximálně 1/12 (tj. 8,33%). Pokud je podélný sklon větší než 5% na úseku delším než 200m, musí být zřízena odpočívadla.

Zábradlí

Z hlediska bezpečnosti musí být lávka vybavena zábradlím. Pokud lávka slouží pouze chodcům, je výška zábradlí minimálně 1,1m. Jestliže je lávka určena pro chodce i cyklisty, musí mít zábradlí výšku minimálně 1,3m. Svislá, či šikmá výplň zábradlí smí mít mezery mezi jednotlivými prvky maximálně 0,12m.

2. Úvod

V této práci se zabývám alternativním řešením lávky na Černém Kříži na Šumavě. V první fázi jsem provedl návrh několika variant v úrovni studie. Varianty se liší jak konstrukčním, tak i materiálovým řešením. Z těchto variant vybírám jednu, kterou podrobím dalšímu návrhu

3. Studie alternativních řešení

3.1 Místo stavby

Stávající lávka leží v 1.zóně Národního parku Šumava nedaleko železniční stanice Černý Kříž a obce Dobrá v Jihočeském kraji. Mezi Černým Křížem a obcí Dobrá převádí turistickou trasu přes Studenou Vltavu. Nová lávka je situována v místě stávající.



Obr. 12: Poloha stavby [12]

3.2 Terén

Lávka se nachází v relativně rovinnatém terénu. Přemostuje Studenou Vltavu, která se v místě stavby často vylévá z koryta, proto je navržena s větším rozpětím, aby se zabránilo zaplavování spodní stavby.

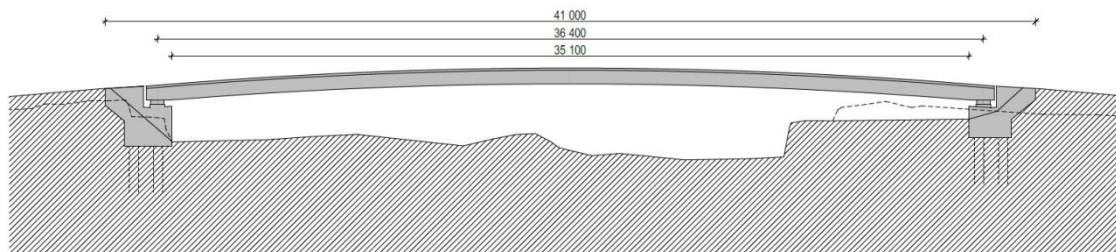
Nadmořská výška terénu v místě stavby je přibližně 736 m.n.m. (Bpv).

3.3 Inženýrské sítě

V místě stavby ani jejím okolí se nenachází žádné sítě, které by byly stavbou dotčeny, nebo by je bylo potřeba na lávce převést.

3.4 Varianty řešení

3.4.1 Varianta A - Spřažená dřevobetonová konstrukce



Obr. 13: Varianta A - Podélný řez

Základní údaje

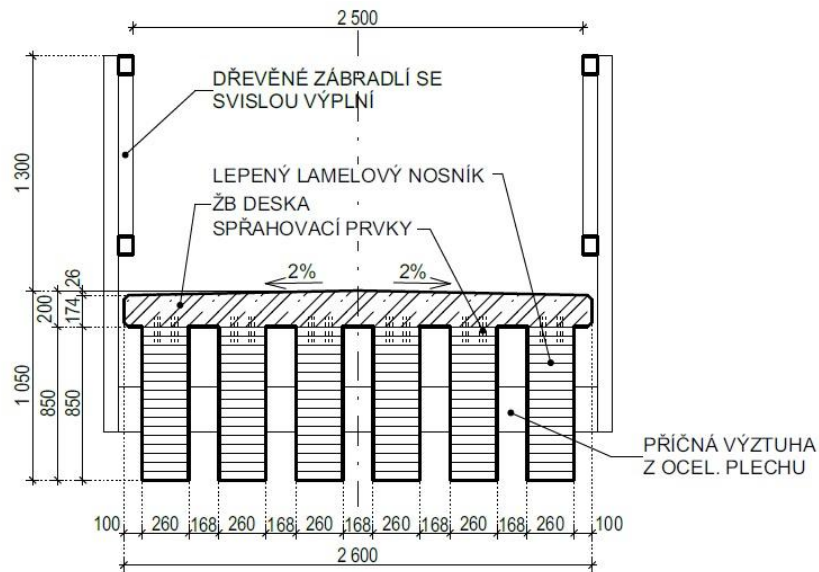
Lávka umožňuje přechod pěších a cyklistů přes Studenou Vltavu. Je navržena jako jednopolová, půdorysně přímá, nosná konstrukce je spřažená dřevobetonová z lamelových nosníků a betonové desky. Nosníky jsou uloženy kloubově na železobetonové opěry.

Rozměry lávky

Délka nosné konstrukce je 41,0m, teoretické rozpětí nosníků je 36,4m, délka přemostění je 35,1m. V celé délce mostu je zachován průchozí prostor šířky 2,5m a výšky 3,5m. Celková šířka lávky je 2,8m. Vzhledem ke smíšenému provozu je výška zábradlí 1,3m. Příčný sklon mostovky je střešovitý 2%, v podélném směru je konstrukce zakřivená poloměrem $R=220\text{m}$.

Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci tvoří 6 nosníků z lepeného lamelového dřeva třídy GL28H (výšky 850mm a šířky 260mm) a železobetonová deska z betonu C30/37 (tl.175-200mm, šířky 2600mm). Spolupůsobení mezi dřevěnými nosníky a ŽB deskou je zajištěno pomocí speciálních vrutů umístěných vždy do kříže po dvojicích. Po 4m jsou dřevěné nosníky vyztuženy ocelovými příčníky, na které jsou přivařeny sloupky zábradlí.



Obr. 14: Varianta A - Příčný řez

Spodní stavba

Výkopy pro spodní stavbu budou provedeny strojově s ohledem na ochranu přírody.

Opěry jsou navrženy jako železobetonové, založené na železobetonových pilotách.

Opěry budou obloženy kamenem z původních opěr, aby stavba co nejvíce zapadla do krajiny.

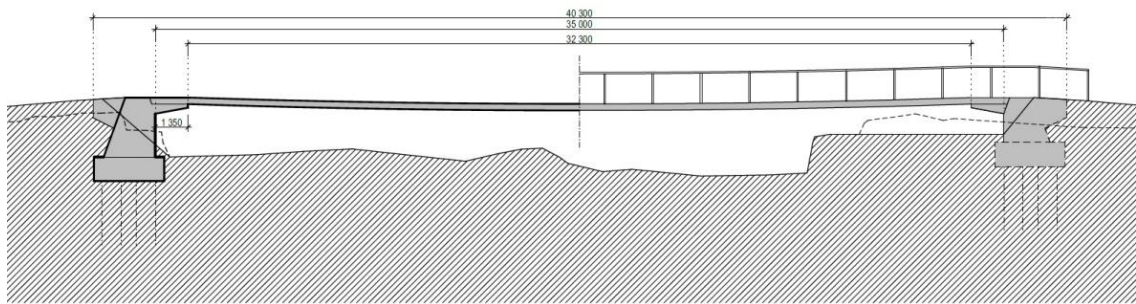
Příslušenství lávky

Lávka je vybavena zábradlím výšky 1300mm. V prostoru před lávkou jsou umístěny balvany o hmotnosti min 1000 kg jako zábrana proti vjezdu motorových vozidel na lávku.

Pochozí vrstva lávky je navržena jako přímopochozí celoplošná izolace Tarco tl. 8mm.

Odvodnění mostu je zajištěno příčným a podélným sklonem mostovky.

3.4.2 Varianta B - Visutý předpjatý pás



Obr. 15: Varianta B - Podélný řez

Základní údaje

Lávka umožňuje přechod pěších a cyklistů přes Studenou Vltavu. Je navržena jako visutý předpjatý pás o jednom poli, půdorysně je lávka v přímé.

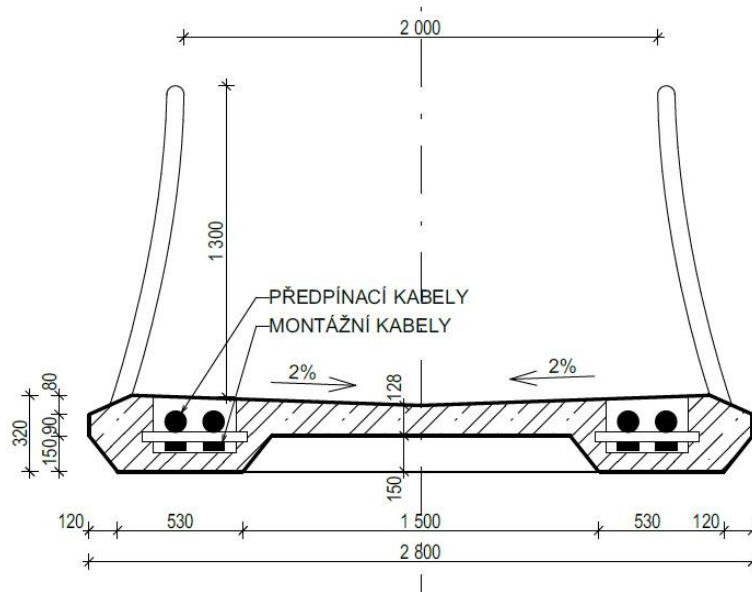
Rozměry lávky

Délka nosné konstrukce je 40,3m, délka přemostění je 35,0m. V celé délce mostu je zachován průchozí prostor šířky 2,5m a výšky 3,5m. Celková šířka lávky je 3,3m. Vzhledem ke smíšenému provozu je výška zábradlí 1,3m.

Příčný sklon mostovky je střešovitý 2%, v podélném směru má konstrukce tvar řetězovky.

Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci tvoří 4 nosné kabely zainjektované v polyethylenové trubce a prefabrikované segmenty (délky 3m a výšky 0,32m) z vysokopevnostního betonu.



Obr. 16: Varianta B - Příčný řez

Spodní stavba

Výkopy pro spodní stavbu budou provedeny strojově s ohledem na ochranu přírody.

Opěry jsou navrženy jako železobetonové, založené na železobetonových pilotách. Opěry budou obloženy kamenem z původních opěr, aby stavba co nejvíce zapadla do krajiny.

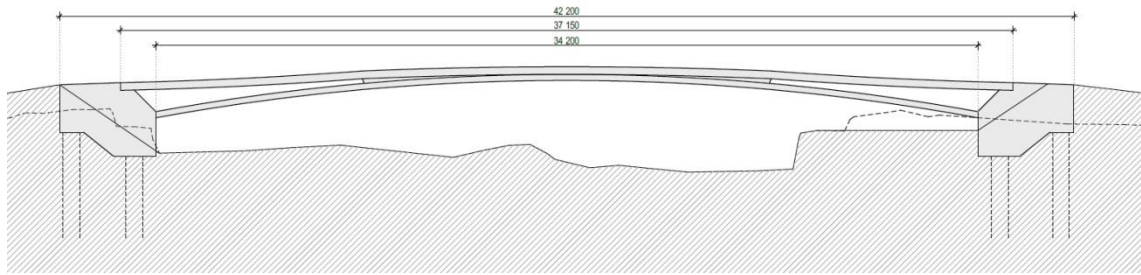
Příslušenství lávky

Lávka je vybavena zábradlím výšky 1300mm. V prostoru před lávkou jsou umístěny balvany o hmotnosti min 1000 kg jako zábrana proti vjezdu motorových vozidel na lávku.

Pochozí vrstva lávky je navržena jako přímopochozí celoplošná izolace Tarco tl. 8mm.

Odvodnění mostu je zajištěno příčným a podélným sklonem mostovky.

3.4.3 Varianta C - Samokotvená konstrukce



Obr. 17: Varianta C - Podélný řez

Základní údaje

Lávka umožňuje přechod pěších a cyklistů přes Studenou Vltavu. Je navržena jako visutý předpjatý pás podepřený obloukem - konstrukce tak tvoří samokotvený systém., Půdorysně je lávka v přímé.

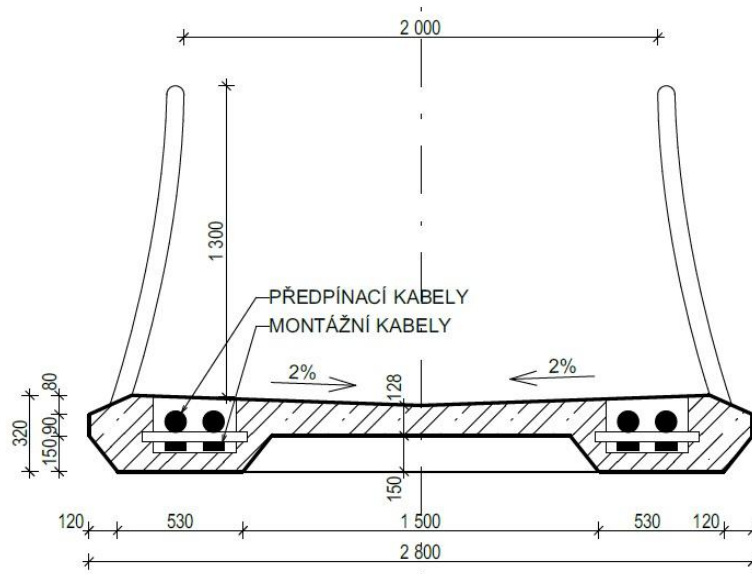
Rozměry lávky

Délka nosné konstrukce je 42,2m, délka přemostění je 34,2m, rozpětí oblouku 34,2m. V celé délce mostu je zachován průchozí prostor šířky 2,5m a výšky 3,5m. Celková šířka lávky je 3,3m. Vzhledem ke smíšenému provozu je výška zábradlí 1,3m.

Příčný sklon mostovky je střežovitý 2%.

Nosná konstrukce

Nosnou konstrukci tvoří oblouk z vysokopevnostního betonu, který je vetknut do opěr. Mostovku tvoří prefabrikované segmenty z vysokopevnostního betonu uložené na 4 nosné kabely zainjektované v polyethylenové trubce. Pata oblouku a mostovka jsou propojeny vzpěrami, které zajišťují přenos vodorovných sil mezi obloukem a mostovkou.



Obr. 18: Varianta C - Příčný řez

Spodní stavba

Výkopy pro spodní stavbu budou provedeny strojově s ohledem na ochranu přírody.

Opěry jsou navrženy jako železobetonové, založené na železobetonových pilotách. Kotevní bloky předpjatého pásu jsou železobetonové a založené na skupině mikropilot. Díky samokotvenému systému jsou piloty a mikropiloty namáhány pouze osovými silami. Opěry budou obloženy kamenem z původních opěr, aby stavba co nejvíce zapadla do krajiny.

Příslušenství lávky

Lávka je vybavena zábradlím výšky 1300mm. V prostoru před lávkou jsou umístěny balvany o hmotnosti min 1000 kg jako zábrana proti vjezdu motorových vozidel na lávku. Pochozí vrstva lávky je navržena jako přímopochozí celoplošná izolace Tarco tl. 8mm. Odvodnění mostu je zajištěno příčným a podélným sklonem mostovky.

4. Studie chování vybrané varianty

K podrobnému návrhu a posouzení jsem vybral variantu C - předpjatý pás podepřený obloukem. Oproti původnímu návrhu jsem upravil průřez mostovky a o tom, zda budu mostovku předpínat, nebo postačí železobetonová, rozhodne napětí, které určím v dalších krocích. Rozpětí oblouku jsem upravil na 35,0m a abych pochopil, jaký vliv na vnitřní síly a napětí má vzepětí oblouku, provedu výpočet na 6ti konstrukcích s různými vzepětími - 1,75m ($f/L=1/20$), 2,35m (1/15), 2,90m (1/12), 3,50m (1/10), 5,00m (1/7), 7,00m (1/5), z nichž si vyberu nejvhodnější pro další posuzování konstrukce. Výpočet provádím v programu SCIA Engineer 18.1. Konstrukci modeluji jako dva pruty - jeden pro oblouk a druhý pro mostovku - které jsou ve střední části, kde předpokládám spřažení mostovky s obloukem, spojeny tuhými rameny po cca 1m.

4.1 Materiály

Ve výpočtu předběžně počítám s níže uvedenými materiály.

Beton

Volím beton pevnostní třídy C35/45 - XC4 + XD1 + XF3

Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku ve stáří 28 dní:

$$f_{ck} = 35,0 \text{ MPa}$$

Průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku:

$$f_{cm} = 43,0 \text{ MPa}$$

Dílčí součinitel betonu pro mezní stavy únosnosti:

$$\gamma_c = 1,5$$

Návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku:

$$f_d = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0,90 \cdot 35,0 / 1,5 = 21 \text{ MPa}$$

(α_{cc} je součinitel zohledňující dlouhodobé účinky na pevnost tlaku a nepříznivé účinky vyplývající ze způsobu zatěžování)

Průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu:

$$f_{ctm} = 3,2 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti betonu:

$$E_{cm} = 34,0 \text{ GPa}$$

Betonářská výztuž

Pro návrh výztuže použijí výztuž B500B

Charakteristická mez kluzu:

$$f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$$

Dílčí součinitel betonářské výztuže:

$$\gamma_s = 1,15$$

Návrhová hodnota meze kluzu:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500,0 / 1,15 = 434,78 \approx 435,0 \text{ MPa}$$

Modul pružnosti betonářské výztuže:

$$E_s = 200,0 \text{ GPa}$$

Krytí výztuže

Na oblouku

Jmenovitá hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy:

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

$$c_{min} = \max(c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - \Delta c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10mm)$$

$$c_{min,b} \geq \emptyset$$

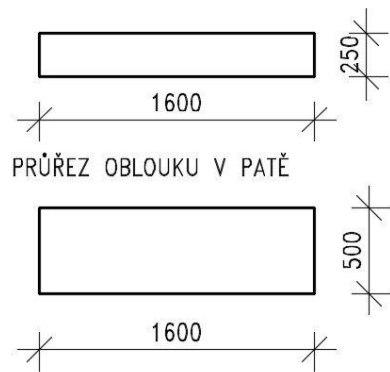
$$c_{min,dur} = 25mm$$

$$\Delta c_{dev} = 10mm$$

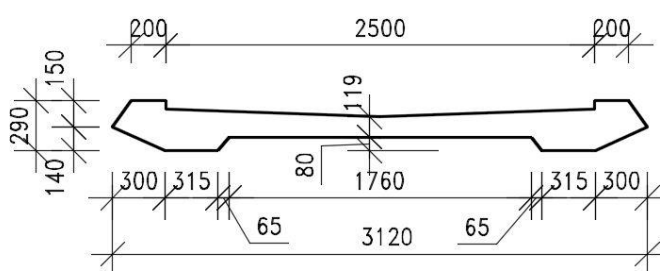
$$c_{min} = \max(\emptyset; 25mm; 10mm)$$

$$c_{nom} = c_{min} + 10mm$$

PRŮŘEZ OBLOUKU VE VRCHOLU



PRŮŘEZ MOSTOVKY



Obr. 19: Průřezy

4.2 Zatížení

Zatížení uvažuji dle ČSN EN 1991. [5]

4.2.1 Stálá zatížení

Vlastní tíha

Vlastní tíha nosné konstrukce je generována výpočetním programem pro konkrétní průřez a materiál.

Ostatní stálé

Tíha zábradlí je odhadnuta na 0,5kN na běžný metr konstrukce.

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

Pochozí vrstvu uvažuji jako přímopochozí izolaci.

Šířku uvažuji jako pochozí šířku a římsy.

tloušťka pochozí vrstvy... $t=0,008m$

objemová tíha poch. vrstvy.... $\gamma_v = 22 \text{ kN/m}^3$

$$\text{šířka ... } b = 2,5 + (2 \cdot 0,25) = 3,0 \text{ m}$$

$$f_{pv} = 0,008 \cdot 22 \cdot 3,0 = 0,528 \text{ kN/m}$$

Ostatní stálé zatížení celkem

$$(f - f_0) = 2 \cdot 0,5 + 0,528 = 1,528 = \sim 1,53 \text{ kN/m}$$

4.2.2 Proměnná zatížení

LM4 (Load Model 4) - zatížení davem lidí

Doporučená hodnota rovnoměrného zatížení... $q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$

zatěžovací šířka... $b = 2,5 \text{ m}$

$$f_{LM4} = 5,0 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ kN/m}$$

Vodorovné podélné zatížení

Je součástí LM4 a působí v podélné ose lávky v úrovni povrchu mostovky. Jeho hodnota je 10% z hodnoty rovnoměrného zatížení.

$$f_{pod,LM4} = 5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ kN/m}$$

Zatížení teplotou

Maximální teplota

$$T_{\min} = 36,1^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = 38,0^\circ\text{C}$$

Minimální teplota

$$T_{\min} = -32,0^\circ\text{C}$$

$$T_{\max} = -30,1^\circ\text{C}$$

Teplota při zabudování konstrukce

$$T_0 = 15^\circ\text{C}$$

Maximální složka

$$T_{e,max} = T_{max} + 16^{\circ}C = 38,0 + 16,0 = 54,0^{\circ}C$$

Minimální složka

$$T_{e,min} = T_{min} - 3^{\circ}C = -32,0 - 3,0 = -35,0^{\circ}C$$

Maximální rozsah pro protažení

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 54 - 15 = 39^{\circ}C$$

Maximální rozsah pro zkrácení

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 15 - (-35) = 50^{\circ}C$$

4.3 Zatěžovací stavy

Ve výpočtu uvažuji 10 zatěžovacích stavů, znázorněných na Obr.X:

Zatěžovací stav 1

Vlastní tíha - je generována výpočetním programem a působí na celé konstrukci.

Zatěžovací stav 2

Ostatní stálé - uvažuji spojitě zatížení na celou délku mostovky v hodnotě 1,53kN/m.

Zatěžovací stav 3

LM4 - zatížení 12,5kN/m působící na celé délce mostovky.

Zatěžovací stav 4

LM4 - zatížení 12,5kN/m působící na levé části mostovky, která není spojená s obloukem.

Zatěžovací stav 5

LM4 - zatížení 12,5kN/m působící na střední části mostovky, která je spojená s obloukem.

Zatěžovací stav 6

LM4 - zatížení 12,5kN/m působící na pravé části mostovky, která není spojená s obloukem.

Zatěžovací stav 7

LM4 - zatížení 12,5kN/m působící na celé levé polovině mostovky.

Zatěžovací stav 8

LM4 - zatížení 12,5kN/m působící na celé pravé polovině mostovky.

Zatěžovací stav 9

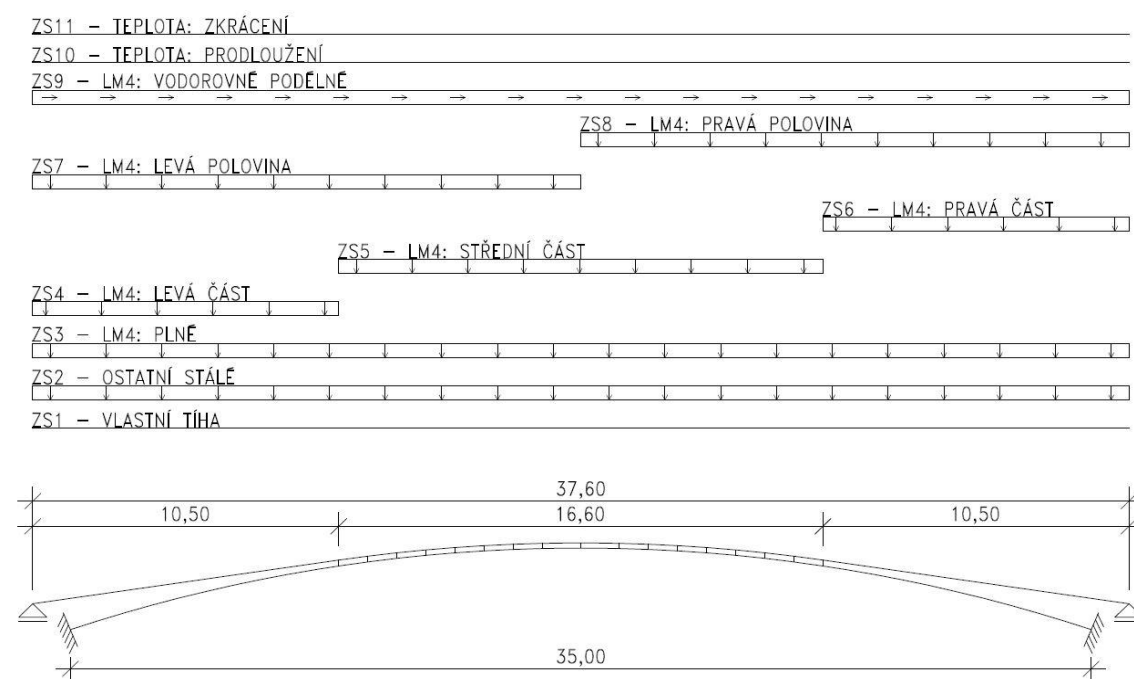
Zatížení vodorovnou podélnou silou - působí na celé mostovce v hodnotě 0,5kN/m.

Zatěžovací stav 10

Zatížení teplotou - rovnoměrné oteplení o 39°C působící na celé konstrukci.

Zatěžovací stav 11

Zatížení teplotou - rovnoměrné ochlazení o 50°C působící na celé konstrukci.



Obr. 20: Výpočetní schéma a zatěžovací stavy

Na Obr. 20 je vykreslena konstrukce s obloukem se vzepětím 2,90m. U ostatních konstrukcí s jiným vzepětím je geometrie výpočetního modelu lehce rozdílná - vodorovné

vzdálenosti (rozpětí oblouku a půdorysná délka mostovky) zůstávají stejné, ale mění se svislá vzdálenost mezi patou oblouku a uložením mostovky, stejně jako sklon mostovky.

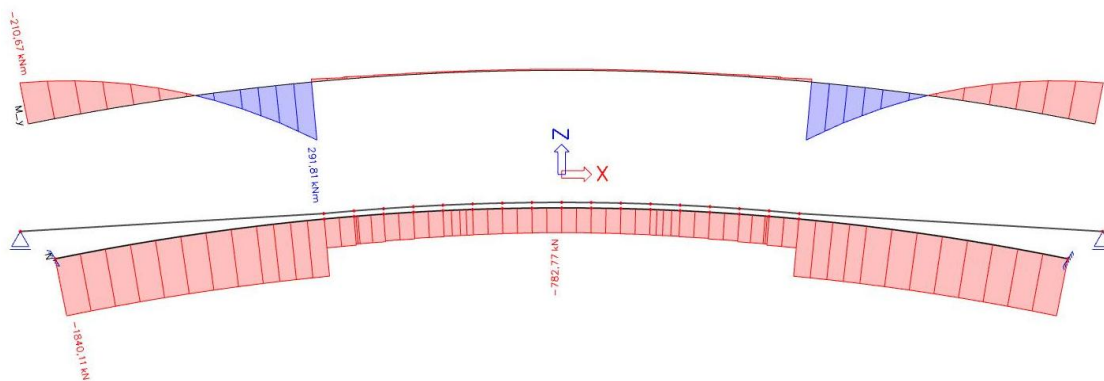
V tabulce 1 je přehled normálových sil, ohybových momentů a průhybů. Vypsané hodnoty jsou maximální. Průběhy vnitřních sil se liší mezi zatěžovacími stavy, ale mezi jednotlivými konstrukcemi jsou téměř stejné. Průběhy normálových sil jsou stejné pro všechny konstrukce, ale průběhy ohybových momentů u vetknutí se drobně liší - zatímco u konstrukce s velmi malým vzepětím ($f=175\text{m}$) způsobují symetrická silová zatížení ve vetknutí záporný moment, konstrukce s větším vzepětím ($f=7,0\text{m}$) má ve vetknutí nejdříve kladný moment. I přes tuto odlišnost mi výsledky poskytnou dostatečný přehled o tom, jaký vliv má vzepětí oblouku na vnitřní síly a můžu tedy vliv vzepětí zhodnotit na základě těchto hodnot.

Zatěžovací stav	Namáhání	Vzepětí f [m] (f/L)					
		1,75 (1/20)	2,35 (1/15)	2,90 (1/12)	3,50 (1/10)	5,0 (1/7)	7,0 (1/5)
Vlastní tíha	N [kN]	-1 840,1	-1 587,5	-1 228,6	-1 152,9	-881,8	-713,5
	M _{min} [kNm]	-210,7	-122,2	-98,0	-73,1	-62,2	-73,5
	M _{max} [kNm]	291,8	266,6	240,3	228,8	204,4	186,3
	w [mm]	9,9	7,7	5,5	4,8	3,4	2,4
Ostatní stálé	N [kN]	-127,6	-100,7	-84,3	-72,4	-54,4	-42,7
	M _{min} [kNm]	-11,7	-8,5	-7,8	-7,1	-6,9	-8,1
	M _{max} [kNm]	27,5	25,3	23,9	22,7	21,0	19,8
	w [mm]	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2
LM4 plné	N [kN]	-1 042,6	-823,1	-689,8	-591,4	-444,3	-348,8
	M _{min} [kNm]	-95,4	-69,8	-63,6	-57,7	-56,2	-66,5
	M _{max} [kNm]	224,8	206,4	195,2	185,7	171,7	161,5
	w [mm]	5,9	4,5	3,4	3,0	2,2	1,7
LM4 levá část	N [kN]	-273,4	-283,3	-255,3	-269,0	-271,3	-278,2
	M _{min} [kNm]	-219,3	-199,6	-209,9	-189,5	-172,9	-152,9
	M _{max} [kNm]	235,1	236,4	234,0	231,9	227,3	222,2
	w [mm]	7,6	7,7	7,4	7,6	7,7	8,4
LM4 střední část	N [kN]	-736,9	-572,7	-487,5	-409,5	-299,1	-226,7
	M _{min} [kNm]	-49,7	-49,7	-52,9	-54,3	-58,8	-66,0
	M _{max} [kNm]	60,3	86,8	108,5	113,6	130,6	150,7
	w [mm]	5,8	4,9	4,1	3,9	3,9	4,5
LM4 pravá část	N [kN]	-273,4	-283,3	-255,2	-269,0	-271,3	-278,2
	M _{min} [kNm]	-219,3	-199,6	-209,9	-189,5	-172,9	-152,9
	M _{max} [kNm]	235,1	236,4	234,0	231,9	227,3	222,2
	w [mm]	7,6	7,7	7,4	7,6	7,7	8,4
LM4 levá polovina	N [kN]	-705,3	-678,7	-636,2	-614,8	-571,1	-429,5
	M _{min} [kNm]	-281,7	-240,2	-250,3	-216,9	-184,5	-149,2
	M _{max} [kNm]	311,6	310,4	299,7	300,6	296,8	293,9
	w [mm]	12,3	11,8	11,4	11,3	10,8	11,6
LM4 pravá polovina	N [kN]	-705,3	-678,7	-636,0	-614,8	-571,1	-429,5
	M _{min} [kNm]	-281,7	-240,2	-250,3	-216,9	-184,5	-149,2
	M _{max} [kNm]	311,6	310,4	299,7	300,6	296,8	293,9
	w [mm]	12,3	11,8	11,4	11,3	10,8	11,6
LM4 vodorovné podélné	N [kN]	-9,4	-12,4	-10,8	-13,8	-17,1	-21,0
	M _{min} [kNm]	-3,2	-4,4	-4,8	-6,0	-9,5	-14,8
	M _{max} [kNm]	3,2	4,4	4,8	6,0	-0,5	14,8
	w [mm]	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5
Teplota oteplení	N [kN]	-1 381,8	-1 074,7	-809,8	-720,3	-566,6	-432,0
	M _{min} [kNm]	-116,8	-406,5	-75,0	-77,9	-69,2	-57,3
	M _{max} [kNm]	604,1	430,3	384,4	298,3	216,2	154,2
	w [mm]	-57,0	-44,4	-37,5	-31,6	-23,4	-18,0
Teplota ochlazení	N [kN]	1 771,6	1 377,8	1 038,2	923,5	726,4	553,9
	M _{min} [kNm]	-774,5	-551,6	-492,9	-382,4	-277,1	-197,6
	M _{max} [kNm]	149,8	136,6	96,1	99,8	86,7	73,5
	w [mm]	73,1	56,9	48,1	40,5	30,0	23,1

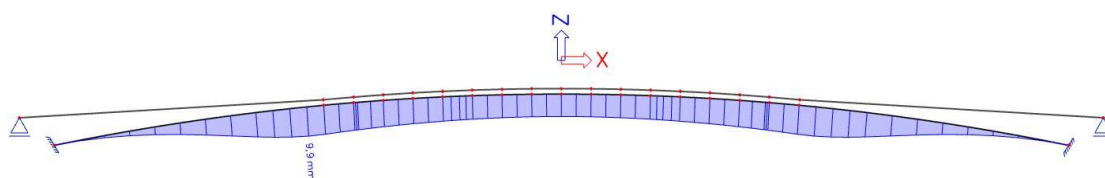
Tab. 1 Přehled ohybových momentů a normálových sil

4.4 Grafické průběhy vnitřních sil

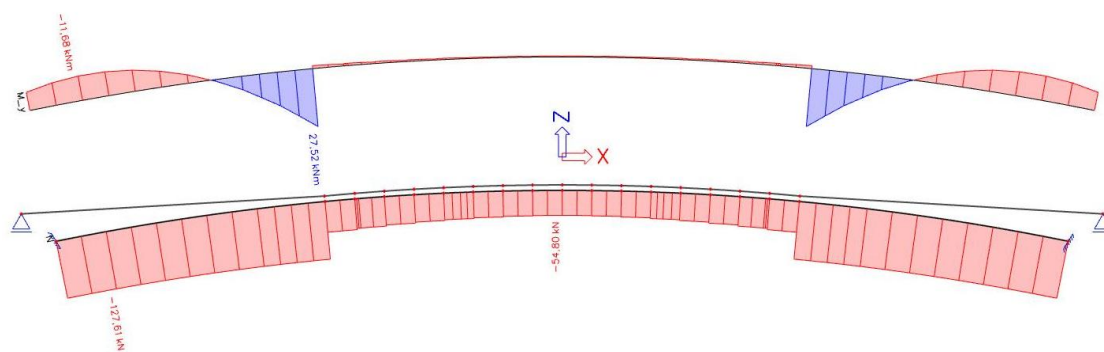
4.4.1 Varianta 1 - oblouk se vzepětím $f=1,75\text{m}$



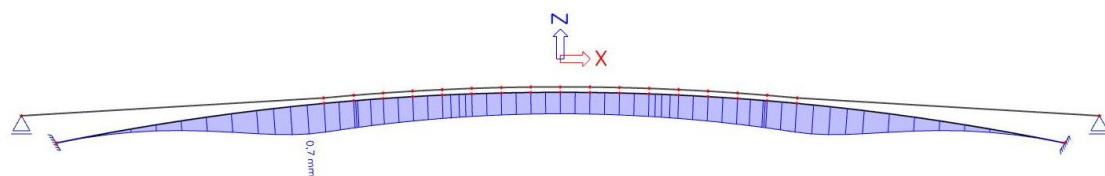
Obr. 21: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla



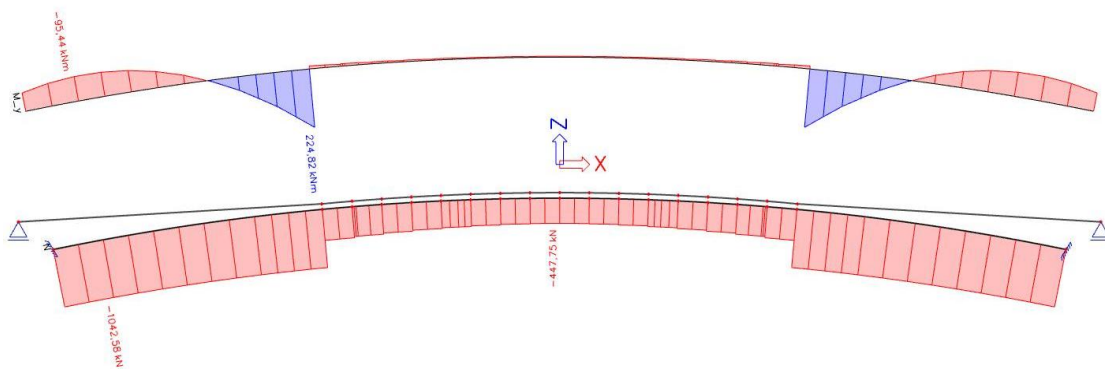
Obr. 22: Vlastní tíha - průhyb



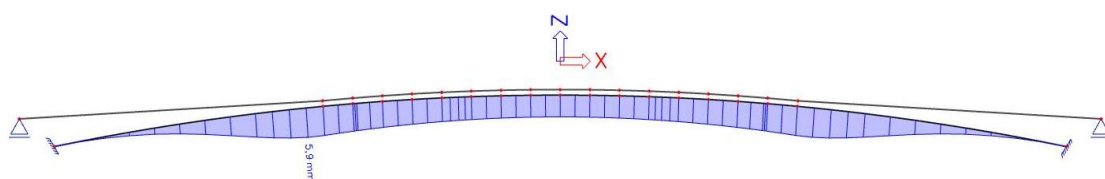
Obr. 23: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla



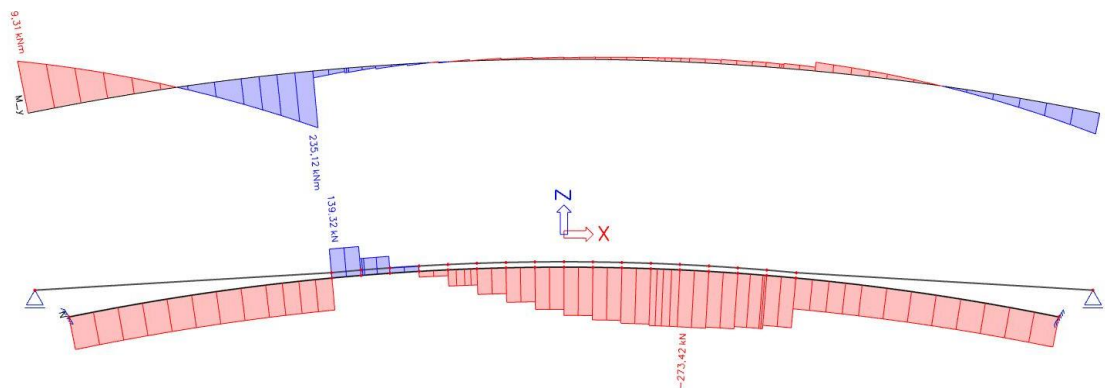
Obr. 24: Ostatní stálé - průhyb



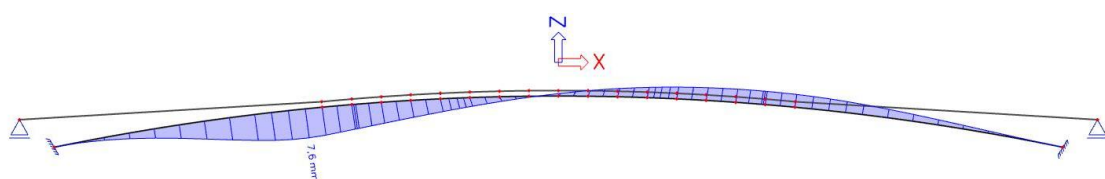
Obr. 25: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla



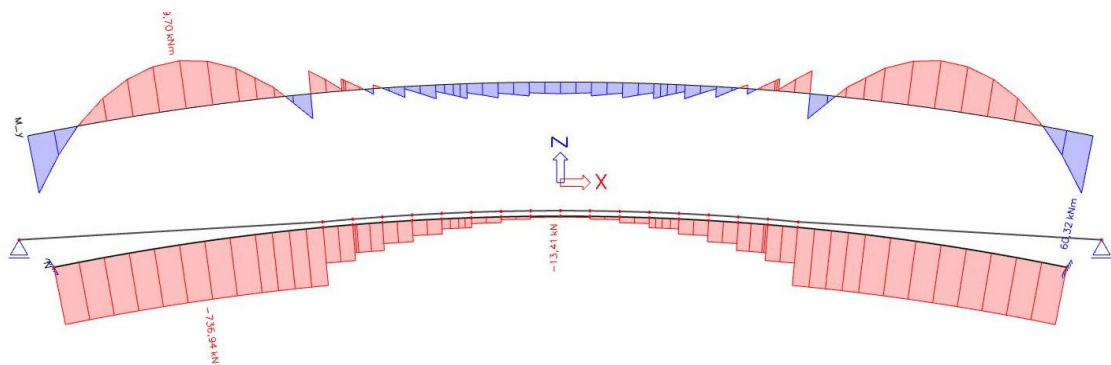
Obr. 26: LM4 plné - průhyb



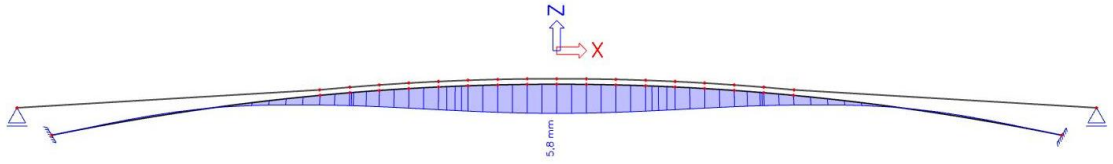
Obr. 27: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla



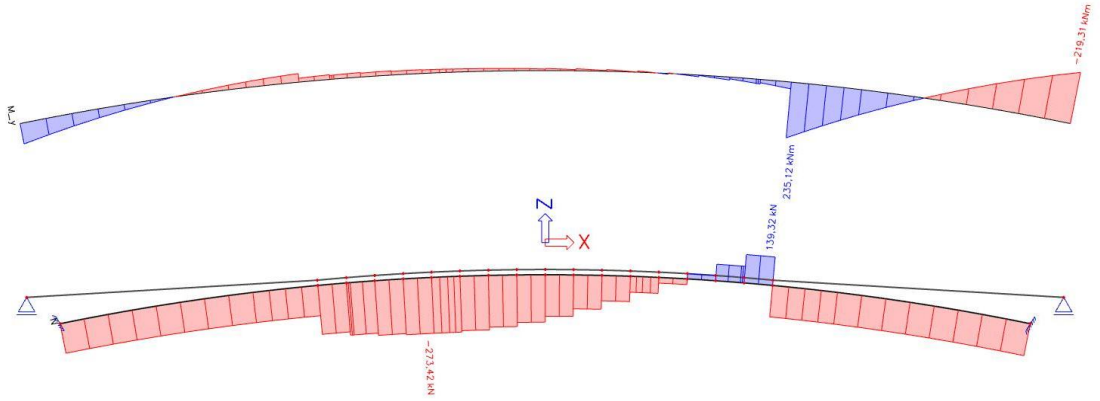
Obr. 28: LM4 levá část - průhyb



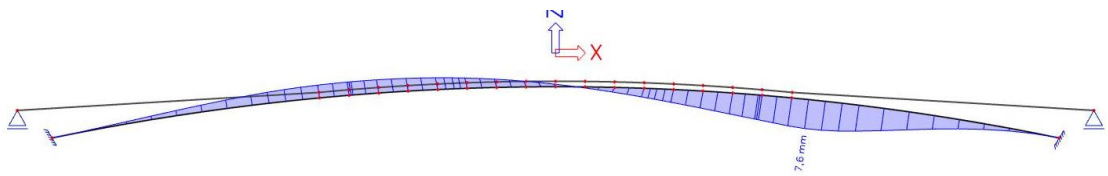
Obr. 29: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla



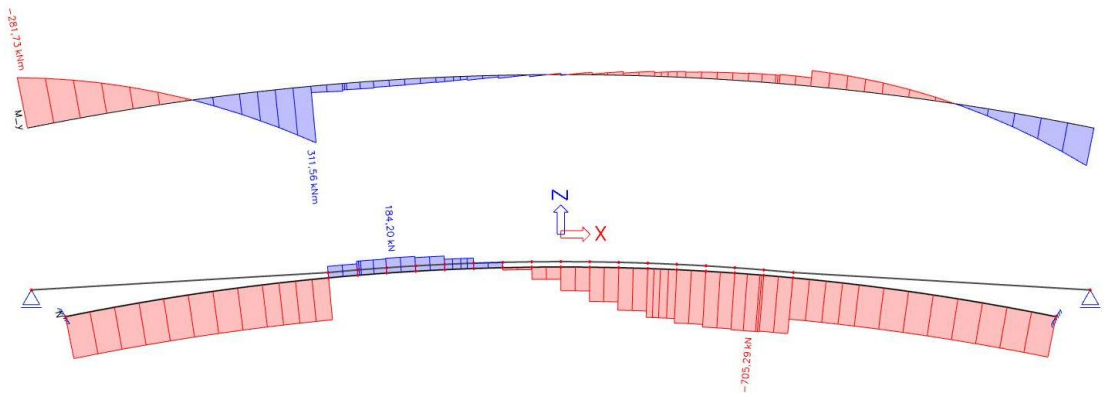
Obr. 30: LM4 střední část - průhyb



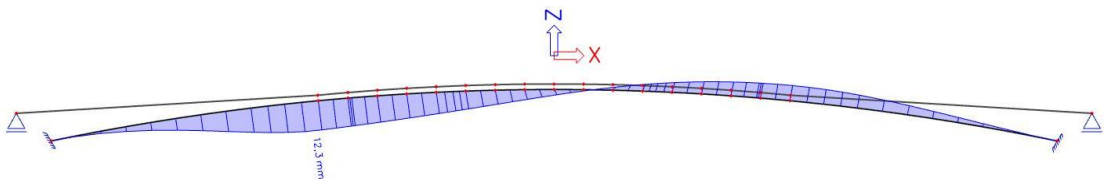
Obr. 31: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla



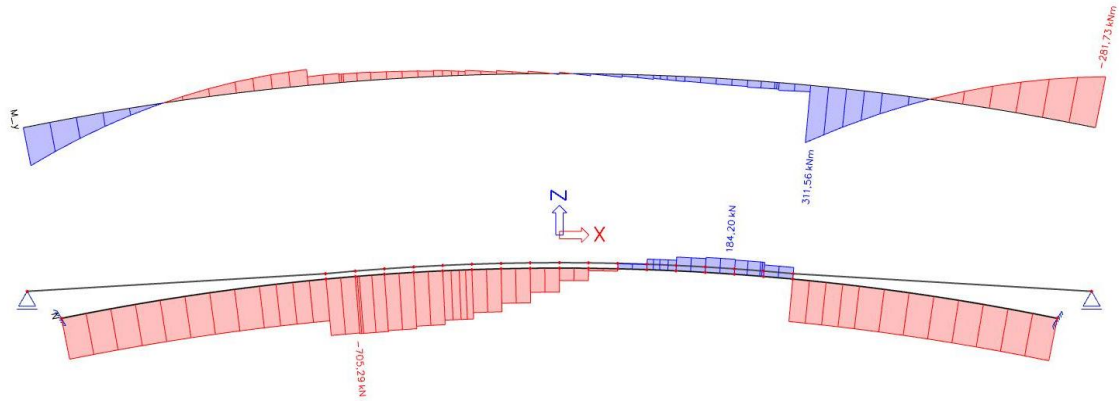
Obr. 32: LM4 pravá část - průhyb



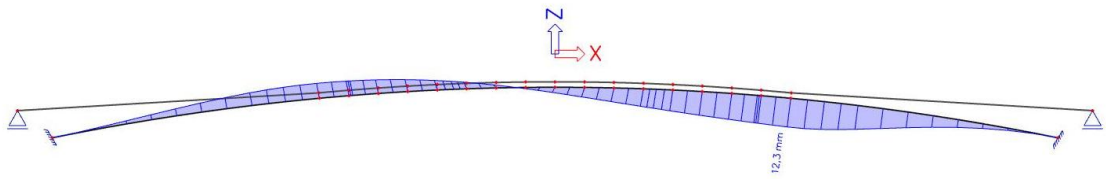
Obr.33: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla



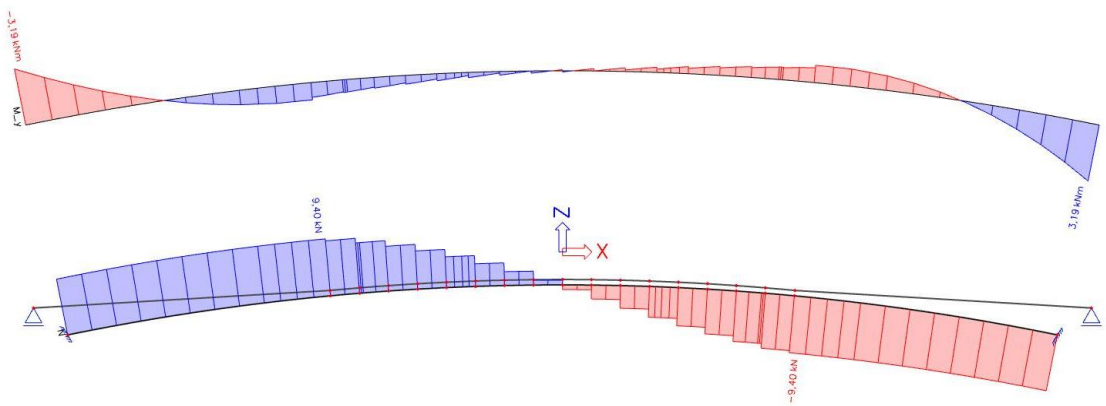
Obr. 34: LM4 levá polovina - průhyb



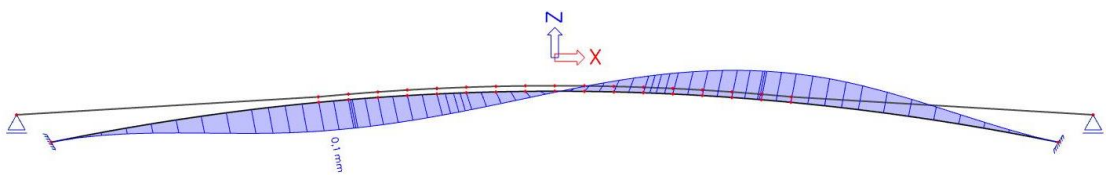
Obr. 35: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla



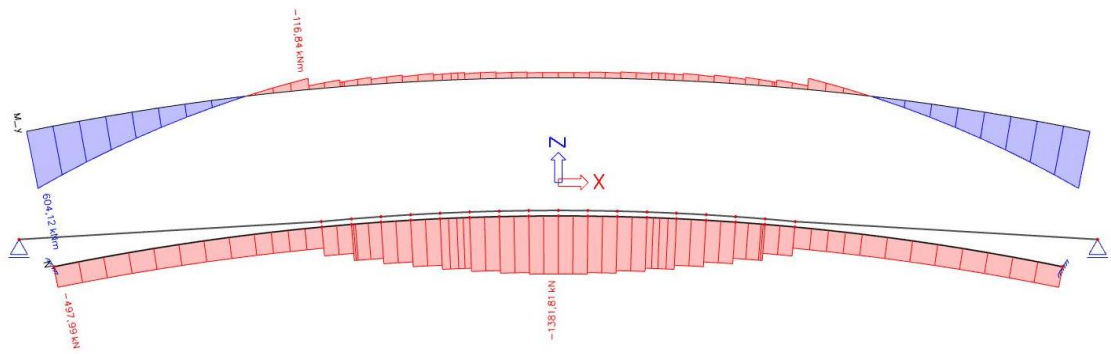
Obr.36: LM4 pravá polovina - průhyb



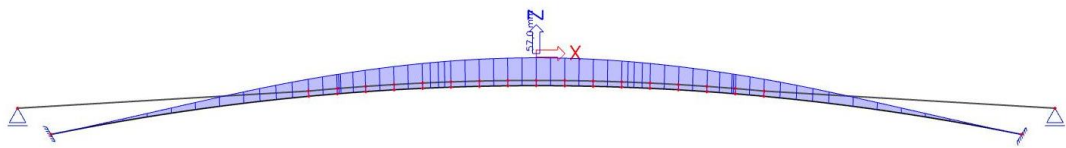
Obr. 37: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla



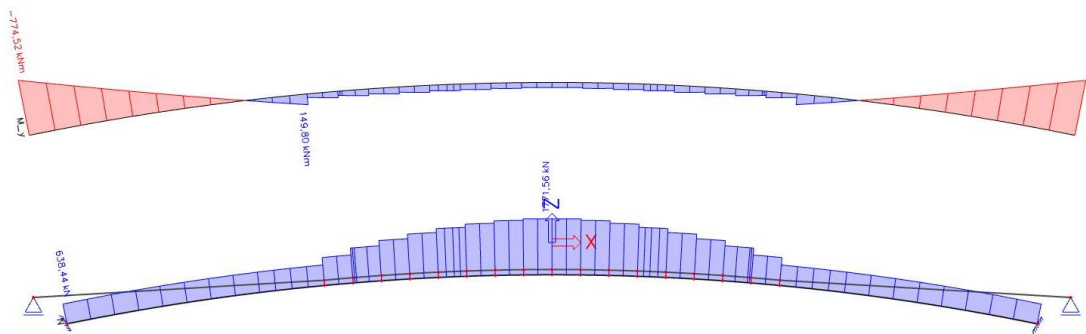
Obr.38: LM4 vodorovné podélné - průhyb



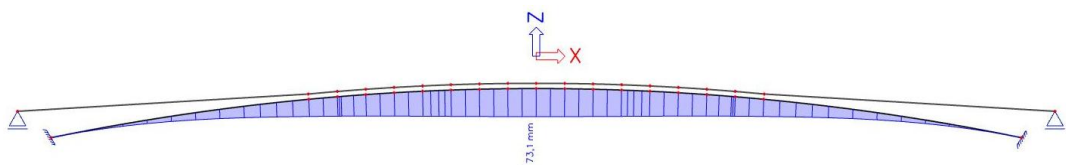
Obr.39: Teplota - oteplení - Ohybový moment + normálová síla



Obr. 40: Teplota - oteplení - průhyb

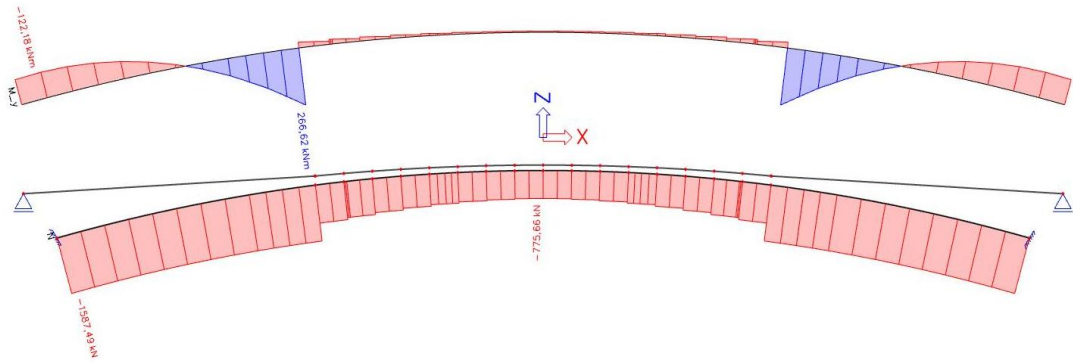


Obr.41: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla

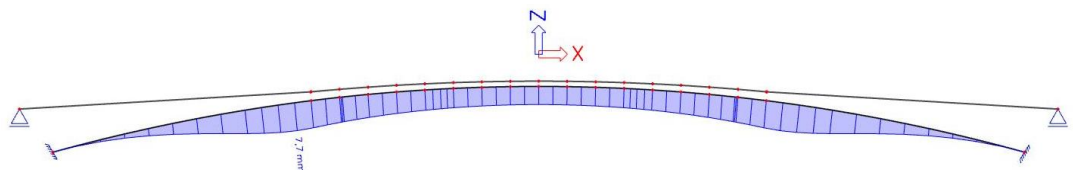


Obr.42: Teplota - ochlazení - průhyb

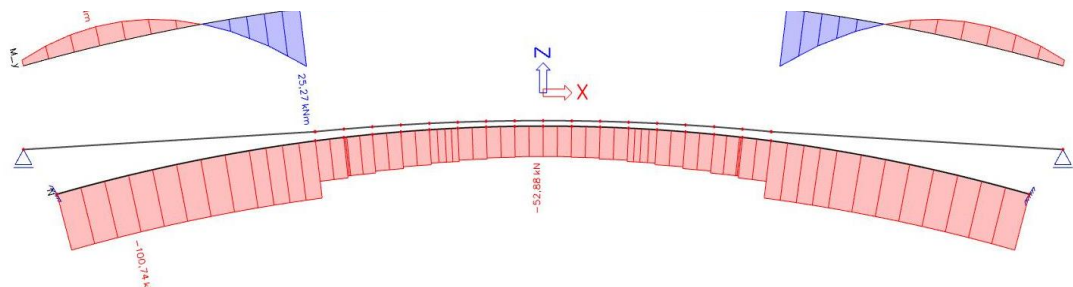
4.4.2 Varianta 2 - oblouk se vzepětím $f=2,35\text{m}$



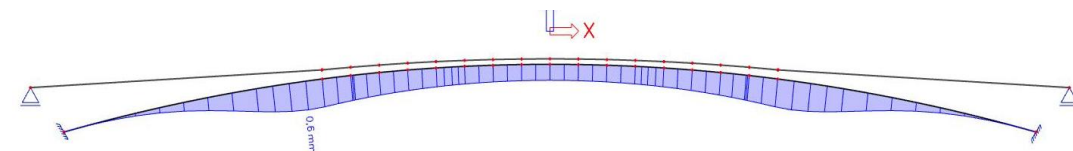
Obr. 43: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla



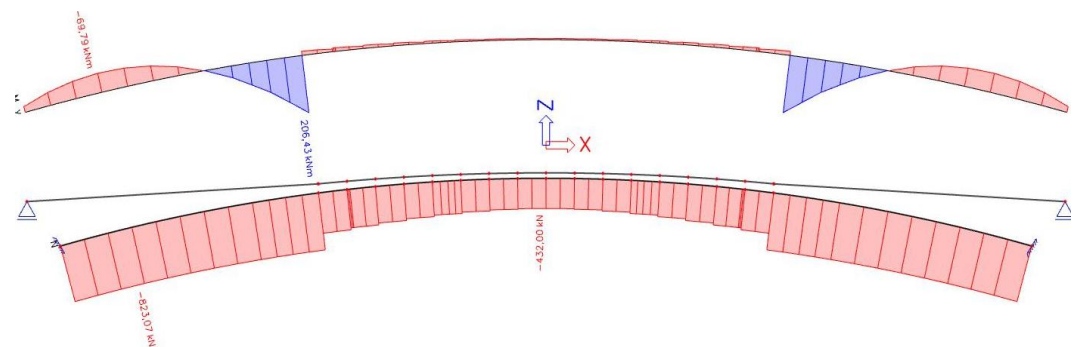
Obr. 44: Vlastní tíha - průhyb



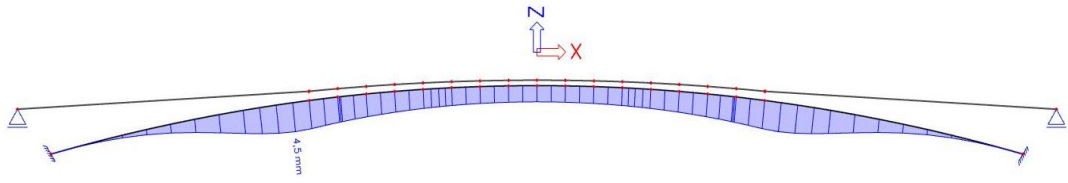
Obr. 45: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla



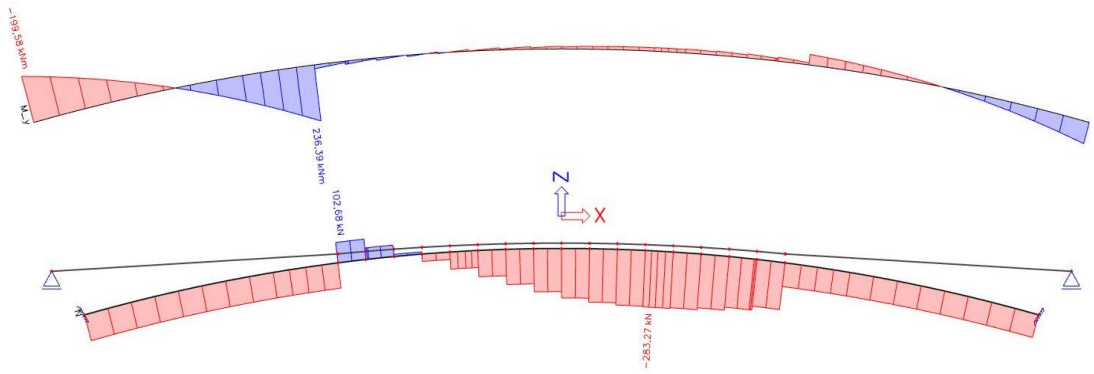
Obr. 46: Ostatní stálé - průhyb



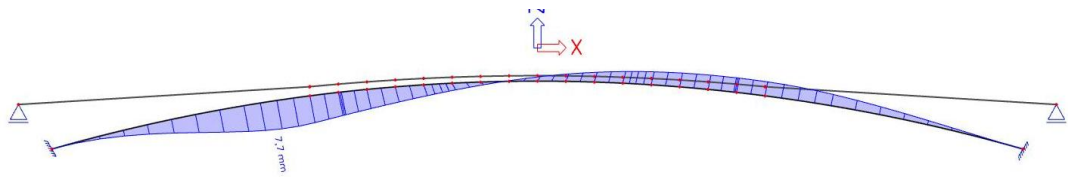
Obr. 47: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla



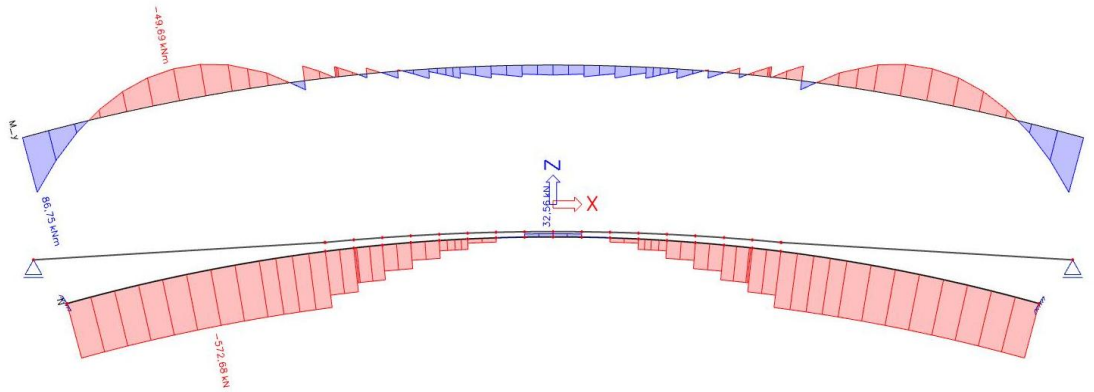
Obr. 48: LM4 plně - průhyb



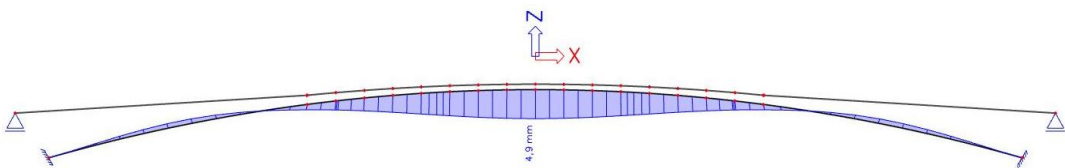
Obr. 49: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla



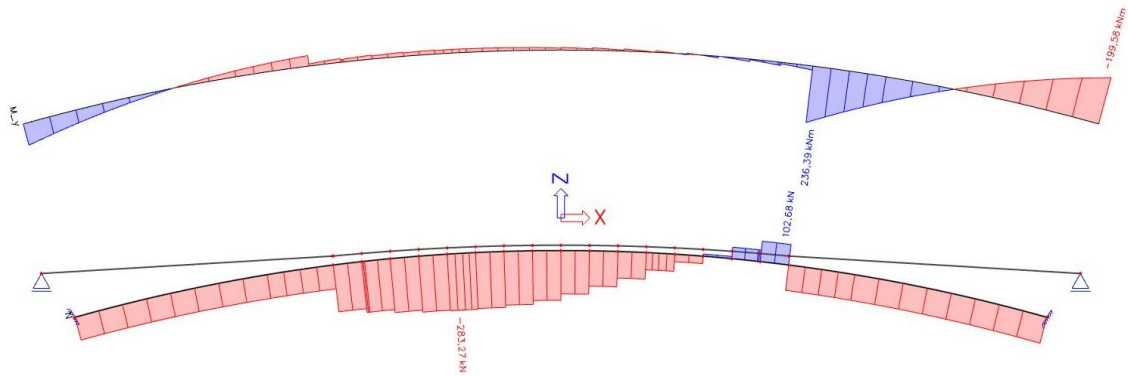
Obr.50: LM4 levá část - průhyb



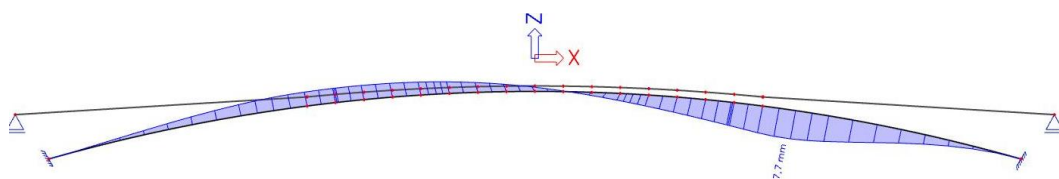
Obr. 51: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla



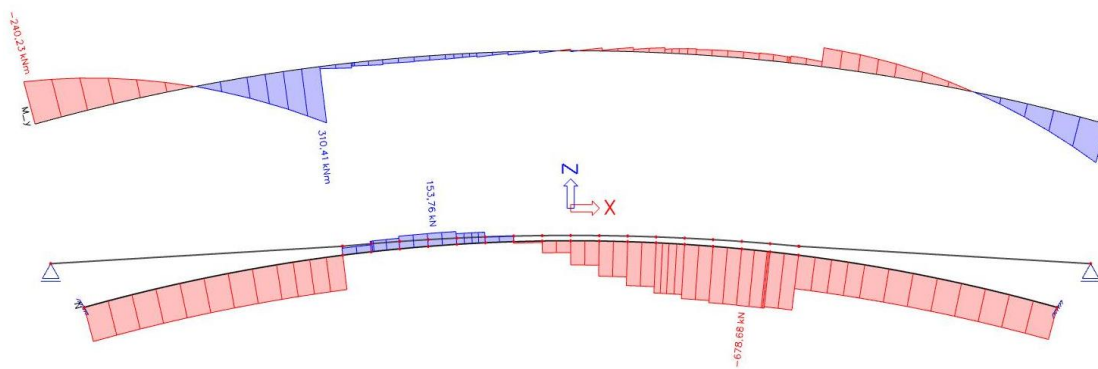
Obr. 52: LM4 střední část - průhyb



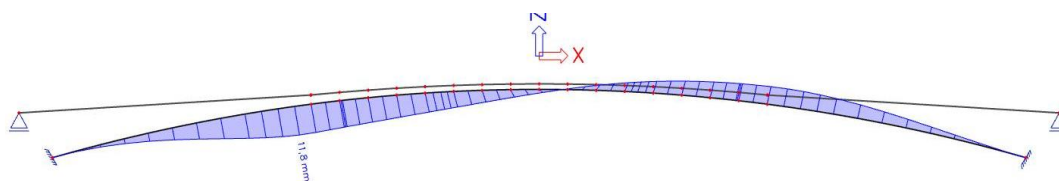
Obr. 53: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla



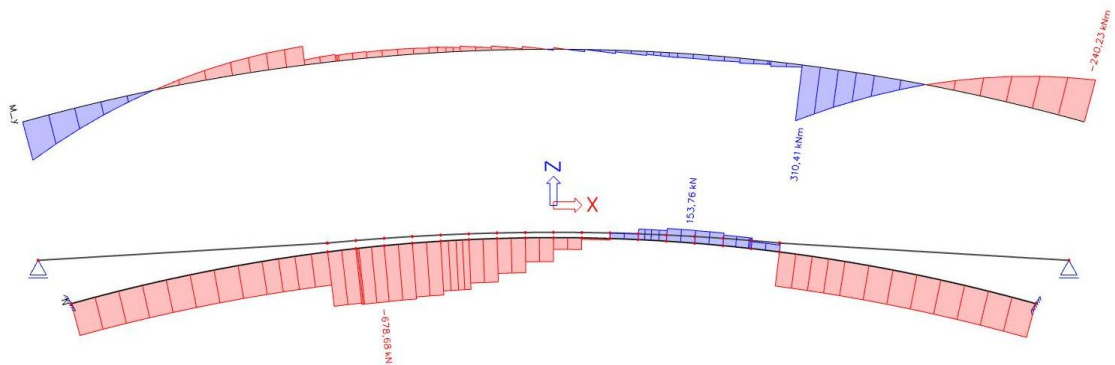
Obr. 54: LM4 pravá část - průhyb



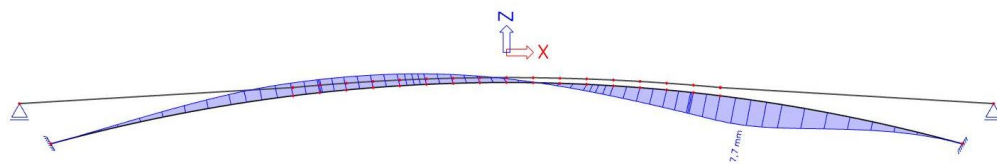
Obr. 55: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla



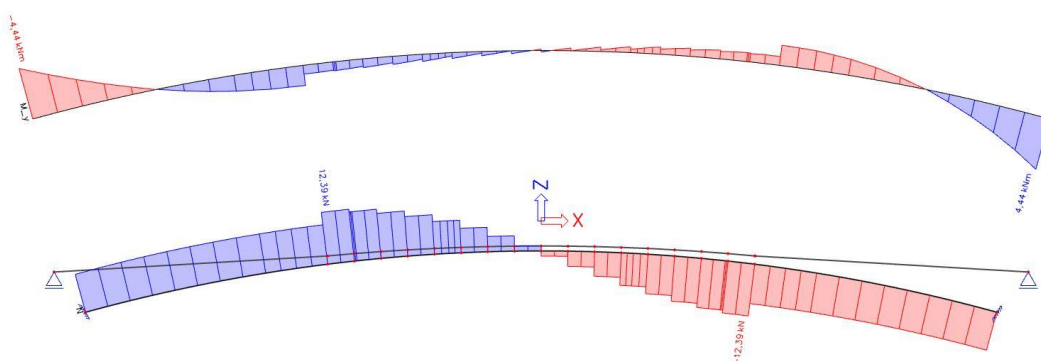
Obr. 56: LM4 levá polovina - průhyb



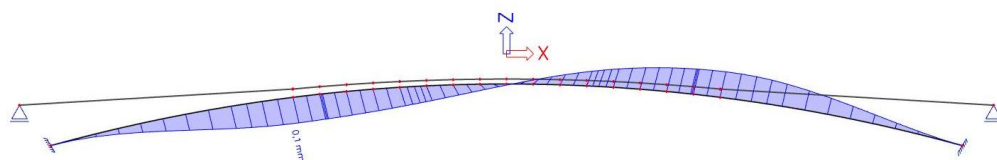
Obr. 57: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla



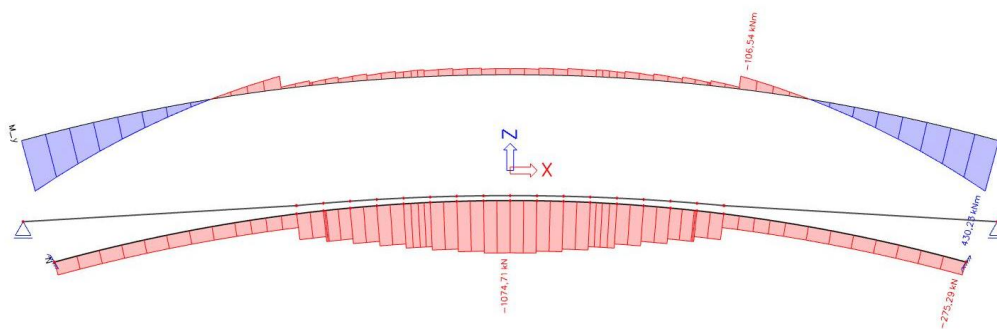
Obr. 58: LM4 pravá polovina - průhyb



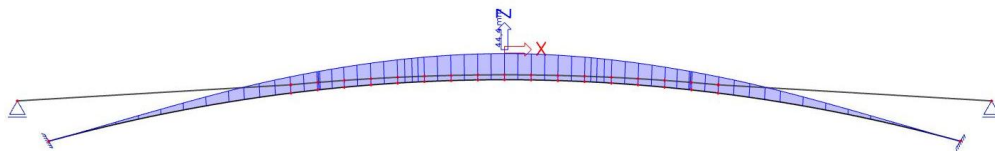
Obr. 59: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla



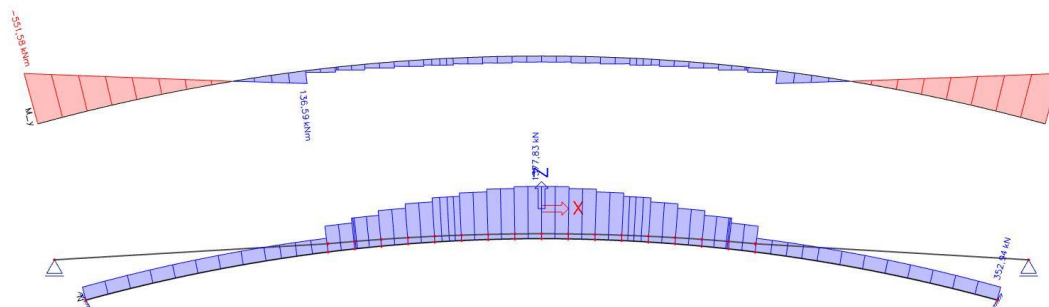
Obr. 60: LM4 vodorovné podélné - průhyb3



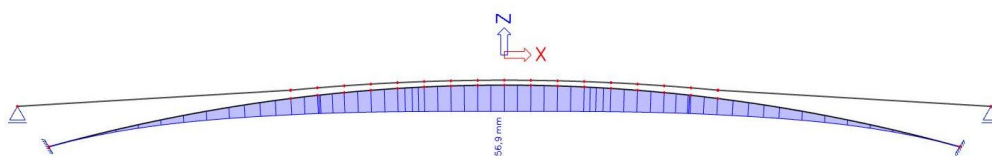
Obr. 61: Teplota - oteplení - Ohybový moment + normálová síla



Obr. 62: Teplota - oteplení - průhyb

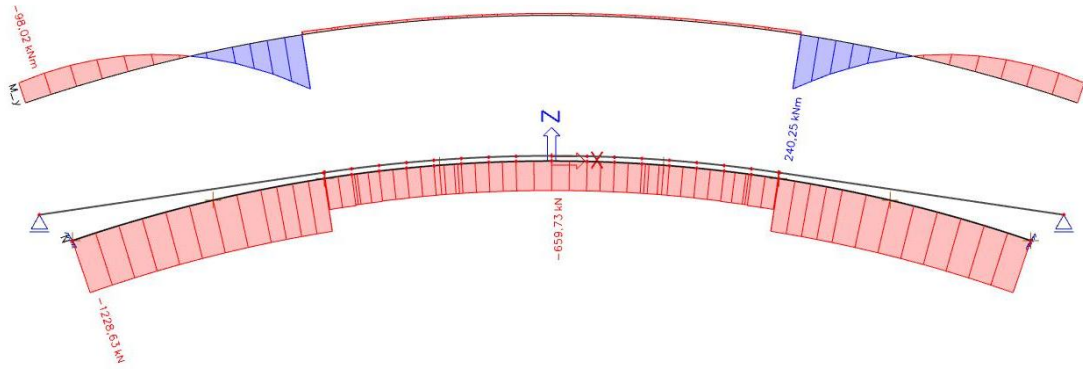


Obr. 63: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla

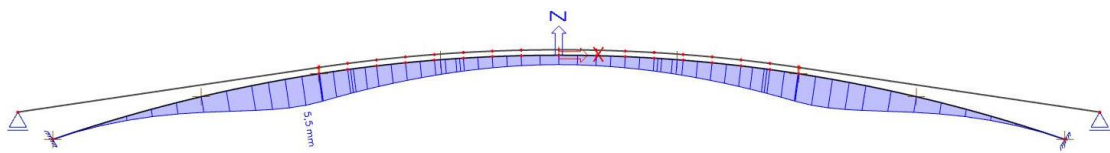


Obr. 64: Teplota - ochlazení - průhyb

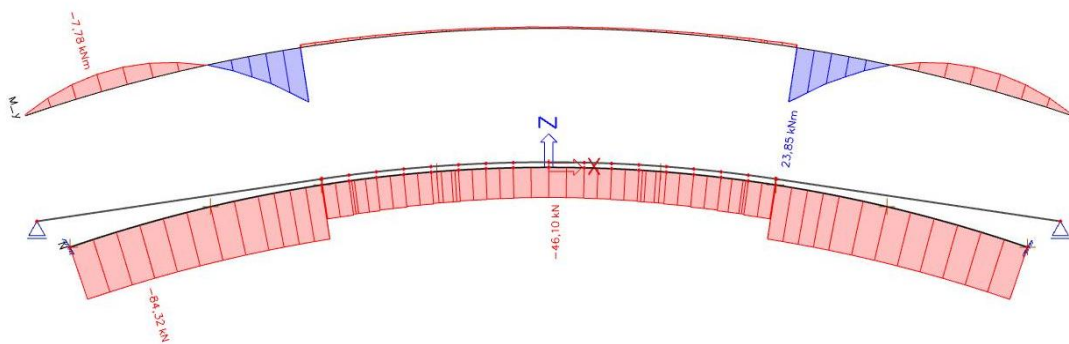
4.4.3 Varianta 3 - vzepětí oblouku 2,90m



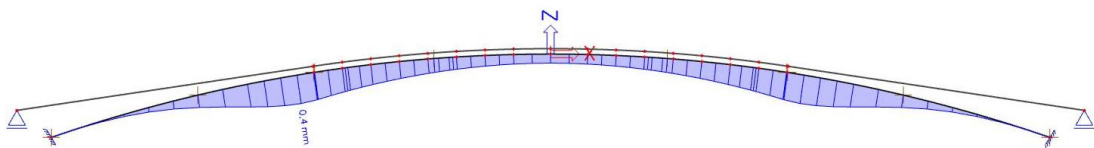
Obr. 65: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla



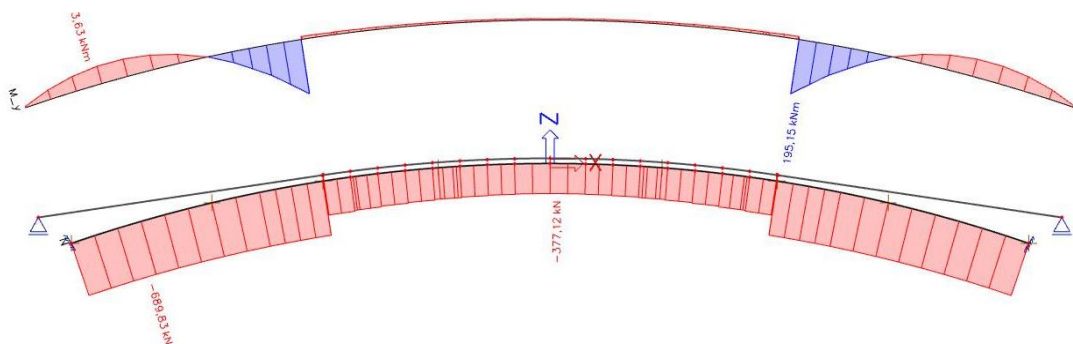
Obr. 66: Vlastní tíha - průhyb



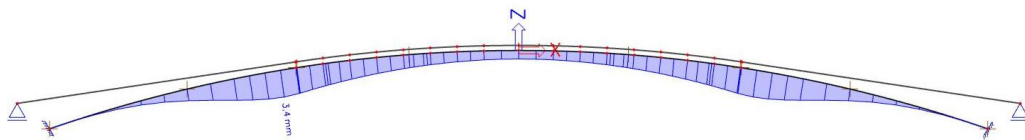
Obr.67: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla



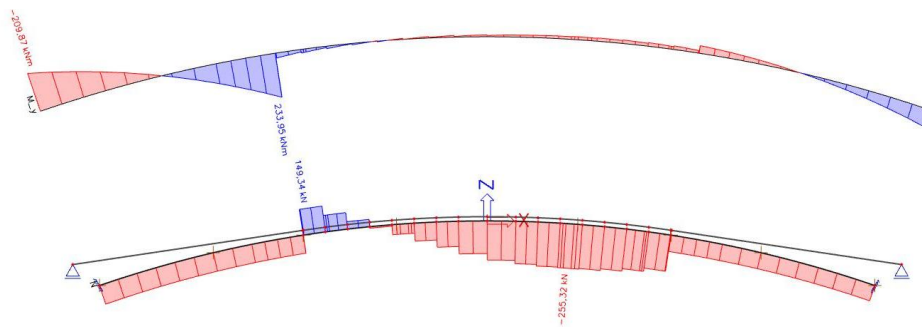
Obr.68:: Ostatní stálé - průhyb



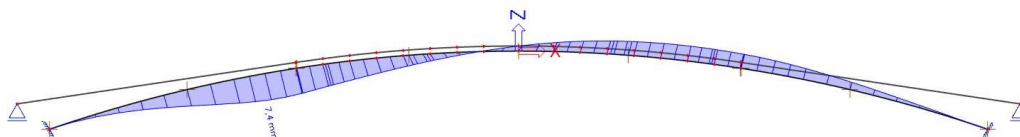
Obr.69: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla



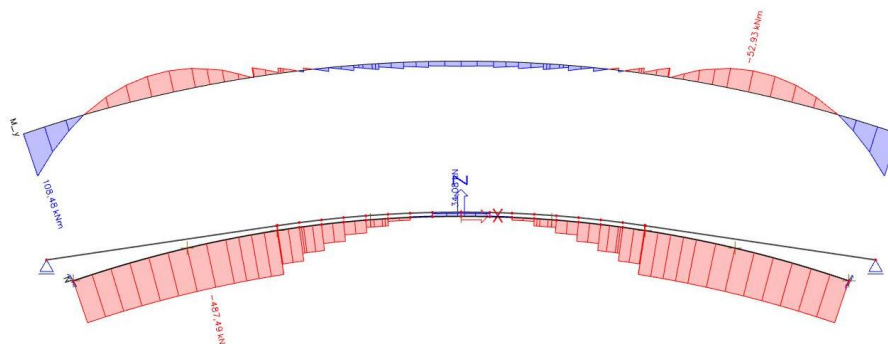
Obr.70: LM4 plné - průhyb



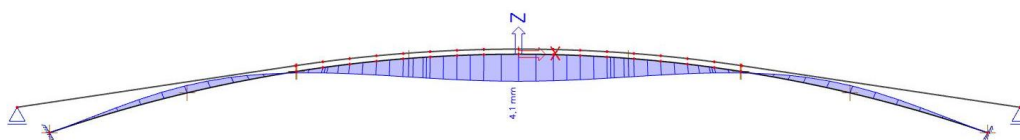
Obr. 71: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla



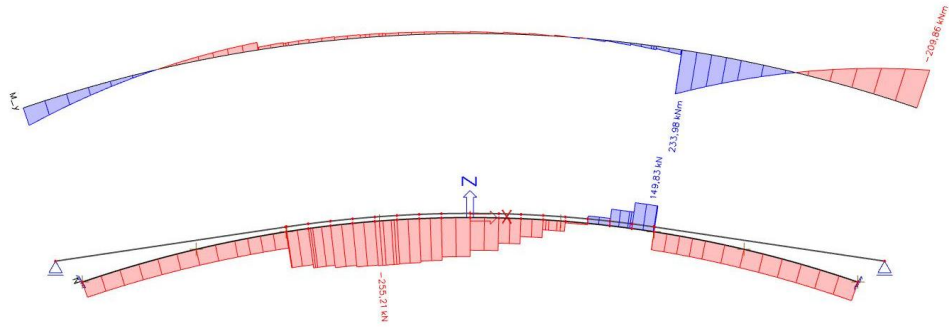
Obr. 72: LM4 levá část - průhyb



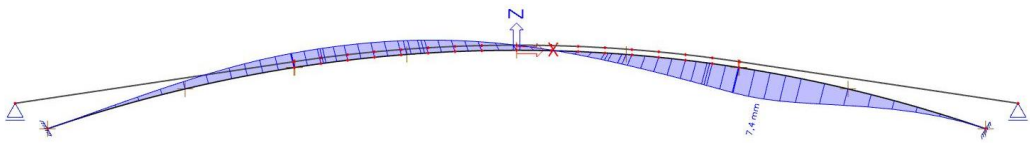
Obr. 73: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla



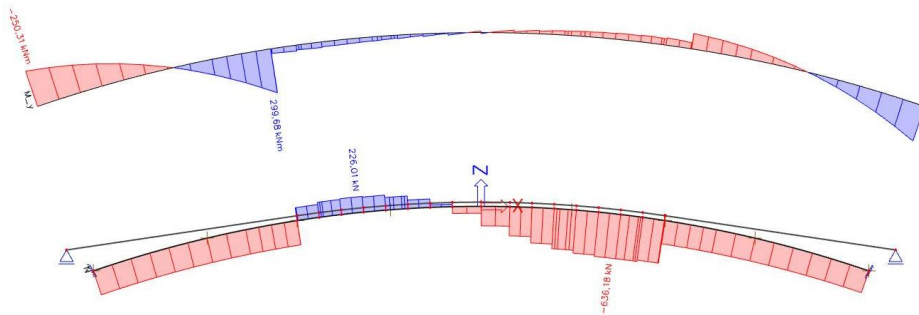
Obr. 74: LM4 střední část - průhyb



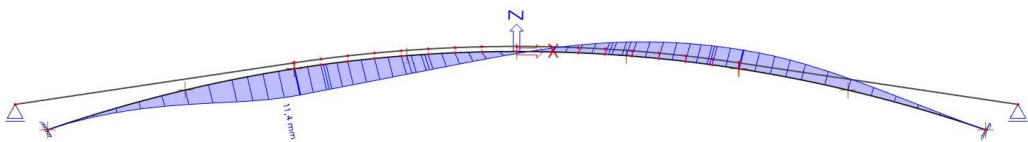
Obr. 75: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla



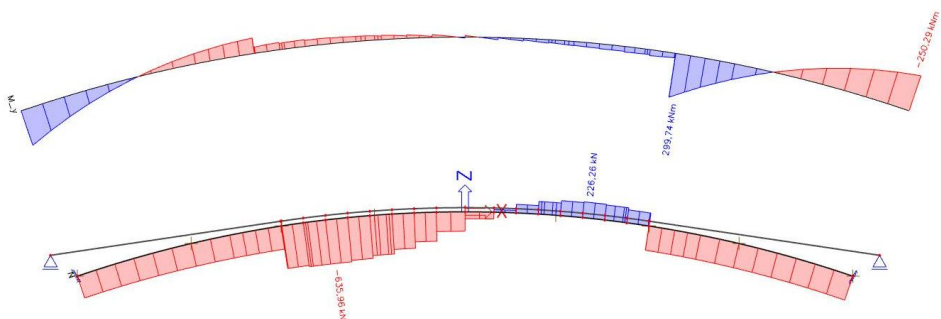
Obr.76: LM4 pravá část - průhyb



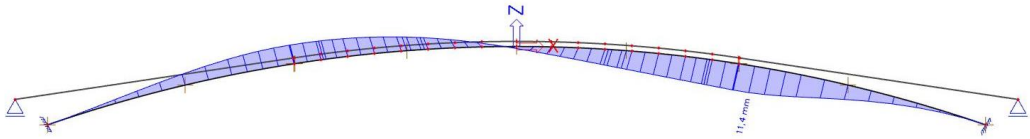
Obr. 77: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla



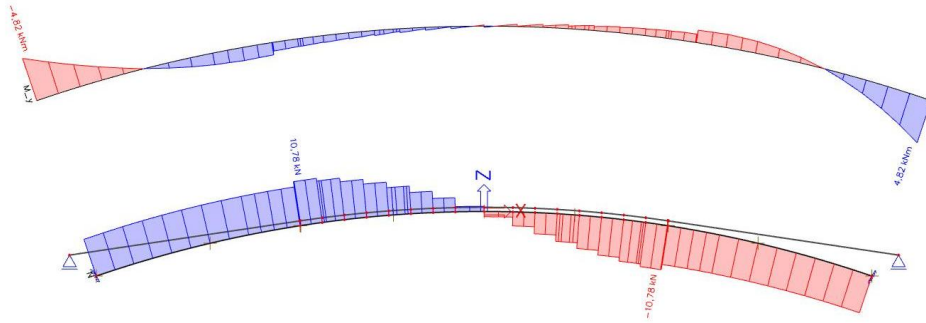
Obr.78: LM4 levá polovina - průhyb



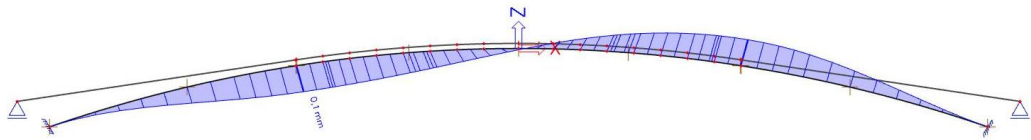
Obr. 79: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla



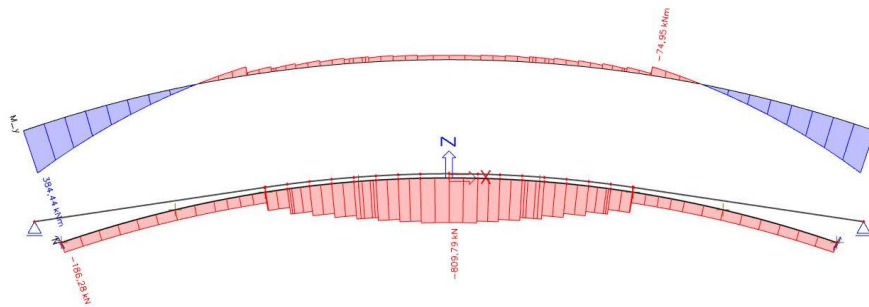
Obr. 80: LM4 pravá polovina - průhyb



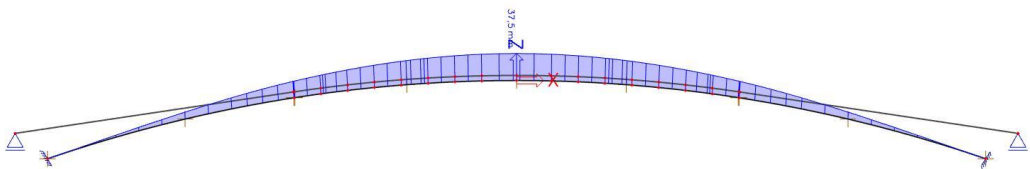
Obr. 81: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla



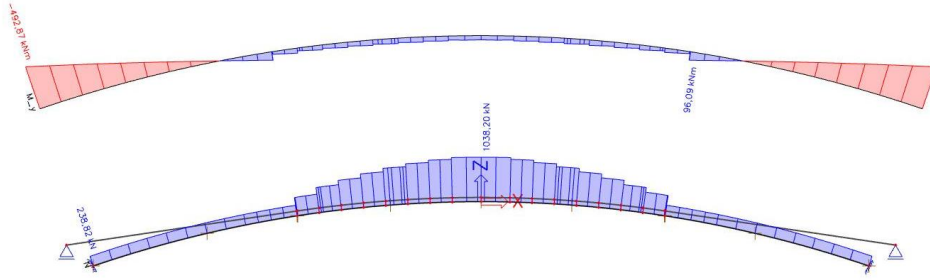
Obr. 82: LM4 vodorovné podélné - průhyb



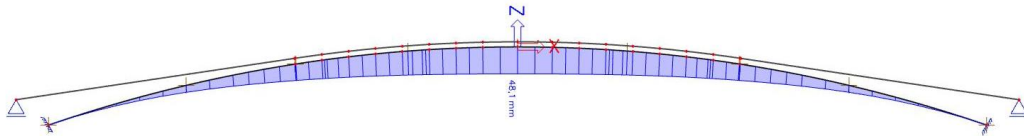
Obr. 83: Teplota - oteplení - Ohybový moment + normálová síla



Obr.84: Teplota - oteplení - průhyb

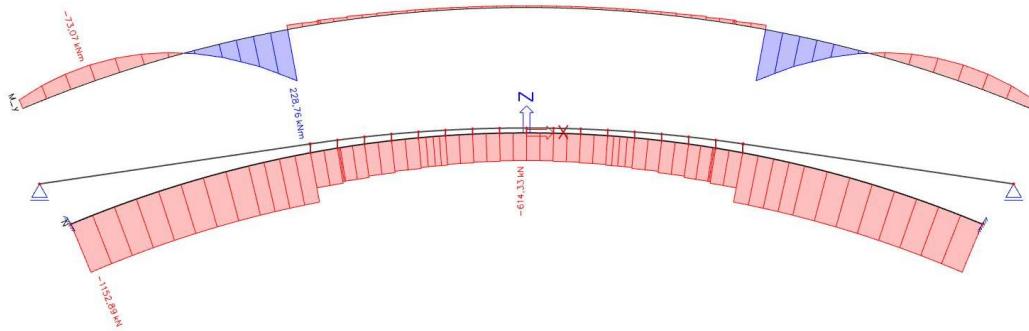


Obr. 85: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla

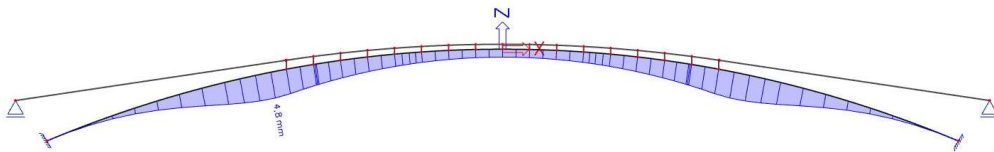


Obr. 86: Teplota - ochlazení - průhyb

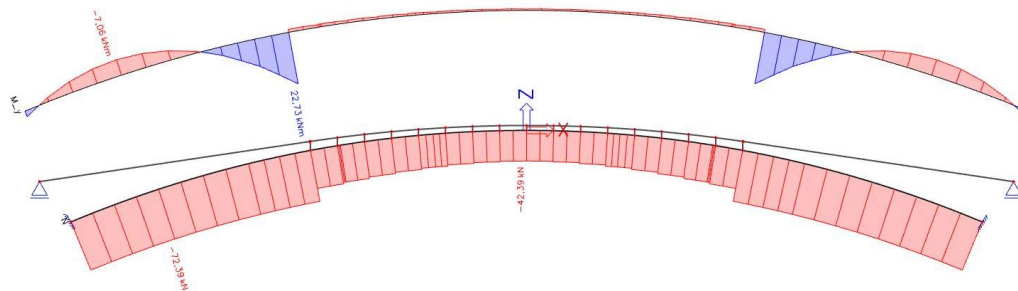
4.4.4 Varianta 4 - oblouk se vzepětím 3,5m



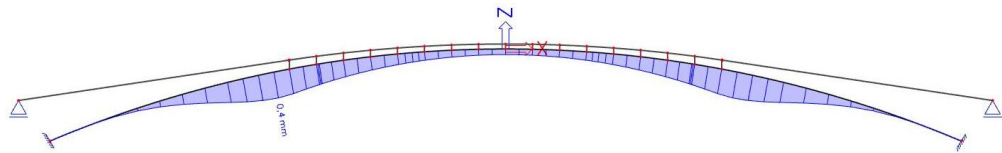
Obr. 87: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla



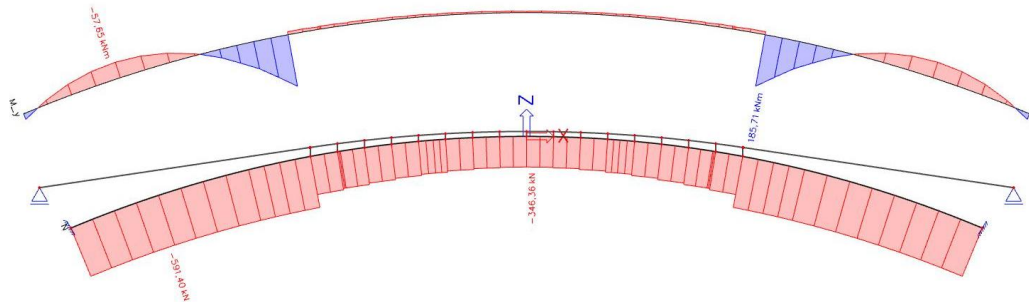
Obr. 88: Vlastní tíha - průhyb



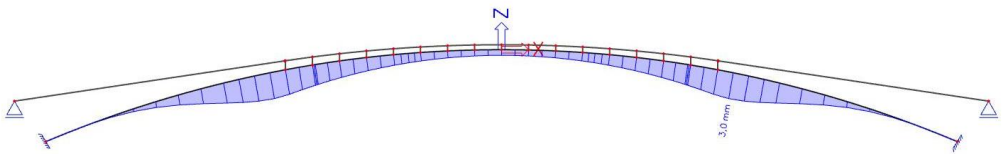
Obr. 89: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla



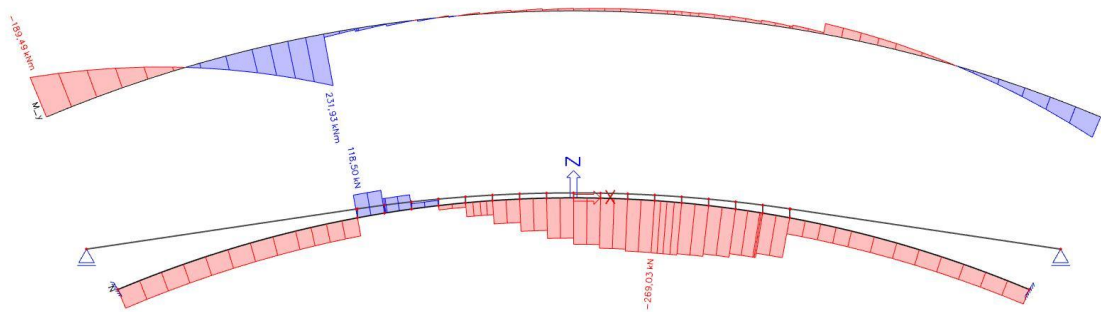
Obr. 90: Ostatní stálé - průhyb



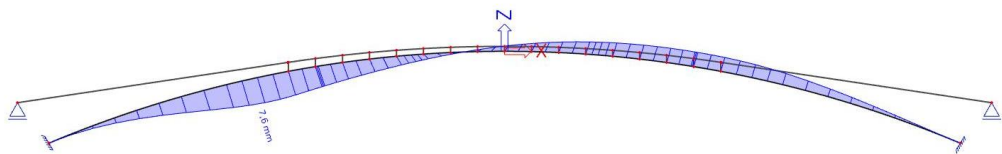
Obr. 91: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla



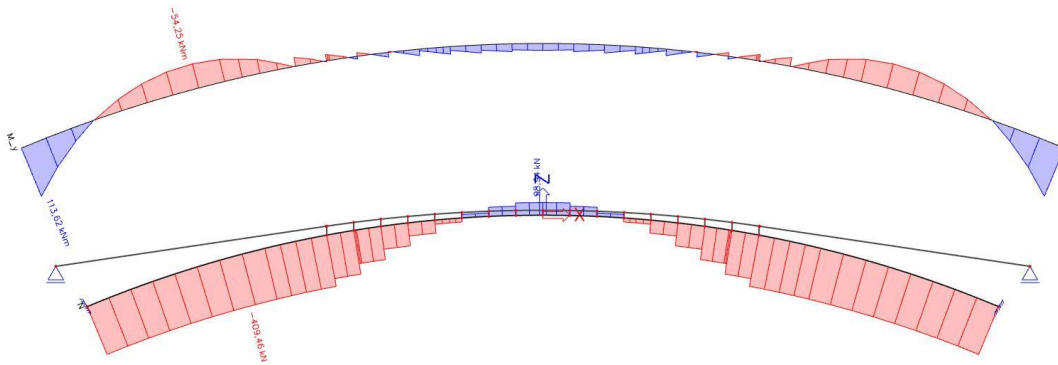
Obr. 92: LM4 plné - průhyb



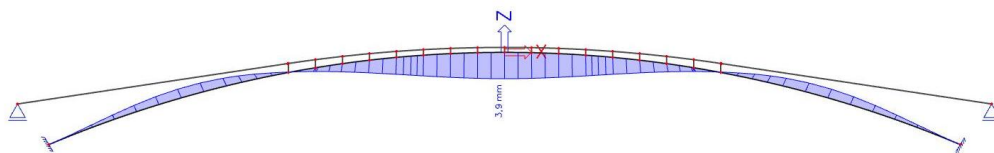
Obr. 93: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla



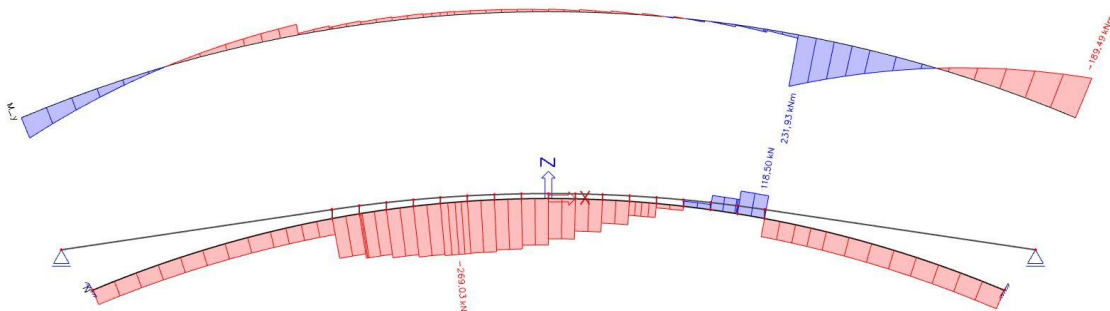
Obr. 94: LM4 levá část - průhyb



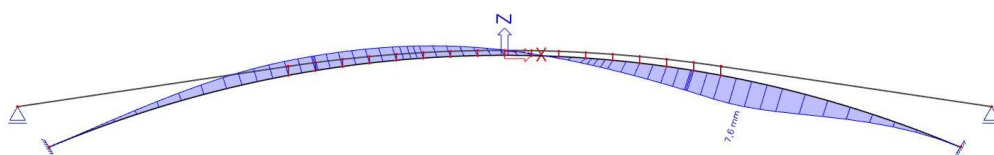
Obr. 95: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla



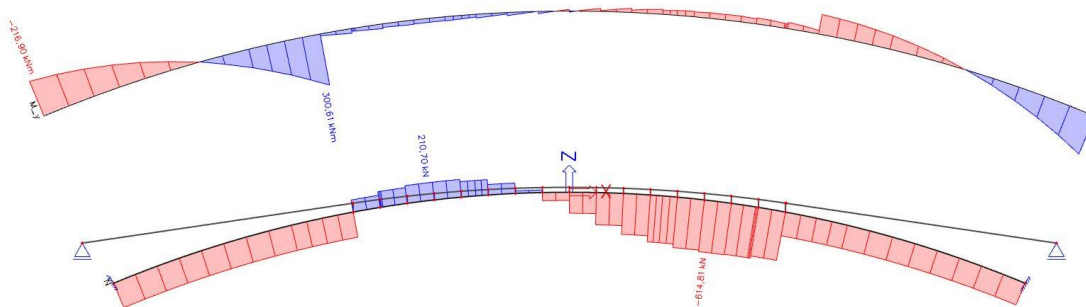
Obr. 96: LM4 střední část - průhyb



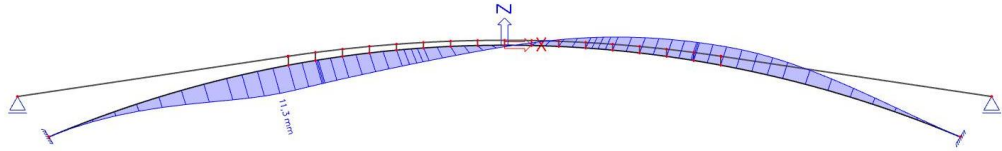
Obr.97: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla



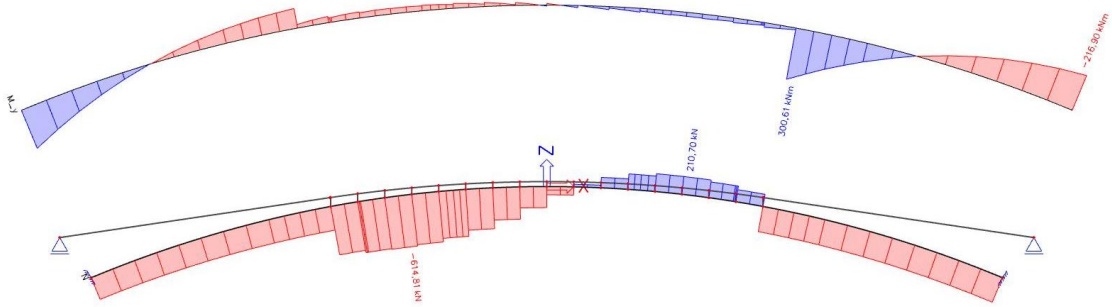
Obr.98: : LM4 pravá část - průhyb



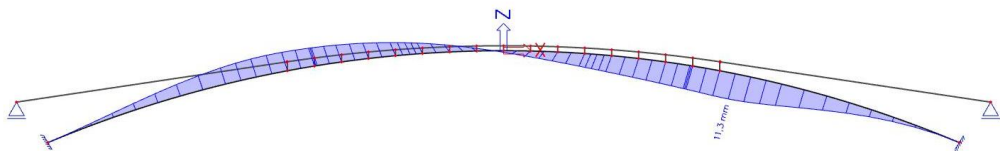
Obr. 99: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla



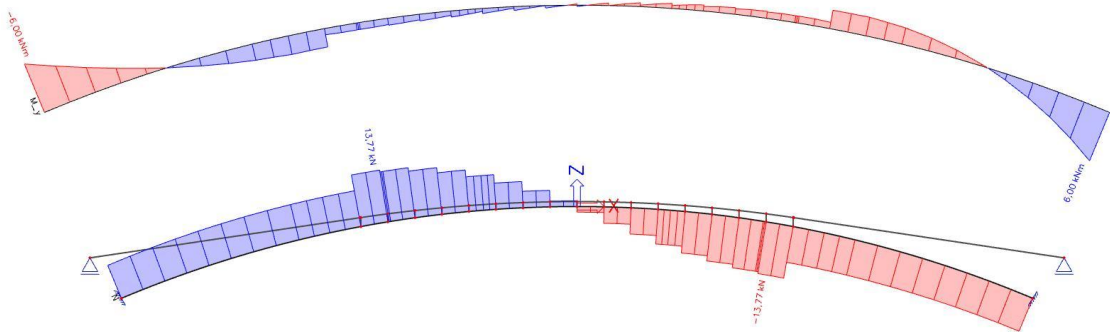
Obr. 100: LM4 levá polovina - průhyb



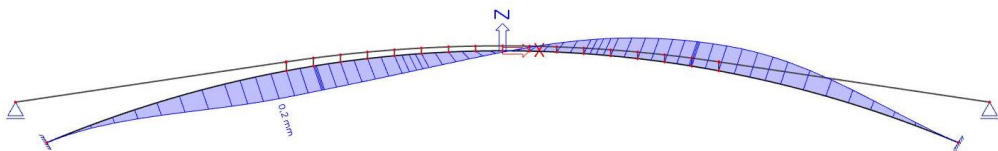
Obr. 101: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla



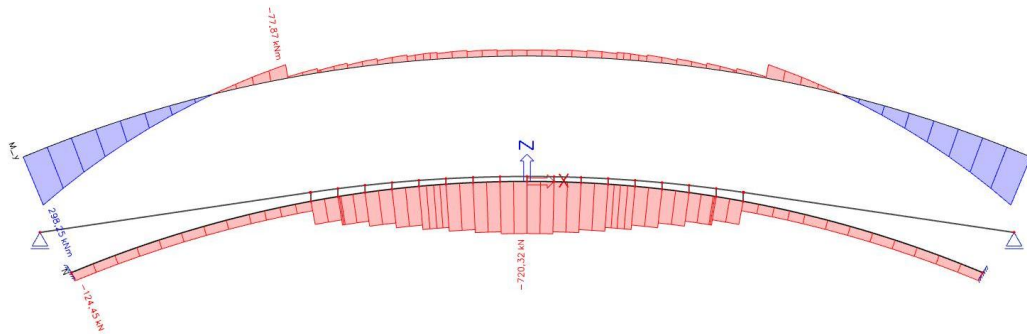
Obr. 102: LM4 pravá polovina - průhyb



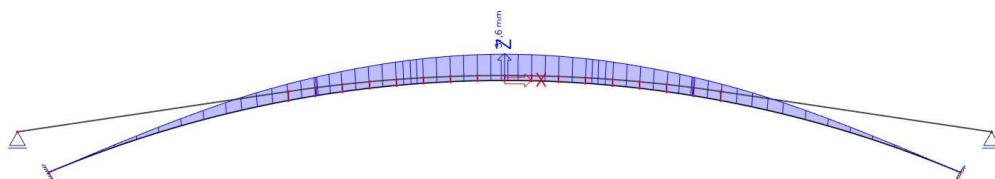
Obr. 103: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla



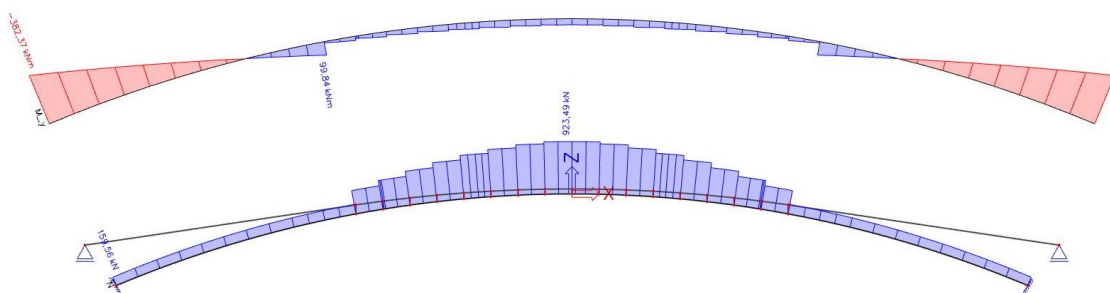
Obr. 104: LM4 vodorovné podélné - průhyb



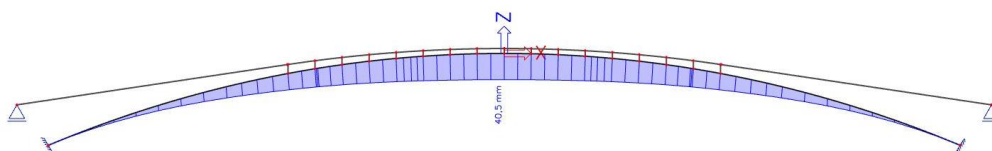
Obr. 105: Teplota - oteplení - Ohybový moment + normálová síla



Obr. 106: Teplota - oteplení - průhyb

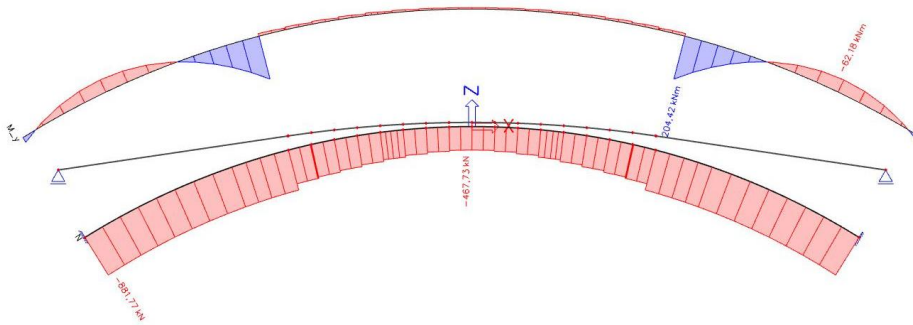


Obr. 107: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla

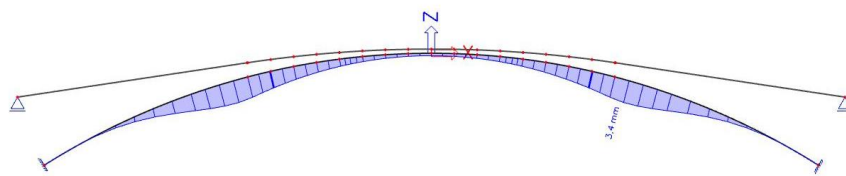


Obr.108: Teplota - ochlazení - průhyb

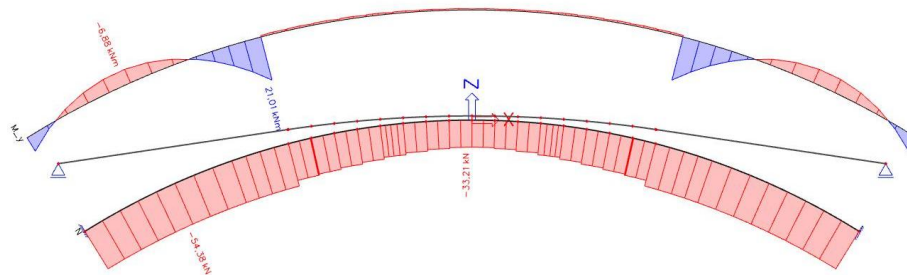
4.4.5 Varianta 5 - vzepětí oblouku 5,0m



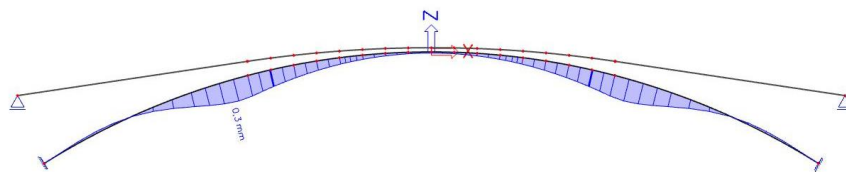
Obr. 109: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla



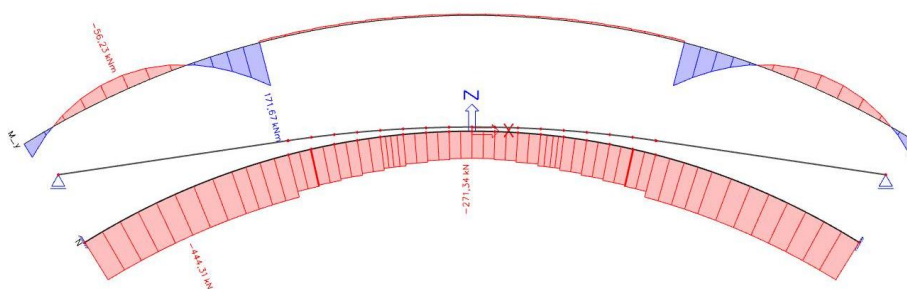
Obr. 110: Vlastní tíha - průhyb



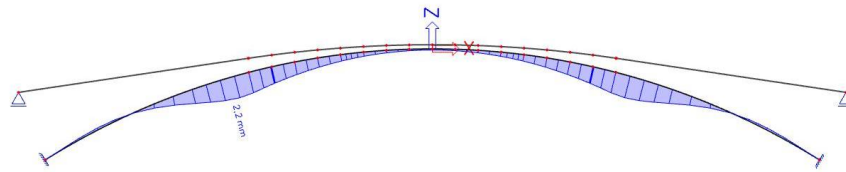
Obr. 111: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla



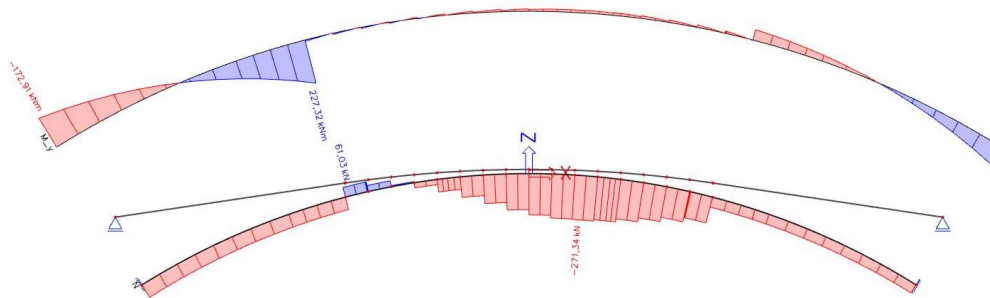
Obr.112: Ostatní stálé - průhyb



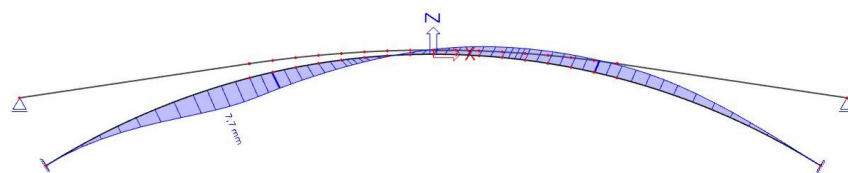
Obr.113: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla



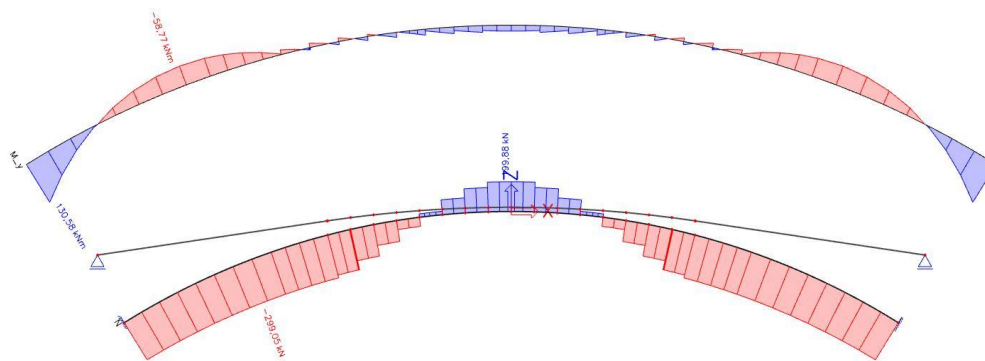
Obr. 114: LM4 plně - průhyb



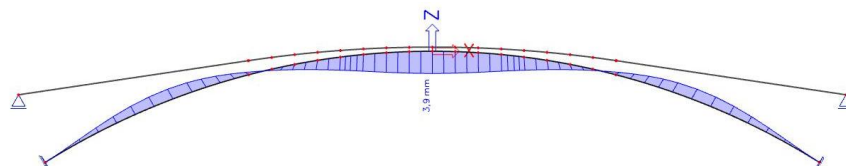
Obr. 115: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla



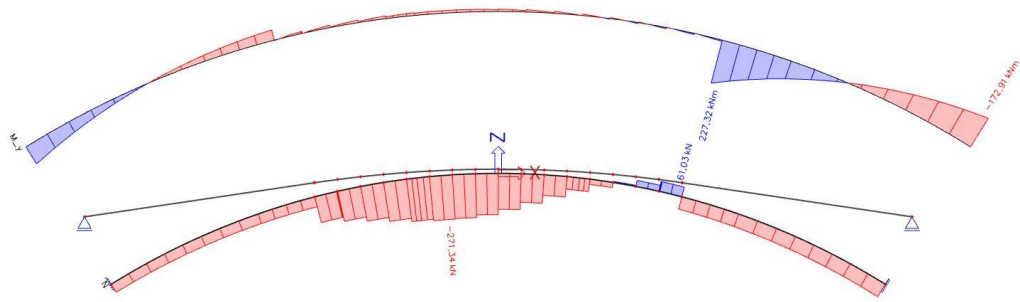
Obr. 116: LM4 levá část - průhyb



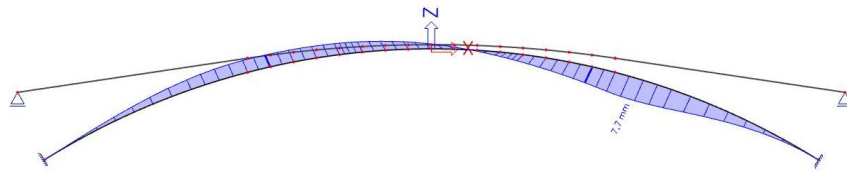
Obr. 117: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla



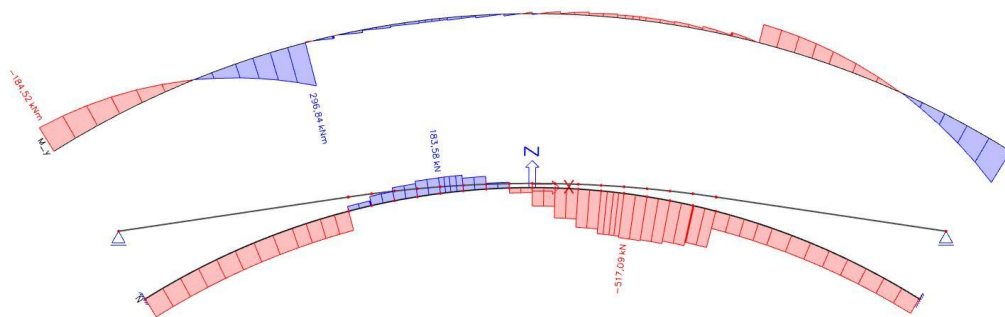
Obr. 118:4 LM4 střední část - prhyb



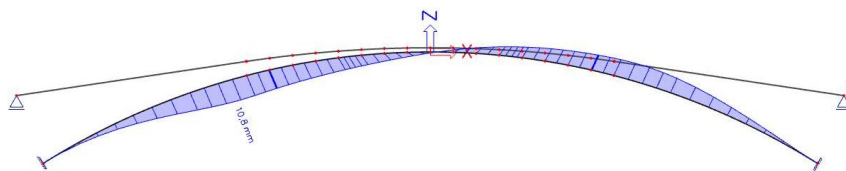
Obr. 119: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla



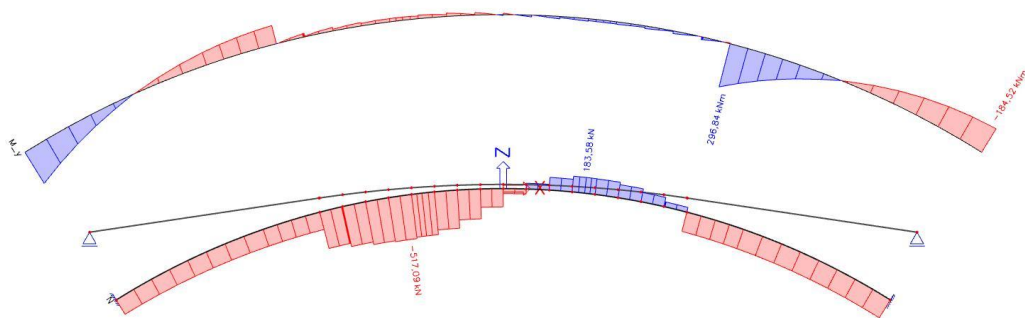
Obr. 120: LM4 pravá část - průhyb



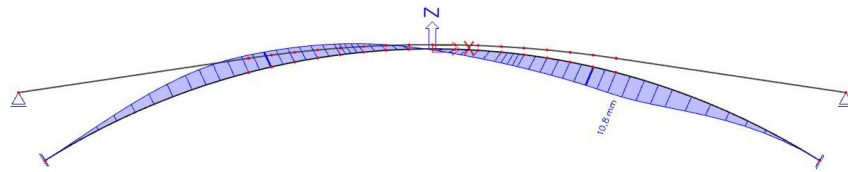
Obr. 121: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla



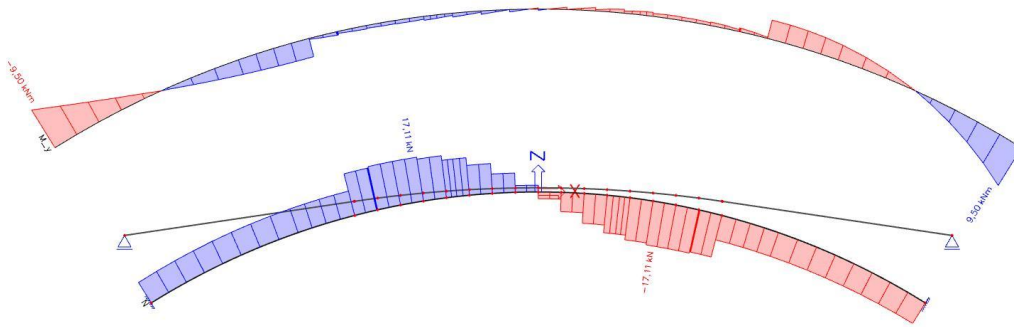
Obr. 122: LM4 levá polovina - průhyb



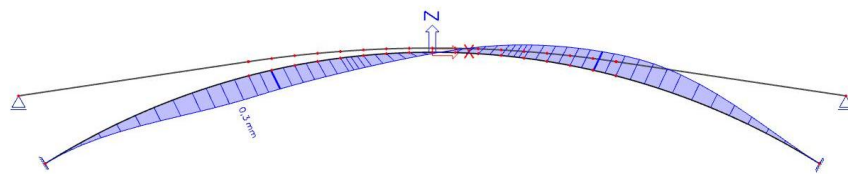
Obr. 123: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla



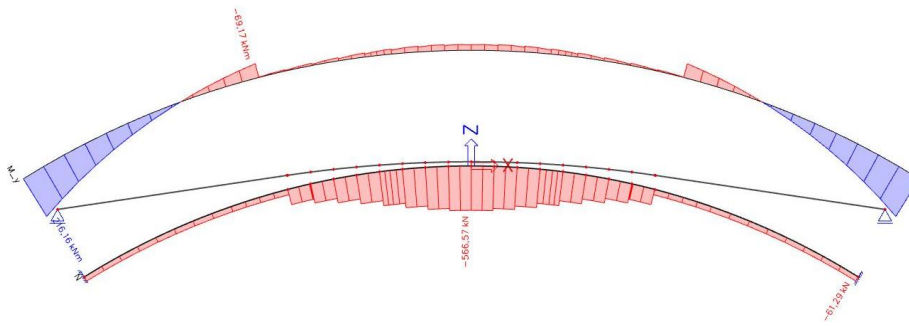
Obr. 124: LM4 pravá polovina - průhyb



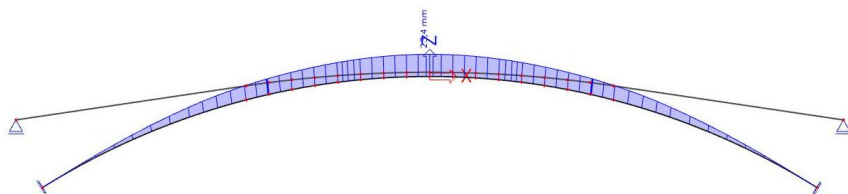
Obr. 125: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla



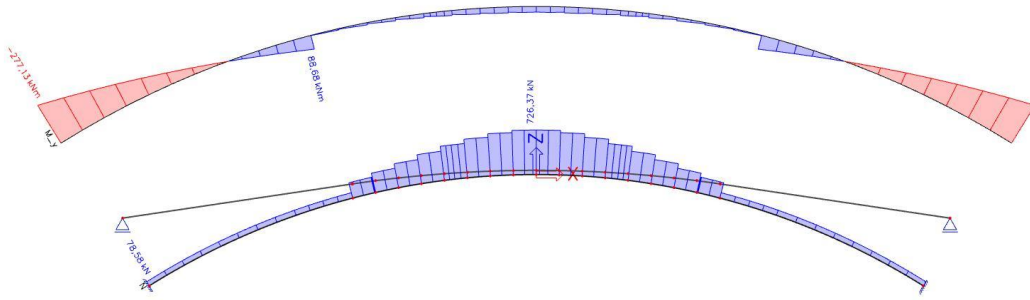
Obr. 126: LM4 vodorovné podélné - průhyb



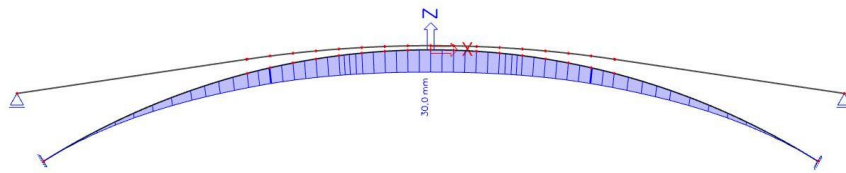
Obr. 127: Teplota - oteplení - Ohybový moment + normálová síla



Obr. 128: Teplota - oteplení - průhyb

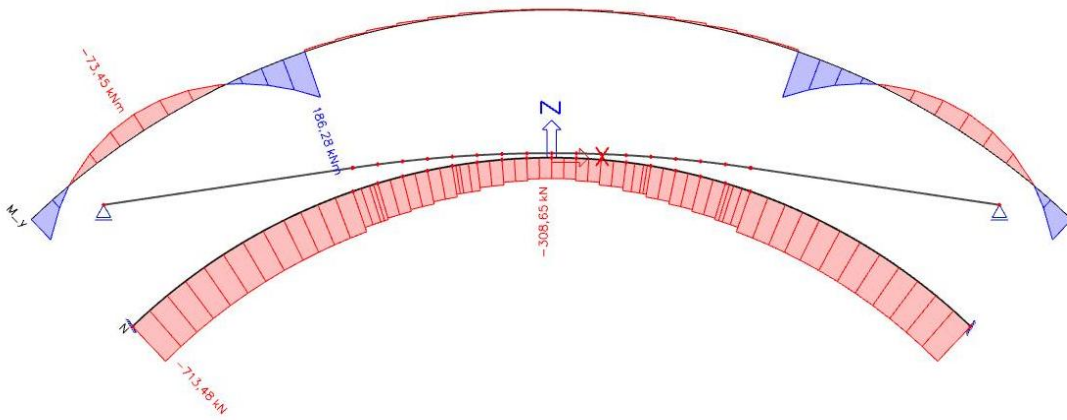


Obr. 129: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla

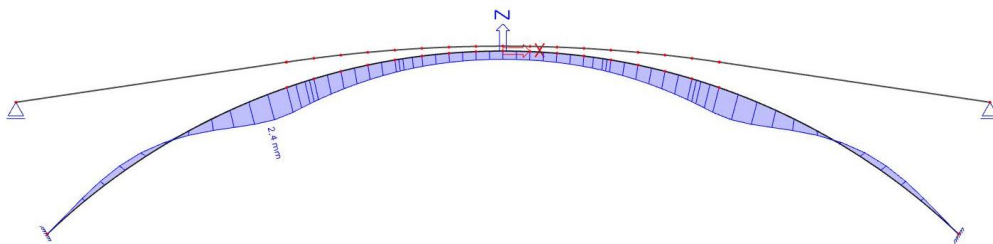


Obr. 130: Teplota - ochlazení - průhyb

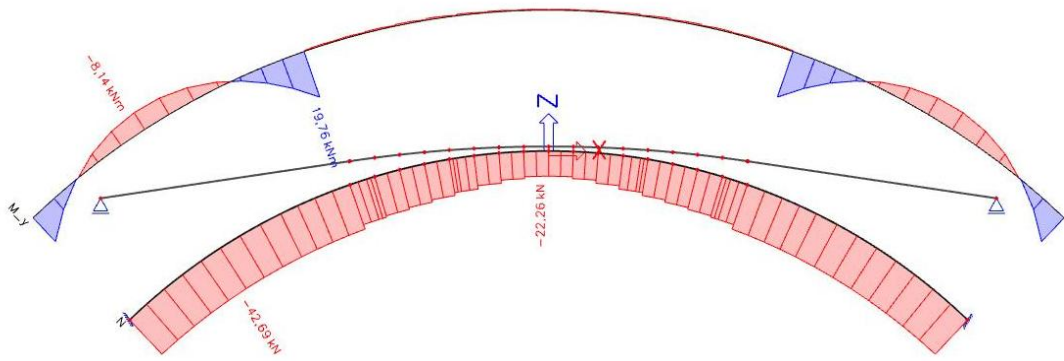
4.4.6 Varianta 6 - oblouk se vzepětím 7,0m



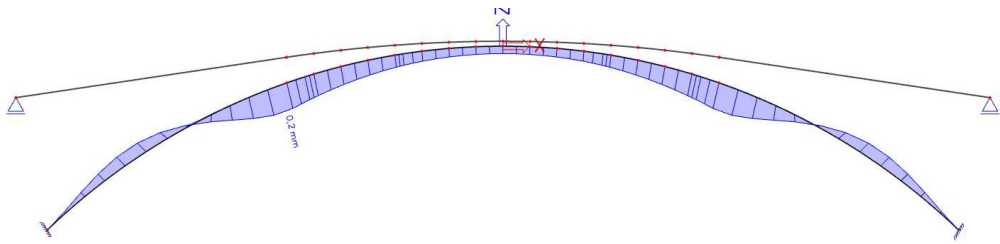
Obr.131: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla



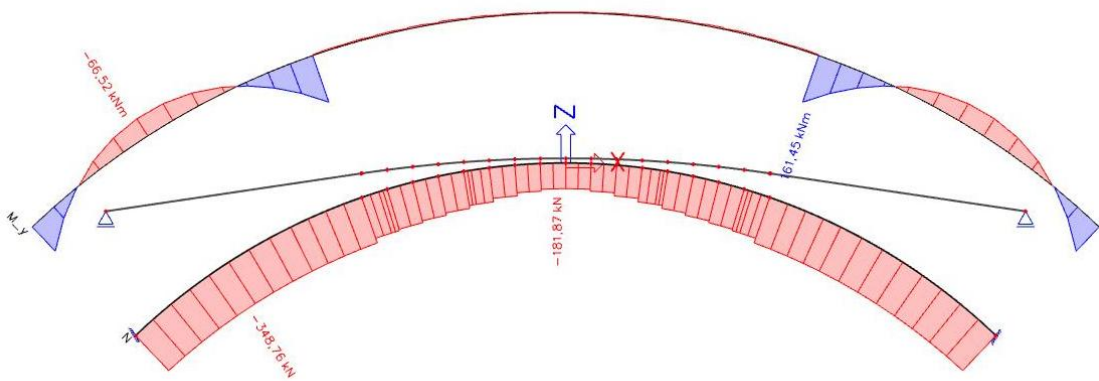
Obr. 132: Vlastní tíha - průhyb



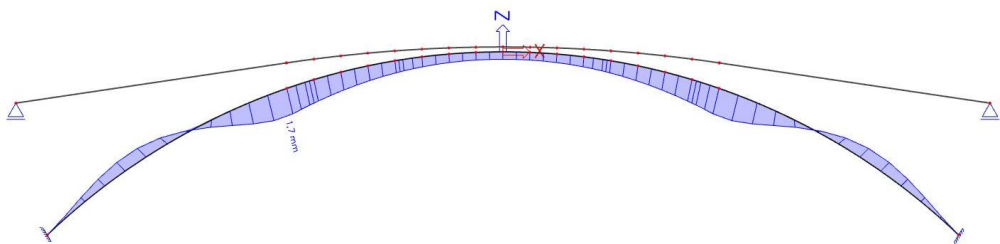
Obr. 133: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla



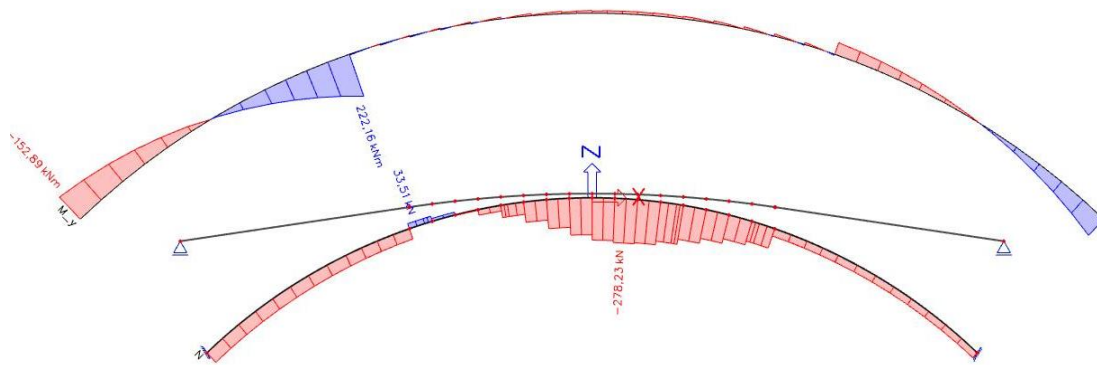
Obr.134: Ostatní stálé - průhyb



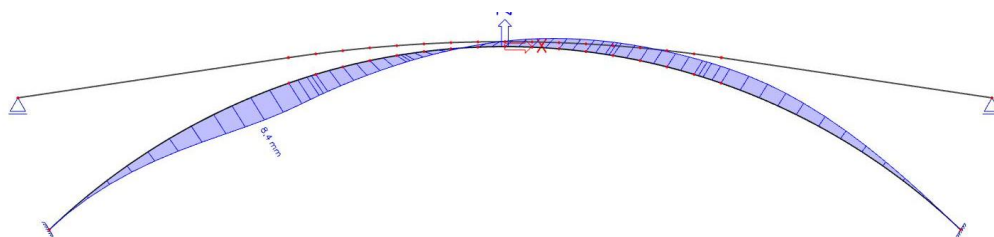
Obr. 135: LM4 plně - Ohybový moment + normálová síla



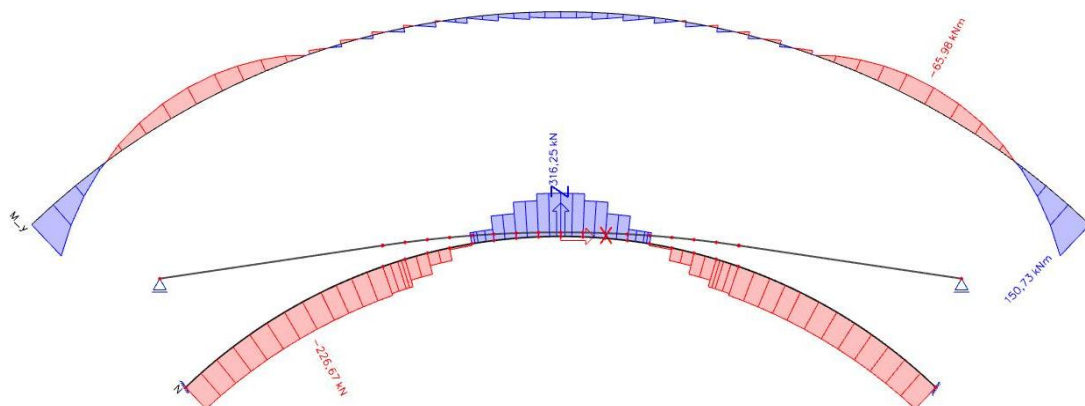
Obr. 136: LM4 plně - průhyb



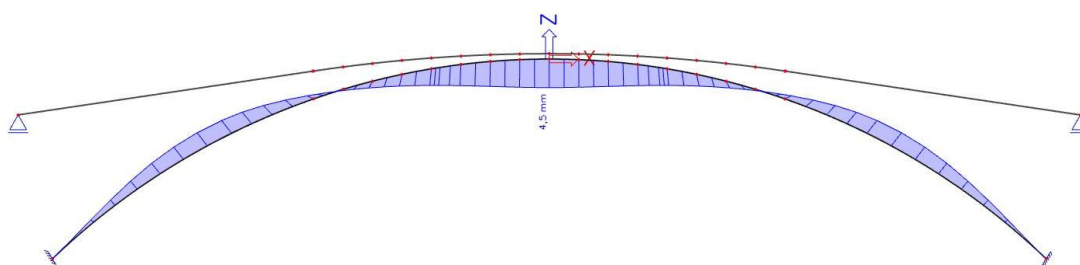
Obr. 137: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla



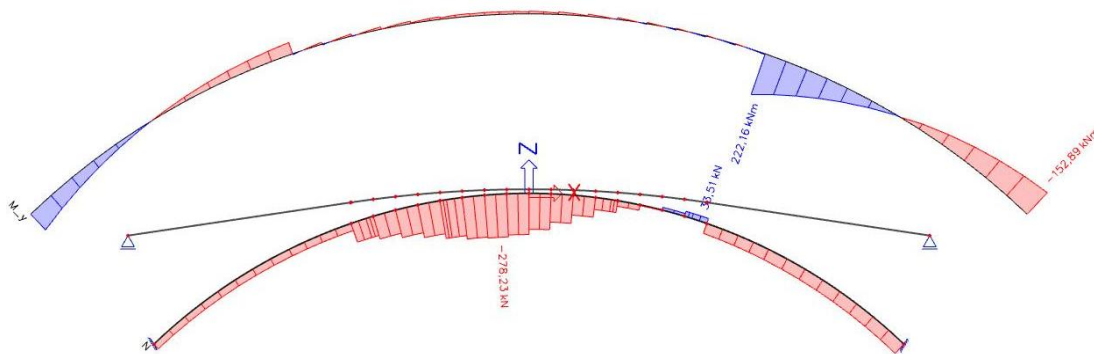
Obr. 138: LM4 levá část - průhyb



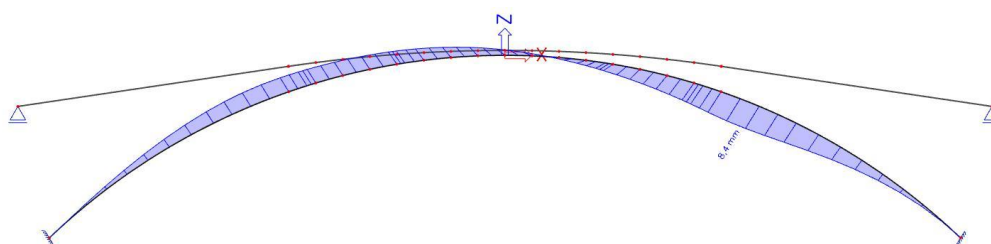
Obr. 139: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla



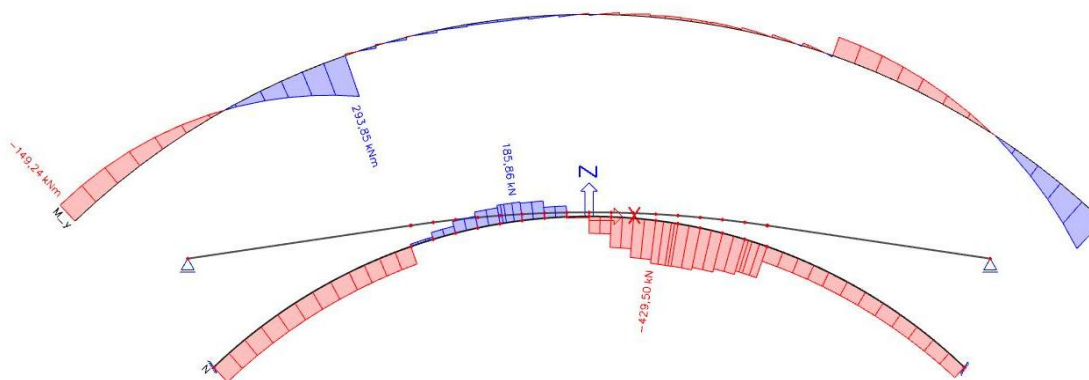
Obr. 140: LM4 střední část - průhyb



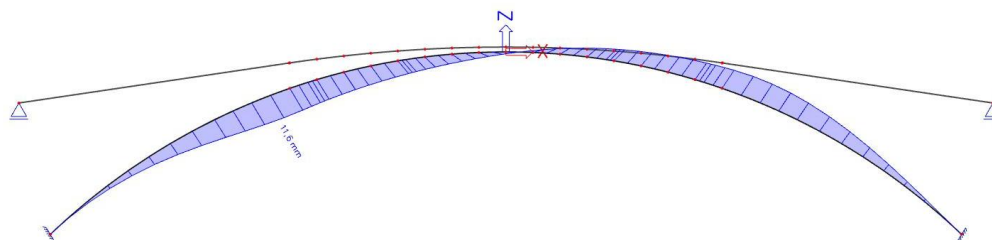
Obr. 141: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla



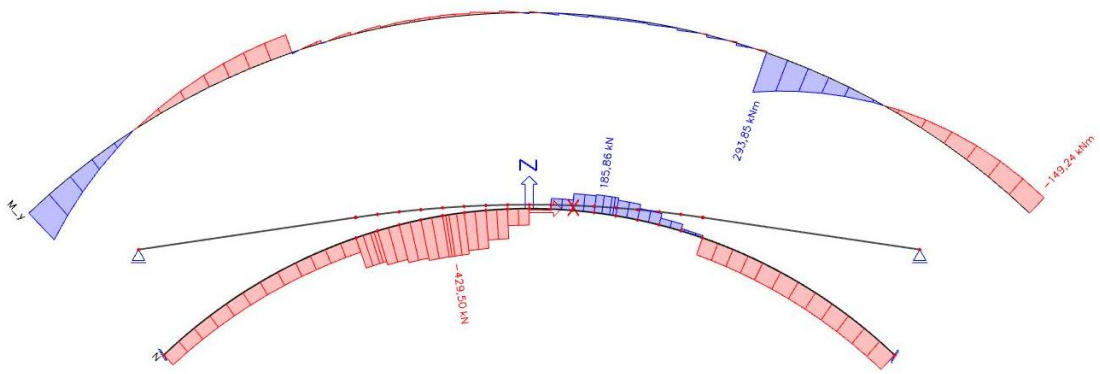
Obr.142: LM4 pravá část - průhyb



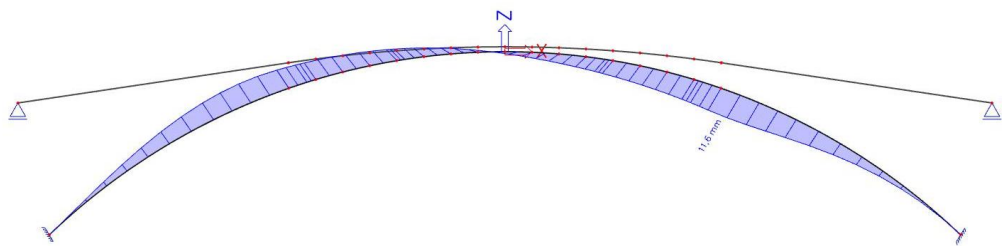
Obr. 143: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla



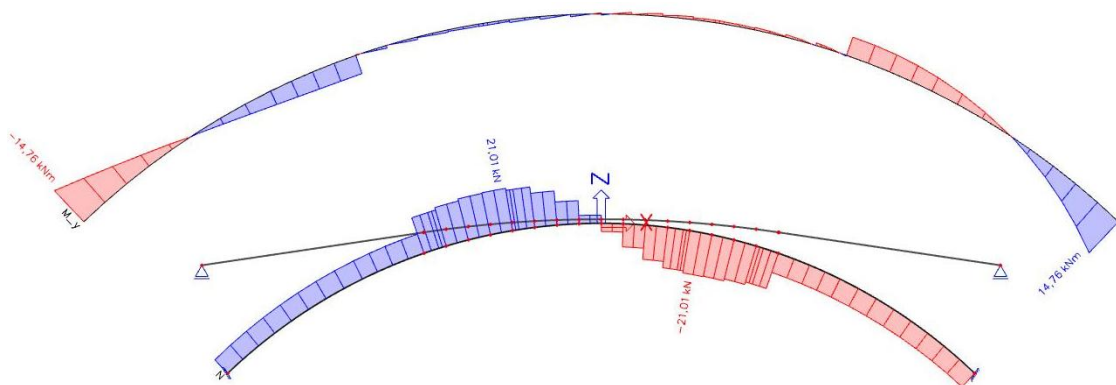
Obr. 144: LM4 levá polovina - průhyb



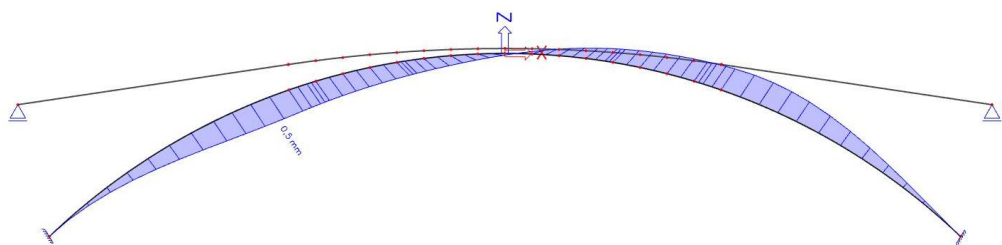
Obr. 145: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla



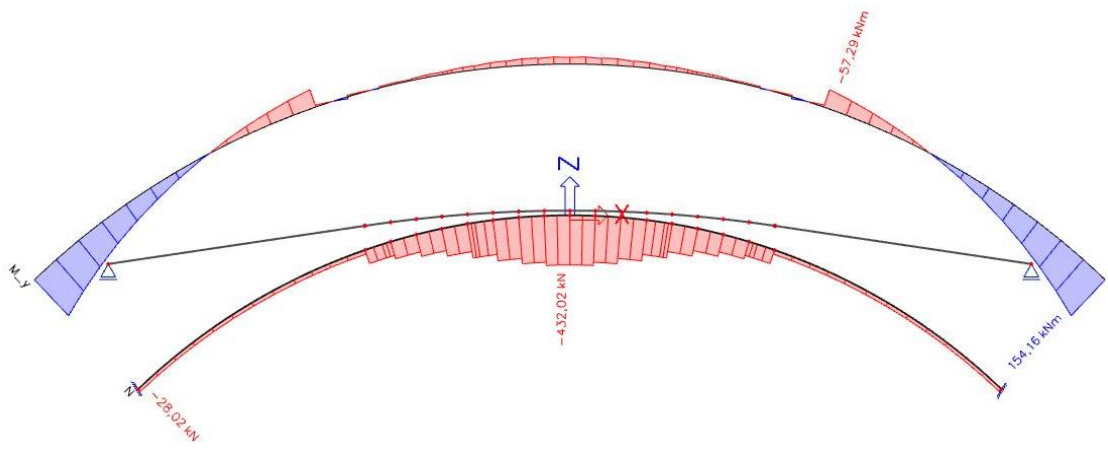
Obr. 146: LM4 pravá polovina - průhyb



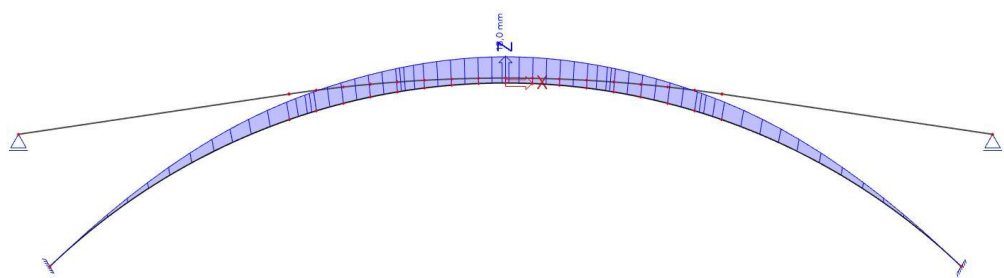
Obr. 147: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla



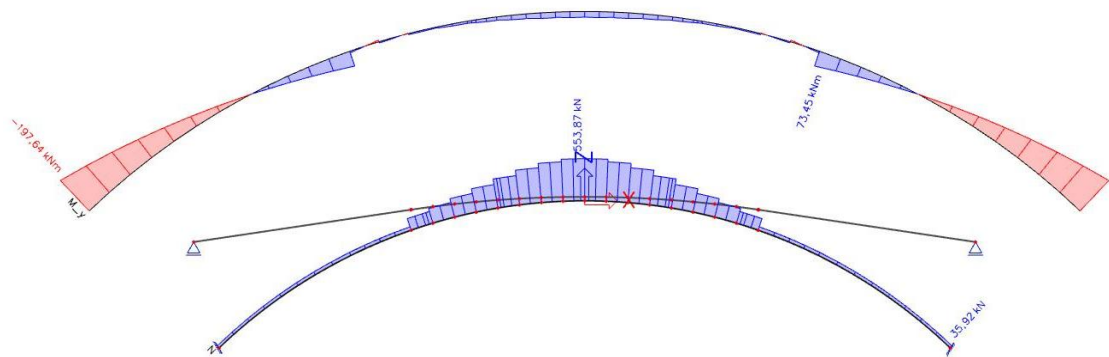
Obr. 148: LM4 vodorovné podélné - průhyb



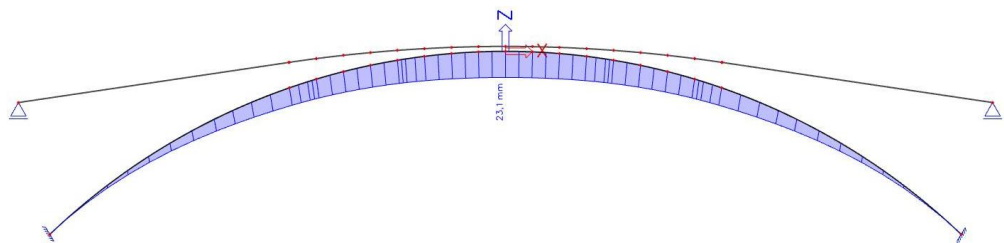
Obr. 149: 5 Teplota - oteplení - Ohybový moment + normálová síla



Obr. 150: Teplota - oteplení - průhyb



Obr. 151: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla

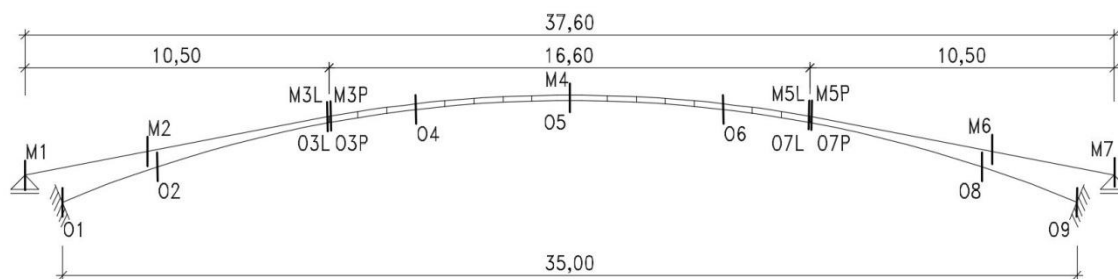


Obr. 152: Teplota - ochlazení - průhyb

Z výsledků je patrné, že čím plošší oblouk, tím větší jsou normálové síly, zřejmě proto, že se konstrukce tvarem blíží oboustranně vetknutému nosníku a nemá možnost větší deformace - zejména zatížení teplotními změnami je velmi výrazné oproti konstrukcím se vzepětím vyšším. Ohybové momenty rovněž klesjí s rostoucím vzepětím. Z toho lze usoudit, že nejvýhodnějším řešením by bylo dále počítat s obloukem se vzepětím 7,0m. Nicméně si dovolím vybrat oblouk se vzepětím 3,5m. Rozdělení vnitřních sil sice není tak výhodné jako u oblouků s vyšším vzepětím, ale vzhledem k okolnímu terénu by nebylo možné rozumně napojit mostovku na stávající komunikaci (s ohledem na maximální dovolený sklon 1:12).

5. Podrobný výpočet

Z průběhů vnitřních sil získaných v předchozí kapitole si určím řezy v místech extrémů a s vnitřními silami v nich budu dále pracovat. Dále si sestavím kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti a použitelnosti. Všechny níže uvedené hodnoty vnitřních sil budou v kN, resp. kNm, deformace v mm. Spodní vlákna uvažuji na dolním líci konstrukce.



Obr. 153: Výpočetní schéma s naznačenými řezy

Řez	Namáhání			Zatěžovací stav														
	N [kN]	M [kNm]	w [mm]	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9	ZS10	ZS11				
O1	N [kN]	-1152,89	-72,19	-589,77	-103,79	-405,85	-80,14	-313,09	-276,68	9,36	-124,45	159,56						
	M [kNm]	-40,74	2,63	21,49	-189,49	113,61	97,37	-216,90	238,39	-6,00	298,24	-382,36						
	w [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						
O2	N [kN]	-1135,44	-72,39	-591,40	-100,83	-408,83	-81,73	-310,40	-281,00	9,48	-128,19	164,35						
	M [kNm]	-65,22	-7,05	-57,64	-55,83	-25,76	23,95	-97,10	39,46	-0,71	127,10	-162,94						
	w [mm]	1,0	0,0	0,3	2,4	-0,9	-1,1	3,0	-2,7	0,1	-4,3	5,6						
O3L	N [kN]	-1110,17	-71,80	-586,60	-94,89	-408,47	-83,25	-300,25	-284,35	9,54	-132,52	169,90						
	M [kNm]	226,77	22,50	183,83	230,64	0,02	-46,83	298,55	-114,73	2,14	-77,26	99,05						
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	6,8	0,0	-4,0	10,7	-7,9	0,2	-19,6	25,0						
O3P	N [kN]	-780,00	-53,50	-437,10	118,47	-347,10	-208,47	144,28	-581,38	13,77	-325,77	417,65						
	M [kNm]	-19,41	-1,30	-10,59	15,21	-19,32	-6,48	10,42	-24,01	0,72	-7,09	9,10						
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	6,8	0,0	-4,0	10,7	-7,9	0,2	-19,6	25,0						
O4	N [kN]	-682,73	-47,47	-387,80	-22,33	-102,95	-262,51	210,59	-598,39	10,96	-537,51	689,12						
	M [kNm]	-13,16	-1,04	-8,48	6,22	-1,96	-12,75	23,08	-31,56	0,77	-23,79	30,50						
	w [mm]	2,7	0,2	1,5	3,6	1,9	-4,0	8,0	-6,5	0,1	-26,2	33,5						
O5	N [kN]	-614,30	-42,39	-346,31	-238,30	98,98	-248,55	-248,55	-248,55	0,00	-720,30	923,46						
	M [kNm]	-7,09	-0,56	-4,58	-11,29	14,90	-11,29	-9,55	-9,55	0,00	-34,05	43,66						
	w [mm]	1,5	0,1	0,6	-1,6	3,9	-1,6	0,3	0,3	0,0	-31,6	40,5						
O6	N [kN]	-682,73	-47,50	-387,80	-262,51	-102,95	-22,34	-598,39	210,59	-10,96	-537,52	689,12						
	M [kNm]	-13,16	-1,04	-8,48	-12,75	-1,96	6,22	-31,36	23,08	-0,77	-23,79	30,50						
	w [mm]	2,7	0,2	1,5	-4,0	1,9	3,6	-6,5	8,0	-0,1	-26,2	33,5						
O7L	N [kN]	-780,00	-53,50	-437,10	-208,47	-347,10	118,47	-581,38	144,28	-13,77	-325,77	417,65						
	M [kNm]	-19,41	-1,30	-10,59	-6,48	-19,32	15,21	-24,01	10,42	-0,72	-7,09	9,10						
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	-4,0	0,0	6,9	-7,9	10,7	-0,2	-19,6	25,0						
O7P	N [kN]	-1110,17	-71,80	-586,60	-83,25	-408,47	-94,89	-284,35	-302,26	-9,54	-132,52	169,90						
	M [kNm]	226,76	22,50	183,82	-46,83	0,02	230,64	-114,73	298,55	-2,14	-77,26	99,05						
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	-4,0	0,0	6,9	-7,9	10,7	-0,2	-19,6	25,0						
O8	N [kN]	-1135,40	-72,39	-591,40	-81,73	-408,83	-100,83	-281,00	-310,40	-9,48	-128,19	164,35						
	M [kNm]	-65,22	-7,05	-57,64	23,95	-25,76	-55,83	39,46	-97,10	0,71	127,10	-162,94						
	w [mm]	1,0	0,0	0,3	-1,1	-0,9	2,4	-2,7	3,0	-0,1	-4,3	5,6						
O9	N [kN]	-1152,90	-72,19	-589,77	-80,14	-405,85	-103,79	-276,68	-313,09	-9,36	-124,45	159,56						
	M [kNm]	-40,74	2,63	21,49	97,37	113,61	-216,90	238,39	-216,90	6,00	298,24	-382,36						
	w [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0						

Tab. 2: Přehled vnitřních sil a průhybů na oblouku

Řez	Namáhání	Zatěžovací stav													
		ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9	ZS10	ZS11			
M1	N [kN]	-7,72	-0,91	-7,41	-7,62	0,00	0,00	-7,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	M [kNm]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	w [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
M2	N [kN]	0,18	0,03	0,26	0,05	0,14	0,07	0,03	0,23	-2,10	-0,10	0,13			
	M [kNm]	107,11	12,41	101,42	107,39	-4,01	-1,95	108,04	-6,61	0,15	2,90	-3,71			
	w [mm]	17,5	1,9	15,6	19,2	-1,2	-2,3	21,0	-4,8	0,1	-7,1	9,1			
M3L	N [kN]	12,06	1,44	11,80	11,55	0,18	0,07	11,57	0,23	-5,26	-0,10	0,13			
	M [kNm]	-154,79	-19,19	-156,79	-141,84	-10,05	-4,89	-140,22	-16,56	0,37	7,26	-9,30			
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	7,1	0,2	-4,2	10,7	-7,9	0,2	-19,5	25,0			
M3P	N [kN]	-304,01	-16,37	-133,77	-199,03	-60,04	125,30	-431,25	297,48	-9,57	192,58	-246,89			
	M [kNm]	-9,26	-0,69	-5,64	6,75	-9,29	-3,10	4,19	-9,84	0,33	0,87	-1,11			
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	7,1	0,2	-4,2	10,7	-7,9	0,2	-19,5	25,0			
M4	N [kN]	-460,60	-26,37	-215,44	155,25	-494,62	155,25	-183,08	-183,08	-1,48	585,19	-750,24			
	M [kNm]	-6,26	-0,58	-4,72	-9,79	12,08	-9,79	-9,27	-9,27	0,00	-29,68	38,05			
	w [mm]	1,5	0,1	0,6	1,1	3,9	1,1	0,0	0,0	0,0	-31,6	40,5			
M5L	N [kN]	-304,01	-16,37	-133,78	125,30	-60,04	-199,03	297,48	-431,25	9,57	192,58	-246,90			
	M [kNm]	-9,26	-0,69	-5,64	-3,10	-9,29	6,75	-9,84	4,19	-0,33	0,87	-1,11			
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	-4,2	0,2	7,1	-7,9	10,7	-0,2	-19,5	25,0			
M5P	N [kN]	12,05	1,44	11,80	0,07	0,18	11,55	0,23	11,56	5,26	-0,10	0,13			
	M [kNm]	-154,11	-19,11	-156,79	-4,89	-10,05	-141,84	-16,56	-139,56	-0,37	7,25	-9,30			
	w [mm]	4,5	0,3	2,8	-4,2	0,2	7,1	-7,9	10,7	-0,2	-19,5	25,0			
M6	N [kN]	0,18	0,03	0,26	0,07	0,14	0,05	0,23	0,23	2,10	-0,10	0,13			
	M [kNm]	107,11	12,41	101,42	-1,95	-4,01	107,39	-6,61	108,04	-0,15	2,90	-3,71			
	w [mm]	17,5	1,9	15,6	-2,3	-1,2	19,2	-4,8	21,0	-0,1	-7,1	9,1			
M7	N [kN]	-7,72	-0,91	-7,41	0,00	0,00	-7,62	0,00	0,00	0,00	-0,10	0,00			
	M [kNm]	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
	w [mm]	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0			

Tab. 3: Přehled vnitřních sil a průhybů na mostovce

5.1 Sestavy zatížení

Norma ČSN EN 1991 říká, že vodorovné a svislé síly způsobené dopravou se mají uvažovat sestavami zatížení podle tabulky 4.

Druh zatížení		Svislé síly		Vodorovné síly
Zatěžovací systém		Rovnoměrné	Obslužné vozidlo	
Sestava zatížení	gr1	q_{fk}	0	Q_{fk}
	gr2	0	Q_{serv}	Q_{fk}

Tab. 4: - Definice sestav zatížení (Charakteristické hodnoty)

Vozidlům je zabráněn vjezd na lávku a počítám tedy jen s rovnoměrným zatížením. Ze zatěžovacích stavů obsahujících zatěžovací model 4 vyberu ty, které způsobují největší vnitřní síly. Ty sloučím s účinky od vodorovného zatížení, vždy tak, abych dostal co nejnepříznivější výsledek. Výsledné hodnoty pro oblouk i mostovku jsou v tabulkách níže.

Řez	Vlastní tíha	Ostatní stálé	gr1		Teplota Oteplení	Teplota Ochlazení
			Max	Min		
O1	-1 152,89	-72,19	-70,78	-599,13	-124,45	159,56
O2	-1 135,44	-72,39	-72,25	-600,88	-128,19	164,35
O3L	-1 110,17	-71,80	-73,71	-577,06	-132,52	169,90
O3P	-780,00	-53,50	158,05	-595,15	-325,77	417,65
O4	-682,73	-47,47	221,55	-609,35	-537,51	689,12
O5	-614,30	-42,39	98,98	-346,31	-720,30	923,46
O6	-682,73	-47,50	221,55	-609,35	-537,52	689,12
O7L	-780,00	-53,50	158,05	-595,15	-325,77	417,65
O7P	-1 110,17	-71,80	-73,71	-596,14	-132,52	169,90
O8	-1 135,40	-72,39	-72,25	-600,88	-128,19	164,35
O9	-1 152,90	-72,19	-70,78	-599,13	-124,45	159,56

Tab. 5: Přehled normálových sil na oblouku vč. sestav zatížení

Řez	Vlastní tíha	Ostatní stálé	gr1		Teplota Oteplení	Teplota Ochlazení
			Max	Min		
O1	-40,74	2,63	244,39	-222,90	298,24	-382,36
O2	-65,22	-7,05	40,17	-97,81	127,10	-162,94
O3L	226,77	22,50	300,69	-116,87	-77,26	99,05
O3P	-19,41	-1,30	15,93	-24,73	-7,09	9,10
O4	-13,16	-1,04	23,85	-32,33	-23,79	30,50
O5	-7,09	-0,56	14,90	-11,29	-34,05	43,66
O6	-13,16	-1,04	23,85	-32,13	-23,79	30,50
O7L	-19,41	-1,30	15,93	-24,73	-7,09	9,10
O7P	226,76	22,50	300,69	-116,87	-77,26	99,05
O8	-65,22	-7,05	40,17	-97,81	127,10	-162,94
O9	-40,74	2,63	244,39	-222,90	298,24	-382,36

Tab. 6: Přehled ohyb. momentů na oblouku vč. sestav zatížení

5.2 Kombinace zatížení

5.2.1 Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti

Podle ČSN EN 1990 rozlišujeme 4 mezní stavy únosnosti:

EQU

Ztráta statické rovnováhy konstrukce, nebo její části uvažované jako tuhé těleso tam, kde je významné i menší kolísání hodnoty nebo prostorového uspořádání zatížení stejného původu (pevnosti konstrukčních materiálů, nebo základové půdy nejsou obvykle rozhodující).

STR

Vnitřní porucha, nebo nadměrná deformace konstrukce, nebo nosných prvků v případech, kde rozhoduje pevnost konstrukčních materiálů.

GEO

Porucha, nebo nadměrná deformace základové půdy, kde pevnosti zeminy nebo skalního podloží jsou pro únosnost důležité.

FAT

Únavová porucha konstrukce, nebo nosných prvků.

UPL

Ztráta rovnováhy konstrukce, nebo základové půdy v důsledku vztlaku vody, nebo jiných svislých zatížení

HYD

Nadzdvihování dna, vnitřní eroze a sufose v základové půdě způsobená hydraulickými spády.

[8]

Kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace může být vyjádřena buď jako:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{rovnice (6.10) podle [4]}$$

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

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{rovnice (6.10a) podle [4]}$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{rovnice (6.10b) podle [4]}$$

kde:

$\gamma_{G,j}$ je dílčí součinitel j -tého stálého zatížení,

$G_{k,j}$ je charakteristická hodnota j -tého stálého zatížení,

γ_p je dílčí součinitel zatížení od předpětí,

P je příslušná reprezentativní hodnota zatížení od předpětí,

$\gamma_{Q,1}$ je dílčí součinitel hlavního proměnného zatížení,

$Q_{k,1}$ je charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení,

$\gamma_{Q,i}$ je dílčí součinitel i -tého proměnného zatížení,

$Q_{k,i}$ je charakteristická hodnota i -tého proměnného zatížení,

ψ_0 je součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení,

ξ_j je redukční součinitel pro nepříznivá stálá zatížení G. [8]

Mojí konstrukci budu posuzovat na mezní stav STR. Kombinace podle výrazu 6.10 může vést k méně hospodárnému návrhu, konstrukci tedy posoudím na méně příznivý výsledek z výrazů 6.10a a 6.10b.

Kombinace	Stálé		Hlavní prom.		Vedlejší prom.	
	ξ_j	$\gamma_{G,j}$	$\gamma_{Q,1}$	$\psi_{0,1}$	$\gamma_{Q,i}$	$\psi_{0,i}$
K1	0,85	1,35	1,35	-	1,5	0,6
K2	0,85	1,35	1,35	-	1,5	0,6
K3	0,85	1,35	1,5	-	1,35	0,4
K4	0,85	1,35	1,5	-	1,35	0,4

Tab. 7: Součinitele pro kombinace zatížení

Pro každý výraz dostanu 4 kombinace:

- K1: Hlavní proměnné zatížení - gr1, vedlejší - Teplota - oteplení
- K2: Hlavní proměnné zatížení - gr1, vedlejší - Teplota - ochlazení
- K3: Hlavní proměnné zatížení - Teplota - oteplení, vedlejší -gr1
- K4: Hlavní proměnné zatížení - Teplota - ochlazení, vedlejší - gr1

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	-1 861,42	-1 613,34	-2 574,69	-2 326,61
O2	-1 843,48	-1 598,89	-2 557,13	-2 312,54
O3L	-1 814,44	-1 575,09	-2 519,72	-2 280,37
O3P	-1 205,05	-1 036,27	-2 221,87	-2 053,09
O4	-1 170,44	-1 022,57	-2 292,15	-2 144,29
O5	-1 401,18	-1 268,20	-2 002,32	-1 869,34
O6	-1 170,49	-1 022,61	-2 292,20	-2 144,33
O7L	-1 205,05	-1 036,27	-2 221,87	-2 053,09
O7P	-1 814,44	-1 575,09	-2 519,72	-2 280,37
O8	-1 843,43	-1 598,85	-2 557,08	-2 312,50
O9	-1 861,43	-1 613,35	-2 574,70	-2 326,62

Tab. 8: Kombinace 1 - Normálová síla na oblouku

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	546,89	554,61	-83,95	-76,23
O2	71,06	85,69	-115,22	-100,58
O3L	672,91	622,43	109,21	58,73
O3P	-12,83	-8,64	-67,73	-63,53
O4	-8,38	-5,51	-84,23	-81,35
O5	-20,86	-19,31	-56,21	-54,66
O6	-8,38	-5,51	-83,96	-81,08
O7L	-12,83	-8,64	-67,73	-63,53
O7P	672,90	622,42	109,19	58,72
O8	71,06	85,69	-115,22	-100,58
O9	546,89	554,61	-83,95	-76,23

Tab. 9: Kombinace 1 - Ohybový moment na oblouku

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	-11,74	-9,99	-22,05	-20,31
M2	3,38	3,34	-2,60	-2,64
M3L	41,17	38,43	11,13	8,39
M3P	155,33	220,20	-854,30	-789,42
M4	80,85	179,46	-800,47	-701,86
M5L	155,33	220,20	-854,30	-789,42
M5P	41,15	38,42	11,12	8,38
M6	3,38	3,34	-2,57	-2,62
M7	-11,74	-9,99	-22,05	-20,31

Tab. 10: Kombinace 1 - Normálová síla na mostovce

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	310,02	285,82	154,84	130,63
M3L	-234,44	-199,21	-440,51	-405,27
M3P	-3,09	-1,08	-26,38	-24,36
M4	-19,64	-18,25	-49,16	-47,78
M5L	-3,09	-1,08	-26,38	-24,36
M5P	-233,42	-198,35	-439,49	-404,41
M6	310,02	285,82	154,84	130,63
M7	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 11: Kombinace 1 - Ohybové momenty na mostovce

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	-1 605,81	-1 357,73	-2 319,08	-2 071,00
O2	-1 580,19	-1 335,61	-2 293,84	-2 049,26
O3L	-1 542,26	-1 302,91	-2 247,54	-2 008,19
O3P	-535,97	-367,19	-1 552,79	-1 384,01
O4	-66,47	81,40	-1 188,18	-1 040,32
O5	78,21	211,19	-522,94	-389,96
O6	-66,51	81,36	-1 188,23	-1 040,35
O7L	-535,97	-367,19	-1 552,79	-1 384,01
O7P	-1 542,26	-1 302,91	-2 247,54	-2 008,19
O8	-1 580,14	-1 335,56	-2 293,79	-2 049,21
O9	-1 605,82	-1 357,74	-2 319,09	-2 071,01

Tab. 12: Kombinace 2 - Normálová síla na oblouku

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	-65,65	-57,93	-696,49	-688,77
O2	-189,98	-175,35	-376,25	-361,62
O3L	831,59	781,11	267,89	217,41
O3P	1,74	5,93	-53,15	-48,96
O4	40,48	43,35	-35,37	-32,49
O5	49,08	50,63	13,73	15,27
O6	40,48	43,35	-35,10	-32,22
O7L	1,74	5,93	-53,15	-48,96
O7P	831,58	781,10	267,87	217,40
O8	-189,98	-175,35	-376,25	-361,62
O9	-65,65	-57,93	-696,49	-688,77

Tab. 13: Kombinace 2 - Ohybový moment na oblouku

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	-11,65	-9,90	-21,96	-20,22
M2	3,59	3,54	-2,39	-2,44
M3L	41,37	38,64	11,34	8,60
M3P	-240,20	-175,32	-1 249,82	-1 184,94
M4	-1 121,04	-1 022,43	-2 002,36	-1 903,75
M5L	-240,21	-175,33	-1 249,83	-1 184,95
M5P	41,36	38,63	11,32	8,59
M6	3,59	3,54	-2,37	-2,41
M7	-11,65	-9,90	-21,96	-20,22

Tab. 14: Kombinace 2 - Normálová síla na mostovce

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	304,07	279,87	148,89	124,68
M3L	-249,35	-214,11	-455,41	-420,18
M3P	-4,87	-2,86	-28,16	-26,15
M4	41,32	42,70	11,79	13,18
M5L	-4,87	-2,86	-28,16	-26,15
M5P	-248,32	-213,24	-454,38	-419,31
M6	304,07	279,87	148,89	124,68
M7	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 15: Kombinace 2 - Ohybový moment na mostovce

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	-1 878,75	-1 630,68	-2 164,06	-1 915,98
O2	-1 861,87	-1 617,28	-2 147,33	-1 902,75
O3L	-1 834,24	-1 594,89	-2 116,36	-1 877,01
O3P	-1 528,53	-1 359,75	-1 935,26	-1 766,48
O4	-1 672,40	-1 524,53	-2 121,08	-1 973,22
O5	-1 913,53	-1 780,55	-2 153,99	-2 021,01
O6	-1 672,45	-1 524,58	-2 121,14	-1 973,27
O7L	-1 528,53	-1 359,75	-1 935,26	-1 766,48
O7P	-1 834,24	-1 594,89	-2 116,36	-1 877,01
O8	-1 861,82	-1 617,24	-2 147,28	-1 902,70
O9	-1 878,77	-1 630,69	-2 164,08	-1 916,00

Tab.16: Kombinace 3 - Normálová síla na oblouku

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	527,88	535,60	275,55	283,26
O2	114,78	129,41	40,27	54,90
O3L	383,00	332,52	157,51	107,04
O3P	-29,99	-25,80	-51,95	-47,75
O4	-41,98	-39,10	-72,31	-69,44
O5	-53,36	-51,81	-67,50	-65,95
O6	-41,98	-39,10	-72,21	-69,33
O7L	-29,99	-25,80	-51,95	-47,75
O7P	382,98	332,51	157,50	107,03
O8	114,78	129,41	40,27	54,90
O9	527,88	535,60	275,55	283,26

Tab. 17: Kombinace 3 - Ohybový moment na oblouku

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	-11,80	-10,05	-15,93	-14,18
M2	1,41	1,37	-0,98	-1,03
M3L	27,29	24,55	15,27	12,54
M3P	22,16	87,04	-381,69	-316,81
M4	305,01	403,62	-47,52	51,09
M5L	22,16	87,04	-381,69	-316,81
M5P	27,27	24,54	15,26	12,53
M6	1,41	1,37	-0,97	-1,02
M7	-11,80	-10,05	-15,93	-14,18

Tab. 18: Kombinace 3 - Normálová síla na mostovce

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	224,12	199,92	162,05	137,85
M3L	-226,42	-191,19	-308,85	-273,62
M3P	-8,30	-6,29	-17,62	-15,60
M4	-47,23	-45,85	-59,04	-57,66
M5L	-8,30	-6,29	-17,62	-15,60
M5P	-225,41	-190,34	-307,84	-272,76
M6	224,12	199,92	162,05	137,85
M7	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 19: Kombinace 3 - Ohybový moment na mostovce

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	-1 452,74	-1 204,66	-1 738,05	-1 489,97
O2	-1 423,06	-1 178,47	-1 708,52	-1 463,94
O3L	-1 380,61	-1 141,26	-1 662,73	-1 423,38
O3P	-413,40	-244,62	-820,13	-651,35
O4	167,55	315,41	-281,14	-133,27
O5	552,11	685,09	311,65	444,63
O6	167,51	315,38	-281,18	-133,31
O7L	-413,40	-244,62	-820,13	-651,35
O7P	-1 380,61	-1 141,26	-1 662,73	-1 423,38
O8	-1 423,01	-1 178,43	-1 708,47	-1 463,89
O9	-1 452,75	-1 204,67	-1 738,06	-1 489,98

Tab. 20: Kombinace 4 - Normálová síla na oblouku

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
O1	-493,02	-485,30	-745,35	-737,64
O2	-320,28	-305,65	-394,79	-380,16
O3L	647,46	596,98	421,98	371,50
O3P	-5,71	-1,51	-27,66	-23,47
O4	39,46	42,33	9,12	12,00
O5	63,21	64,76	49,07	50,62
O6	39,46	42,33	9,23	12,11
O7L	-5,71	-1,51	-27,66	-23,47
O7P	647,45	596,97	421,97	371,49
O8	-320,28	-305,65	-394,79	-380,16
O9	-493,02	-485,30	-745,35	-737,64

Tab. 21: Kombinace 4 - Ohybový moment na oblouku

Řez	Max N [kN]		Min N [kN]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	-11,65	-9,90	-15,78	-14,03
M2	1,75	1,71	-0,64	-0,68
M3L	27,63	24,90	15,62	12,88
M3P	-637,04	-572,16	-1 040,89	-976,01
M4	-1 698,14	-1 599,52	-2 050,66	-1 952,05
M5L	-637,06	-572,18	-1 040,91	-976,03
M5P	27,62	24,89	15,60	12,87
M6	1,75	1,71	-0,63	-0,67
M7	-11,65	-9,90	-15,78	-14,03

Tab. 22: Kombinace 4 - Normálová síla na mostovce

Řez	Max M [kNm]		Min M [kNm]	
	6.10a	6.10b	6.10a	6.10b
M1	0,00	0,00	0,00	0,00
M2	214,21	190,01	152,14	127,93
M3L	-251,26	-216,03	-333,69	-298,46
M3P	-11,27	-9,26	-20,59	-18,57
M4	54,36	55,75	42,55	43,94
M5L	-11,27	-9,26	-20,59	-18,57
M5P	-250,24	-215,16	-332,66	-297,59
M6	214,21	190,01	152,14	127,93
M7	0,00	0,00	0,00	0,00

Tab. 23: Kombinace 4 - Ohybový moment na mostovce

Řez	N [kN]		M [kNm]	
	Max	Min	Max	Min
O1	-1 204,66	-2 574,69	554,61	-745,35
O2	-1 178,47	-2 557,13	129,41	-394,79
O3L	-1 141,26	-2 519,72	831,59	58,73
O3P	-244,62	-2 221,87	5,93	-67,73
O4	315,41	-2 292,15	43,35	-84,23
O5	685,09	-2 153,99	64,76	-67,50
O6	315,38	-2 292,20	43,35	-83,96
O7L	-244,62	-2 221,87	5,93	-67,73
O7P	-1 141,26	-2 519,72	831,58	58,72
O8	-1 178,43	-2 557,08	129,41	-394,79
O9	-1 204,67	-2 574,70	554,61	-745,35

Tab. 24: Návrhové hodnoty na oblouku

Řez	N [kN]		M [kNm]	
	Max	Min	Max	Min
M1	-9,90	-22,05	0,00	0,00
M2	3,59	-2,64	310,02	124,68
M3L	41,37	8,39	-191,19	-455,41
M3P	220,20	-1 249,82	-1,08	-28,16
M4	403,62	-2 050,66	55,75	-59,04
M5L	220,20	-1 249,83	-1,08	-28,16
M5P	41,36	8,38	-190,34	-454,38
M6	3,59	-2,62	310,02	124,68
M7	-9,90	-22,05	0,00	0,00

Tab. 25: Návrhové hodnoty na mostovce

5.2.2 Kombinace pro mezní stavy použitelnosti

Kombinace zatížení, které se uplatňují u mezních stavů použitelnosti, závisí na povaze sledovaného účinku zatížení; rozlišuje se účinek nevratný, vratný, nebo dlouhodobý.

Symbolicky lze kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti zapsat pomocí následujících výrazů:

a) charakteristická kombinace se obvykle používá pro nevratné mezní stavy

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

b) častá kombinace se obvykle používá pro vratné mezní stavy

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

c) kvazistálá kombinace se obvykle používá pro dlouhodobé účinky a vzhled konstrukce

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P_k" + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad [4]$$

Zatížení	Značka	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Zatížení dopravou	gr1	0,4	0,4	0
	Qfwk	0	0	0
	gr2	0	0	0
Zatížení větrem	Fwk	0,3	0,2	0
Zatížení teplotou	Tk	0,6	0,6	0,5
Zatížení sněhem	QSn,k	0,8	-	0
Stanevištní zatížení	Qc	1,0	-	1,0

Doporučenou hodnotu ψ_0 pro zatížení teplotou lze ve většině případů snížit až na nulu pro mezní stavy únosnosti EQU, STR a GEO. Viz také Eurokódy pro navrhování.

Tab. 26: Součinitele ψ pro lávky pro chodce [4]

	Kombi.	Vlastní tíha	Ostatní stálé	gr1	T max	T min
K1	Char.	1	1	1	0,6	0
	Častá	1	1	0,4	0,5	0
	Kvazi	1	1	0	0,5	0
K2	Char.	1	1	1	0	0,6
	Častá	1	1	0,4	0	0,5
	Kvazi	1	1	0	0	0,5
K3	Char.	1	1	0,4	1	0
	Častá	1	1	0	0,6	0
	Kvazi	1	1	0	0,5	0
K4	Char.	1	1	0,4	0	1
	Častá	1	1	0	0	0,6
	Kvazi	1	1	0	0	0,5

Tab. 27: Součinitele pro kombinace MSP

K1	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
O1	-1 370,53	-1 898,88	385,22	-82,07	-1 315,62	-1 526,96	208,77	21,85	-1 287,31	-1 287,31	111,01	111,01
O2	-1 356,99	-1 885,62	44,16	-93,82	-1 300,83	-1 512,28	7,35	-47,84	-1 271,93	-1 271,93	-8,72	-8,72
O3L	-1 335,19	-1 857,62	503,60	86,04	-1 277,71	-1 486,69	330,92	163,89	-1 248,23	-1 248,23	210,64	210,64
O3P	-870,91	-1 624,11	-9,03	-49,69	-933,17	-1 234,45	-17,88	-34,15	-996,39	-996,39	-24,26	-24,26
O4	-831,16	-1 662,06	-4,62	-60,80	-910,34	-1 242,70	-16,56	-39,03	-998,96	-998,96	-26,10	-26,10
O5	-989,89	-1 435,18	-13,18	-39,37	-977,25	-1 155,36	-18,72	-29,19	-1 016,84	-1 016,84	-24,68	-24,68
O6	-831,19	-1 662,09	-4,62	-60,60	-910,37	-1 242,73	-16,56	-38,95	-998,99	-998,99	-26,10	-26,10
O7L	-870,91	-1 624,11	-9,03	-49,69	-933,17	-1 234,45	-17,88	-34,15	-996,39	-996,39	-24,26	-24,26
O7P	-1 335,19	-1 857,62	503,59	86,03	-1 277,71	-1 486,69	330,91	163,88	-1 248,23	-1 248,23	210,63	210,63
O8	-1 356,95	-1 885,58	44,16	-93,82	-1 300,79	-1 512,24	7,35	-47,84	-1 271,89	-1 271,89	-8,72	-8,72
O9	-1 370,54	-1 898,89	385,22	-82,07	-1 315,63	-1 526,97	208,77	21,85	-1 287,32	-1 287,32	111,01	111,01

Tab. 28: Vnitřní síly na oblouku od Kombinace 1

K1	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
M1	-8,69	-16,33	0,00	0,00	-8,68	-11,74	0,00	0,00	-8,68	-8,68	0,00	0,00
M2	2,51	-1,92	229,45	114,50	1,10	-0,67	164,25	118,27	0,16	0,16	120,97	120,97
M3L	30,50	8,25	-174,14	-326,78	20,27	11,37	-172,16	-233,21	13,45	13,45	-170,35	-170,35
M3P	102,22	-645,65	-2,35	-19,60	-101,27	-400,42	-6,68	-13,58	-224,09	-224,09	-9,52	-9,52
M4	20,87	-631,96	-12,57	-34,44	-131,68	-392,82	-16,85	-25,60	-194,38	-194,38	-21,68	-21,68
M5L	102,22	-645,65	-2,35	-19,60	-101,27	-400,42	-6,68	-13,58	-224,09	-224,09	-9,52	-9,52
M5P	30,49	8,24	-173,39	-326,03	20,26	11,36	-171,40	-232,46	13,44	13,44	-169,60	-169,60
M6	2,51	-1,90	229,45	114,50	1,10	-0,66	164,25	118,27	0,16	0,16	120,97	120,97
M7	-8,69	-16,33	0,00	0,00	-8,68	-11,74	0,00	0,00	-8,68	-8,68	0,00	0,00

Tab. 29: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 1

K2	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
O1	-1 200,12	-1 728,47	-23,14	-490,43	-1 173,61	-1 384,95	-131,53	-318,45	-1 145,30	-1 145,30	-229,29	-229,29
O2	-1 181,47	-1 710,10	-129,86	-267,84	-1 154,56	-1 366,01	-137,67	-192,86	-1 125,66	-1 125,66	-153,74	-153,74
O3L	-1 153,74	-1 676,17	609,39	191,83	-1 126,50	-1 335,48	419,07	252,05	-1 097,02	-1 097,02	298,80	298,80
O3P	-424,86	-1 178,06	0,68	-39,98	-561,46	-862,74	-9,79	-26,05	-624,68	-624,68	-16,16	-16,16
O4	-95,18	-926,08	27,95	-28,23	-297,02	-629,38	10,59	-11,88	-385,64	-385,64	1,05	1,05
O5	-3,63	-448,92	33,45	7,26	-155,37	-333,48	20,14	9,66	-194,96	-194,96	14,18	14,18
O6	-95,21	-926,11	27,95	-28,03	-297,05	-629,41	10,59	-11,80	-385,67	-385,67	1,05	1,05
O7L	-424,86	-1 178,06	0,68	-39,98	-561,46	-862,74	-9,79	-26,05	-624,68	-624,68	-16,16	-16,16
O7P	-1 153,74	-1 676,17	609,38	191,82	-1 126,50	-1 335,48	419,06	252,04	-1 097,02	-1 097,02	298,79	298,79
O8	-1 181,43	-1 710,06	-129,86	-267,84	-1 154,52	-1 365,97	-137,67	-192,86	-1 125,62	-1 125,62	-153,74	-153,74
O9	-1 200,13	-1 728,48	-23,14	-490,43	-1 173,62	-1 384,96	-131,53	-318,45	-1 145,31	-1 145,31	-229,29	-229,29

Tab. 30: Vnitřní síly na oblouku od Kombinace 2

K2	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
M1	-8,63	-16,27	0,00	0,00	-8,63	-11,69	0,00	0,00	-8,63	-8,63	0,00	0,00
M2	2,65	-1,78	225,48	110,53	1,22	-0,55	160,94	114,96	0,28	0,28	117,67	117,67
M3L	30,64	8,39	-184,08	-336,72	20,39	11,49	-180,44	-241,49	13,57	13,57	-178,63	-178,63
M3P	-161,46	-909,33	-3,54	-20,79	-321,01	-620,15	-7,67	-14,57	-443,83	-443,83	-10,51	-10,51
M4	-780,38	-1 433,21	28,07	6,20	-799,40	-1 060,53	17,02	8,27	-862,09	-862,09	12,19	12,19
M5L	-161,47	-909,34	-3,54	-20,79	-321,01	-620,16	-7,67	-14,57	-443,83	-443,83	-10,51	-10,51
M5P	30,63	8,38	-183,32	-335,96	20,38	11,48	-179,68	-240,73	13,56	13,56	-177,87	-177,87
M6	2,65	-1,76	225,48	110,53	1,22	-0,55	160,94	114,96	0,28	0,28	117,67	117,67
M7	-8,63	-16,27	0,00	0,00	-8,63	-11,69	0,00	0,00	-8,63	-8,63	0,00	0,00

Tab. 31: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 2

K3	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
O1	-1 377,84	-1 589,18	357,89	170,97	-1 299,75	-1 299,75	140,83	140,83	-1 287,31	-1 287,31	111,01	111,01
O2	-1 364,92	-1 576,37	70,90	15,71	-1 284,74	-1 284,74	3,99	3,99	-1 271,93	-1 271,93	-8,72	-8,72
O3L	-1 343,97	-1 552,95	292,29	125,26	-1 261,48	-1 261,48	202,91	202,91	-1 248,23	-1 248,23	210,64	210,64
O3P	-1 096,05	-1 397,33	-21,43	-37,69	-1 028,96	-1 028,96	-24,96	-24,96	-996,39	-996,39	-24,26	-24,26
O4	-1 179,09	-1 511,45	-28,45	-50,92	-1 052,71	-1 052,71	-28,47	-28,47	-998,96	-998,96	-26,10	-26,10
O5	-1 337,40	-1 515,51	-35,74	-46,22	-1 088,87	-1 088,87	-28,08	-28,08	-1 016,84	-1 016,84	-24,68	-24,68
O6	-1 179,13	-1 511,49	-28,45	-50,84	-1 052,74	-1 052,74	-28,47	-28,47	-998,99	-998,99	-26,10	-26,10
O7L	-1 096,05	-1 397,33	-21,43	-37,69	-1 028,96	-1 028,96	-24,96	-24,96	-996,39	-996,39	-24,26	-24,26
O7P	-1 343,97	-1 552,95	292,28	125,25	-1 261,48	-1 261,48	202,90	202,90	-1 248,23	-1 248,23	210,63	210,63
O8	-1 364,88	-1 576,33	70,90	15,71	-1 284,70	-1 284,70	3,99	3,99	-1 271,89	-1 271,89	-8,72	-8,72
O9	-1 377,85	-1 589,19	357,89	170,97	-1 299,76	-1 299,76	140,83	140,83	-1 287,32	-1 287,32	111,01	111,01

Tab. 32: Vnitřní síly na oblouku od Kombinace 3

K3	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
M1	-8,73	-11,79	0,00	0,00	-8,69	-8,69	0,00	0,00	-8,68	-8,68	0,00	0,00
M2	1,05	-0,72	165,70	119,72	0,15	0,15	121,26	121,26	0,16	0,16	120,97	120,97
M3L	20,22	11,32	-168,53	-229,58	13,44	13,44	-169,62	-169,62	13,45	13,45	-170,35	-170,35
M3P	-4,98	-304,13	-6,25	-13,15	-204,83	-204,83	-9,43	-9,43	-224,09	-224,09	-9,52	-9,52
M4	160,91	-100,22	-31,69	-40,44	-135,86	-135,86	-24,65	-24,65	-194,38	-194,38	-21,68	-21,68
M5L	-4,98	-304,13	-6,25	-13,15	-204,83	-204,83	-9,43	-9,43	-224,09	-224,09	-9,52	-9,52
M5P	20,21	11,31	-167,78	-228,83	13,43	13,43	-168,87	-168,87	13,44	13,44	-169,60	-169,60
M6	1,05	-0,71	165,70	119,72	0,15	0,15	121,26	121,26	0,16	0,16	120,97	120,97
M7	-8,73	-11,79	0,00	0,00	-8,69	-8,69	0,00	0,00	-8,68	-8,68	0,00	0,00

Tab. 33: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 3

K4	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
O1	-1 093,83	-1 305,17	-322,71	-509,63	-1 129,34	-1 129,34	-267,53	-267,53	-1 145,30	-1 145,30	-229,29	-229,29
O2	-1 072,38	-1 283,83	-219,14	-274,33	-1 109,22	-1 109,22	-170,03	-170,03	-1 125,66	-1 125,66	-153,74	-153,74
O3L	-1 041,55	-1 250,53	468,60	301,57	-1 080,03	-1 080,03	308,70	308,70	-1 097,02	-1 097,02	298,80	298,80
O3P	-352,63	-653,91	-5,24	-21,50	-582,91	-582,91	-15,25	-15,25	-624,68	-624,68	-16,16	-16,16
O4	47,54	-284,82	25,84	3,37	-316,73	-316,73	4,10	4,10	-385,64	-385,64	1,05	1,05
O5	306,36	128,25	41,97	31,49	-102,61	-102,61	18,55	18,55	-194,96	-194,96	14,18	14,18
O6	47,51	-284,85	25,84	3,45	-316,76	-316,76	4,10	4,10	-385,67	-385,67	1,05	1,05
O7L	-352,63	-653,91	-5,24	-21,50	-582,91	-582,91	-15,25	-15,25	-624,68	-624,68	-16,16	-16,16
O7P	-1 041,55	-1 250,53	468,59	301,56	-1 080,03	-1 080,03	308,69	308,69	-1 097,02	-1 097,02	298,79	298,79
O8	-1 072,34	-1 283,79	-219,14	-274,33	-1 109,18	-1 109,18	-170,03	-170,03	-1 125,62	-1 125,62	-153,74	-153,74
O9	-1 093,84	-1 305,18	-322,71	-509,63	-1 129,35	-1 129,35	-267,53	-267,53	-1 145,31	-1 145,31	-229,29	-229,29

Tab. 34: Vnitřní síly na oblouky od Kombinace 4

K4	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
M1	-8,63	-11,69	0,00	0,00	-8,63	-8,63	0,00	0,00	-8,63	-8,63	0,00	0,00
M2	1,28	-0,49	159,09	113,11	0,29	0,29	117,29	117,29	0,28	0,28	117,67	117,67
M3L	20,45	11,55	-185,09	-246,14	13,58	13,58	-179,56	-179,56	13,57	13,57	-178,63	-178,63
M3P	-444,45	-743,60	-8,23	-15,13	-468,51	-468,51	-10,62	-10,62	-443,83	-443,83	-10,51	-10,51
M4	-1 174,52	-1 435,65	36,04	27,29	-937,11	-937,11	15,99	15,99	-862,09	-862,09	12,19	12,19
M5L	-444,46	-743,61	-8,23	-15,13	-468,52	-468,52	-10,62	-10,62	-443,83	-443,83	-10,51	-10,51
M5P	20,44	11,54	-184,33	-245,38	13,57	13,57	-178,80	-178,80	13,56	13,56	-177,87	-177,87
M6	1,28	-0,48	159,09	113,11	0,29	0,29	117,29	117,29	0,28	0,28	117,67	117,67
M7	-8,63	-11,69	0,00	0,00	-8,63	-8,63	0,00	0,00	-8,63	-8,63	0,00	0,00

Tab. 35: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 4

Návrh	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
O1	-1 093,83	-1 898,88	385,22	-509,63	-1 129,34	-1 526,96	208,77	-318,45	-1 145,30	-1 287,31	111,01	-229,29
O2	-1 072,38	-1 885,62	70,90	-274,33	-1 109,22	-1 512,28	7,35	-192,86	-1 125,66	-1 271,93	-8,72	-153,74
O3L	-1 041,55	-1 857,62	609,39	86,04	-1 080,03	-1 486,69	419,07	163,89	-1 097,02	-1 248,23	298,80	210,64
O3P	-352,63	-1 624,11	0,68	-49,69	-561,46	-1 234,45	-9,79	-34,15	-624,68	-996,39	-16,16	-24,26
O4	47,54	-1 662,06	27,95	-60,80	-297,02	-1 242,70	10,59	-39,03	-385,64	-998,96	1,05	-26,10
O5	306,36	-1 515,51	41,97	-46,22	-102,61	-1 155,36	20,14	-29,19	-194,96	-1 016,84	14,18	-24,68
O6	47,51	-1 662,09	27,95	-60,60	-297,05	-1 242,73	10,59	-38,95	-385,67	-998,99	1,05	-26,10
O7L	-352,63	-1 624,11	0,68	-49,69	-561,46	-1 234,45	-9,79	-34,15	-624,68	-996,39	-16,16	-24,26
O7P	-1 041,55	-1 857,62	609,38	86,03	-1 080,03	-1 486,69	419,06	163,88	-1 097,02	-1 248,23	298,79	210,63
O8	-1 072,34	-1 885,58	70,90	-274,33	-1 109,18	-1 512,24	7,35	-192,86	-1 125,62	-1 271,89	-8,72	-153,74
O9	-1 093,84	-1 898,89	385,22	-509,63	-1 129,35	-1 526,97	208,77	-318,45	-1 145,31	-1 287,32	111,01	-229,29

Tab. 36: Hodnoty pro posouzení MSP na oblouku

Návrh	Charakteristická kombinace				Častá kombinace				Kvazistálá kombinace			
	N		M		N		M		N		M	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
M1	-8,63	-16,33	0,00	0,00	-8,63	-11,74	0,00	0,00	-8,63	-8,68	0,00	0,00
M2	2,65	-1,92	229,45	110,53	1,22	-0,67	164,25	114,96	0,28	0,16	120,97	117,67
M3L	30,64	8,25	-168,53	-336,72	20,39	11,37	-169,62	-241,49	13,57	13,45	-170,35	-178,63
M3P	102,22	-909,33	-2,35	-20,79	-101,27	-620,15	-6,68	-14,57	-224,09	-443,83	-9,52	-10,51
M4	160,91	-1 435,65	36,04	-40,44	-131,68	-1 060,53	17,02	-25,60	-194,38	-862,09	12,19	-21,68
M5L	102,22	-909,34	-2,35	-20,79	-101,27	-620,16	-6,68	-14,57	-224,09	-443,83	-9,52	-10,51
M5P	30,63	8,24	-167,78	-335,96	20,38	11,36	-168,87	-240,73	13,56	13,44	-169,60	-177,87
M6	2,65	-1,90	229,45	110,53	1,22	-0,66	164,25	114,96	0,28	0,16	120,97	117,67
M7	-8,63	-16,33	0,00	0,00	-8,63	-11,74	0,00	0,00	-8,63	-8,68	0,00	0,00

Tab. 37: Hodnoty pro posouzení MSP na mostovce

6. Technologie výstavby a její dopad na návrh konstrukce

V této kapitole se budu zabývat tím, jak bude konstrukce realizována na stavbě.

Nabízejí se 3 varianty, jak lávku postavit:

- a) Monolitická výstavba
- b) Prefa-monolitická výstavba
- c) Výstavba z prefabrikátů

6.1 Monolitický způsob výstavby

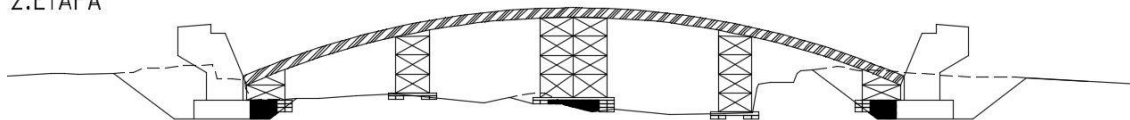
Tato varianta zahrnuje monoliticky zhotovený oblouk i mostovku.

Schematicky je postup výstavby znázorněn na obr.154.

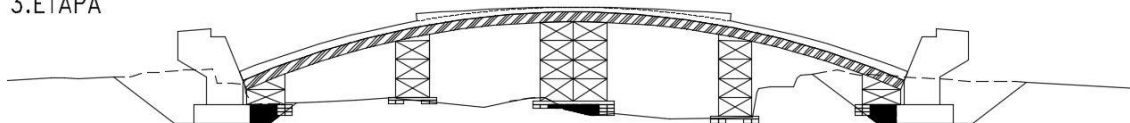
1.ETAPA



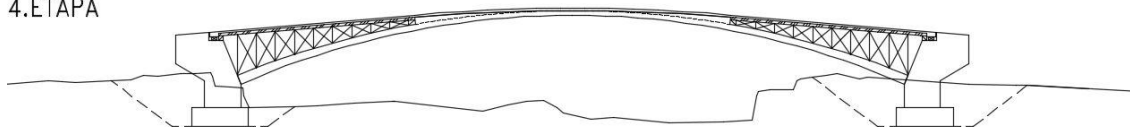
2.ETAPA



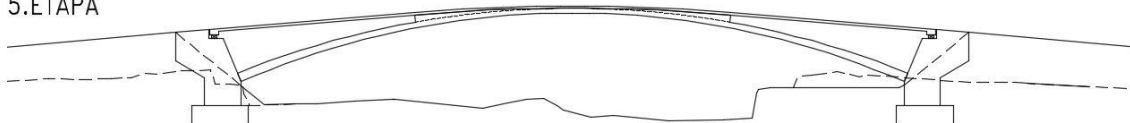
3.ETAPA



4.ETAPA



5.ETAPA



Obr. 154: Schéma postupu výstavby

Výstavba je rozdělena do následujících etap:

1. Etapa zahrnuje zemní práce- výkopy pro základy opěr, vyhotovení podkladních betonů a základů opěr.

V 2. etapě jsou realizovány opěry, současně s nimi mohou být postaveny opěrné bárky pro skruž a poté zhotovení bednění.

Ve 3.etapě se zrealizuje oblouk.

Ve 4.etapě se zhotoví mostovka a provede zásyp základů.

V 5.etapě se provedou násypová tělesa, pochozí vrstva mostovky z přímopochozí izolace, osadí se zábradlí, opěry se obloží kamenem z místního zdroje a upraví se terén pod lávkou.

Výhodou tohoto způsobu výstavby je snažší doprava čerstvého betonu, než prefabrikovaných dílců, ale je třeba mít na paměti, že nejbližší betonárna je přibližně 40km cesty od místa stavby. Dále není potřeba velkých zvedacích prostředků, postačí menší autojeřáb, nebo vůz s vykládacím ramenem pro manipulaci s prvky na podpěrné konstrukce. Nevýhodou je nutnost realizace podpěrných konstrukcí. Vzhledem k místu stavby bude nejspíš znemožněno výstavbě těchto konstrukcí.

Ze statického hlediska nemá tento způsob výstavby zásadnější vliv na změnu statického systému oproti výpočtovému modelu. Po odskržení bude oblouk zatížen vlastní tíhou. Při realizaci mostovky navíc podpěrnou konstrukcí a bedněním, tíhou čerstvého betonu, výztuže a pracovníky. Zatížení bude na oblouk přenášeno rovnoměrně - nebude tedy působit jen ve střední části jako na hotové konstrukci. V součtu však toto zatížení nepřesáhne zatížení plným modelem LM4.

6.2 Prefa-monolitická výstavba

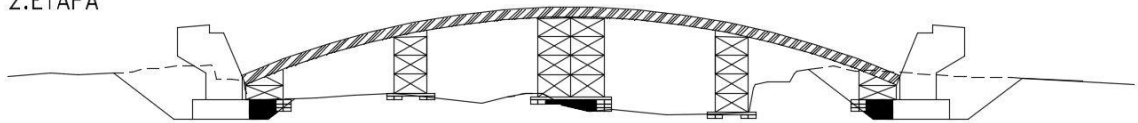
Konstrukce je z části monolitická (monoliticky vyhotovený oblouk a část mostovky ve střední části) a z části prefabrikovaná (krajní části mostovky).

Schematický postup výstavby je znázorněn na obr.155.

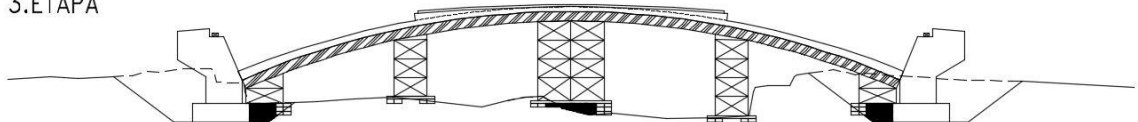
1.ETAPA



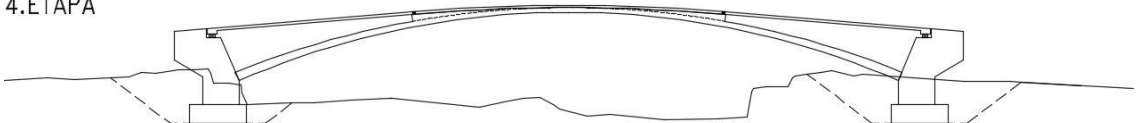
2.ETAPA



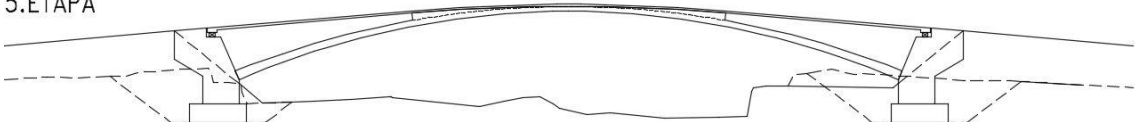
3.ETAPA



4.ETAPA



5.ETAPA



Obr. 155: Schéma postupu výstavby

V 1. etapě se provedou zemní práce - výkopy pro základy. Následně se zhotoví podkladní betony a základy pro opěry.

V 2. etapě se zhotoví opěry. Současně s nimi se mohou stavět podpěrné konstrukce pro bednění oblouku.

Ve 3. etapě se vyhotoví oblouk.

Ve 4. etapě se osadí prefabrikované části mostovky a zmonolitní se spoje.

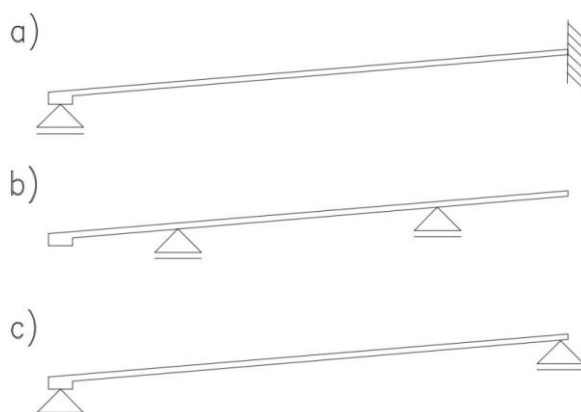
V 5. etapě se provedou násypová tělesa, zásypy opěr, obklad opěr kamenem, zhotovení pochozí vrstvy, osadí se zábradlí a terén pod lávkou se uvede do původního stavu.

Výhodou tohoto způsobu výstavby je, že odpadne část mokrého procesu - výstavby mostovky. Střední část mostovky bude vybetonována společně s obloukem a zbývající části budou prefabrikované, dojde tedy ke zkrácení doby výstavby. Jako v předchozím případě bude nutné postavit podpěrné konstrukce pro bednění oblouku a počítat s dobou dopravy betonové směsi zhruba 45 minut.

Prefabrikovaný dílec mostovky má délku 10,85m a hmotnost cca 14,5t. Není třeba se bát komplikací s dopravou dílců na stavbu, protože po přilehlých komunikacích se běžně přepravuje vytěžené dřevo přibližně stejných délek. Pro manipulaci s dílci je potřeba autojeřáb s nosností alespoň 130t (např. LTM 1130-5.1) - předpokládám vyložení do 20m horizontálně a max. 10m vertikálně (únosnost je zhruba 21t) [13].

Ze statického hlediska se podobně jako v předchozím případě pro oblouk nic nemění. Po odskružení bude má tvar a podepření totožné s výpočetním modelem zatížen je jen vlastní tíhou a tíhou mostovky ve střední části. Při montáži prefabrikovaných dílců mostovky bude přenášet část tíhy mostovky a pracovníky pohybující se při montáži po mostovce, materiál a potřebné nástroje.

Mostvkový dílec však statické působení změní. V dokončeném stavu působí jako nosník vlevo uložený na posuvném kloubu (uložení na opěře) a vpravo vetknutý (spojení s částí mostovky realizovanou monoliticky), viz. obr.156-a). Při manipulaci bude působit jako nosník s převyslými konci (obr.156-b)) a před spojením s hotovou mostovkou jako prostý nosník (na opěře dočasně pevné uložení a u oblouku posuvné uložení), viz. obr.156-c).



Obr. 156: Statické působení prefabrikovaného dílce mostovky

6.3 Výstavba z prefabrikátů

Výstavba konstrukce lávky bude provedena z prefabrikovaných dílců oblouku i mostovky. Oblouk bude složen ze dvou stejných prefabrikovaných dílců, které budou ve střední části uloženy na podpěrnou bárku a na opěrách budou uloženy do kapes a po dobu montáže i podepřeny. Ve střední části dojde ke spojení výztuží dílců a zmonolitnění (část dlouhá 1,5m), aby byla zajištěna spojitost oblouku. Dílce oblouku budou vyrobeny včetně mostovky. Krajiní dílce mostovky se osadí stejně jako v předchozím případě (kap. 6.2).

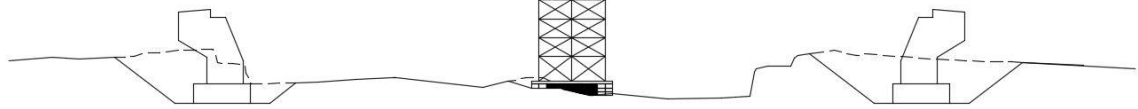
Schematický postup výstavby je na obr.157. Výstavba je opět rozdělena do etap:

1. Etapa - provedení zemních prací, podkladních betonů a základů opěr,
2. Etapa - provedení opěr a příprava podpůrných bárek,
3. Etapa - osazení prefabrikátů a jejich spojení,
4. Etapa - osazení prefabrikovaných dílců mostovky a spojení,
5. Etapa - zhotovení náspu, obsyp základů, obložení opěr kamenem, zhotovení pochozí vrstvy mostovky a osazení zábradlí, úprava terénu pod lávkou.

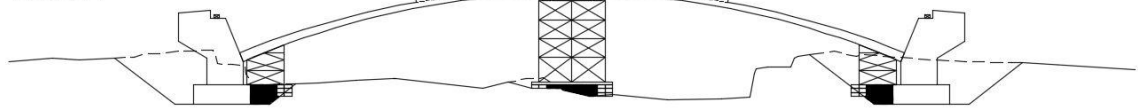
1.ETAPA



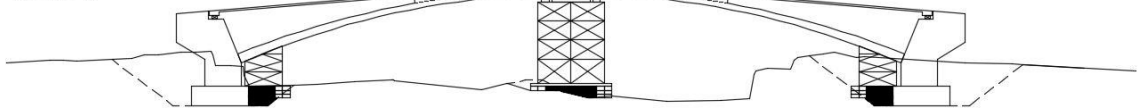
2.ETAPA



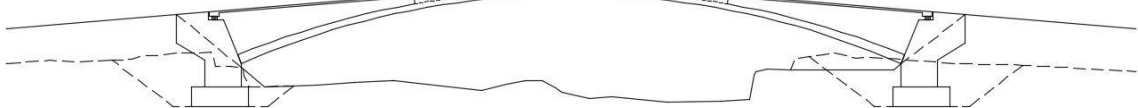
3.ETAPA



4.ETAPA



5.ETAPA

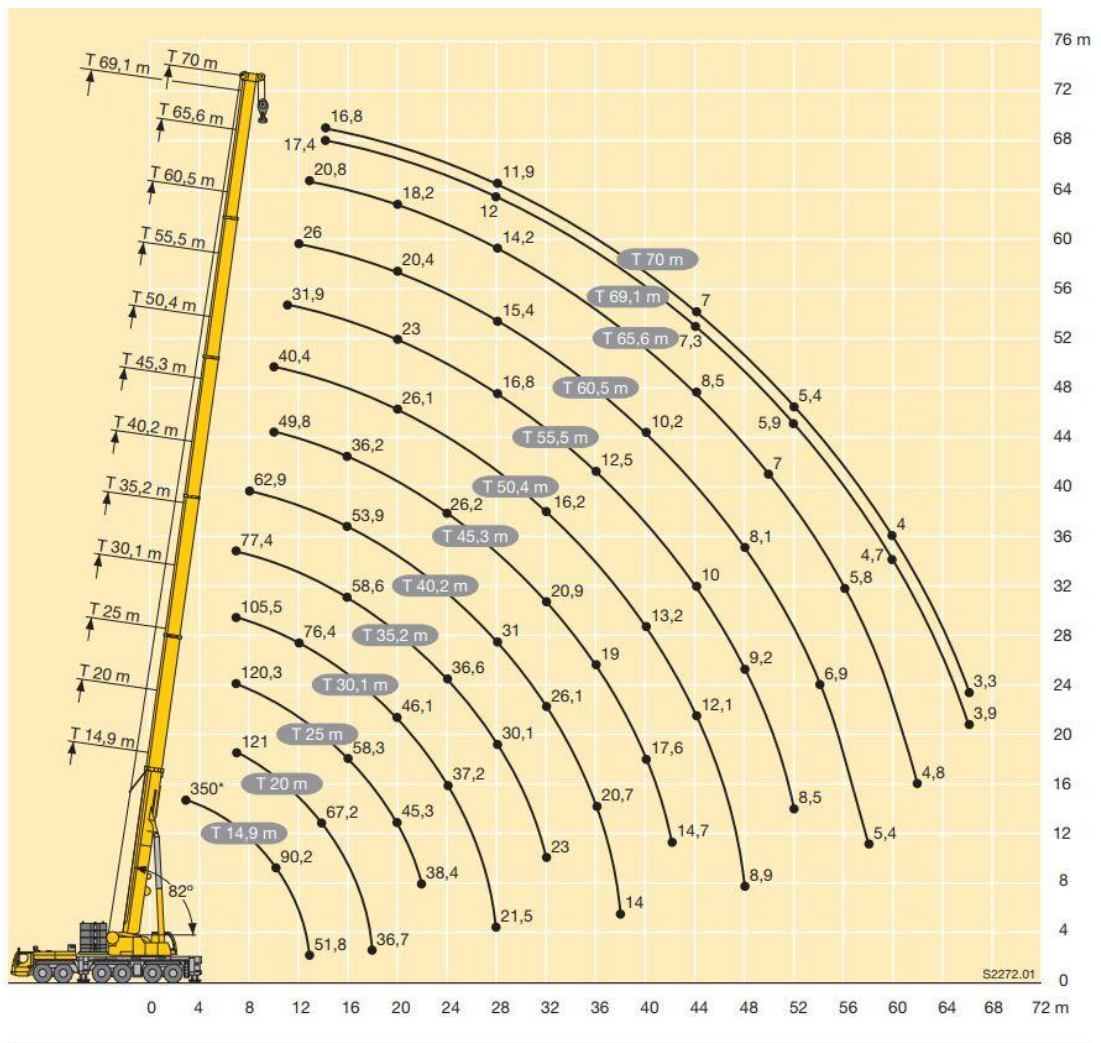


Obr. 157: Schéma postupu výstavby

Výhoda výstavby z prefabrikátů je v odstranění většiny mokrých procesů (zůstane jen zmonolitňování spojů). Odpadne nutnost stavět složité bednění mostovky a oblouku na stavbě a jejich podpurné konstrukce - postačí bárka ve střední části a u opěr.

Nevýhodou se v tomto případě jeví doprava dílců oblouku. Vzhledem k větším rozměrům a hmotnosti prefabrikátů oproti mostkovým dílcům, by mohli nastat problémy s dopravou. Délka jednoho dílce je 17,2m a hmotnost přibližně 33,9t. Pro manipulaci tedy bude potřeba většího autojeřábu a bude nutné ověřit, zda lze dílce na stavbu dopravit.

Uvažuji stejné vyložení jako pro mostovku, tedy 20m horizontálně a 10m vertikálně. Únosnost jeřábu při takovém vyložení musí být tedy minimálně 33,9t a podle grafu na obr. 158 budu jeřáb vybírat.



Obr. 158: Graf pro stanovení únosnosti jeřábu (LTM 1350-6.1) [14]

Únosnost při požadovaném vyložení je tedy přibližně 40t a to vyhovuje jak pro manipulaci s mostovkovými dílci, tak s dílci oblouku. Únosnost jeřábu tedy musí být alespoň 350t (uvažuji LTM 1350-6.1). Rozměry břemena pro přepravu jsou přibližně 17,2m délky, 3,2m šířky a výška v nejvyšším místě 1,6m. Doprava na stavbu by byla relativně komplikovaná, vzhledem k rozměrům soupravy, která by dílce převážela

I přes výhody, které přináší výstavba z prefabrikátů, jako např. urychlení výstavby, stále zůstává potřeba stavět podpěrné konstrukce, vznikají náročné detaily v místech napojení a proto si dovoluji preferovat výstavbu čistě monolitickým způsobem.

7. Posouzení konstrukce

Nyní mnou navrženou konstrukci posoudím na mezní stav únosnosti i použitelnosti. Z výsledků získaných v předchozích kapitolách je zřejmé, že extrémní hodnoty vnitřních sil jsou na konstrukci symetrické a budu tedy posuzovat jen polovinu konstrukce (na oblouku průřezy O1, O2, O3L, O3P, O4 a O5; na mostovce M1, M2, M3L, M3P a M4). Nejdříve posoudím MSÚ, abych si ověřil, že navržené průřezy jsou schopny přenést zatížení.

7.1 Mezní stav únosnosti

7.1.1 Posouzení oblouku

Z přehledu vnitřních sil je patrné, že průřezy budou převážně namáhány tlakem, ale v některých situacích i tahem. Posoudit tedy musím oba extrémy.

Průřez char.	Řez					
	O1	O2	O3L	O3P	O4	O5
Šířka [m]	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60	1,60
Výška [m]	0,50	0,41	0,31	0,31	0,27	0,25
Plocha A [m ²]	0,80	0,66	0,49	0,49	0,44	0,40
zT [m]	0,25	0,21	0,15	0,15	0,14	0,13
I _y [m ⁴]	0,0167	0,0094	0,0038	0,0038	0,0027	0,0021
W _y [m ³]	0,0667	0,0455	0,0248	0,0248	0,0197	0,0167

Tab. 38: Průřezové charakteristiky posuzovaných řezů

Pomocí vztahu $\sigma_c = \frac{N}{A} \pm \frac{M_y}{W_y}$ si spočítám napětí v řezech.

Řez	Max [MPa]		Min [MPa]	
	σ_c^h	σ_c^d	σ_c^h	σ_c^d
O1	-9,82	6,81	7,96	-14,40
O2	-4,63	1,06	4,81	-12,55
O3L	-35,82	31,14	-7,53	-2,81
O3P	-0,74	-0,26	-7,29	-1,83
O4	-1,47	2,92	-9,53	-1,00
O5	-2,17	5,60	-9,43	-1,34

Tab.39: Normálová napětí ve vybraných řezech oblouku

Z výsledků vyplývá, že oblouk je v některých situacích namáhán i tahem a proto je nutné navrhnout výztuž, která tato namáhání přenesou.

Řez 01

Největší napětí je v dolních vláknech průřezu: $\sigma_c^d = -14,40 \text{ MPa}$, to je menší než návrhová

hodnota betonu v tlaku:

$$\sigma_c^d = |-14,40| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$$

Horní vlákna průřezu jsou tažená, navrhnu tedy výztuž:

$$M_{Ed} = 745,35 \text{ kNm}$$

Průměr třmíneků (nebo spon) a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 20mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(20; 25\text{mm}; 10\text{mm}) = 25\text{mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10\text{mm} = 35\text{mm} \rightarrow c = 40\text{mm}$$

Staticky účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 500 - 40 - 8 - \frac{20}{2} = 442\text{mm}$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{745,35 \cdot 10^6}{1600 \cdot 442^2 \cdot 21,0} = 0,114 \text{ z tabulky dostanu } \zeta = 0,9402$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{745,35 \cdot 10^6}{0,9402 \cdot 442 \cdot 435} = 4123\text{mm}^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 20}} = \frac{4123}{314} = 13,1$$

Návrh: 14x Ø 20mm ($A_{s,prov} = 4396 \text{ mm}^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{4396 \cdot 435}{1600 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 21} = 71,14\text{mm}$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{71,14}{442} = 0,161 < \xi_{bal} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 442 - 0,4 \cdot 71,14 = 413,5\text{mm}$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 4396 \cdot 435 \cdot 413,5 = 790\,719\,510 \text{ Nmm} = 790,72 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 745,35 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 790,72 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 3,2 \cdot 1600 \cdot 442}{500} = 1177 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1600 \cdot 500 = 32000 \text{ mm}^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 105 - 20 = 85 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\phi; D_{max} + 5) = \max(20; 24; D_{max} + 5) = 24 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 105 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(1000; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (442 - 71,14)}{71,14} = 18,2 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

Řez O2

Největší napětí je v dolních vláknech průřezu $\sigma_c^d = -12,55 \text{ MPa}$, to je menší než návrhová

hodnota betonu v tlaku:

$$\sigma_c^d = |-12,55| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$$

Návrh výztuže (při horním povrchu):

$$M_{Ed} = 394,79 \text{ kNm}$$

Průměr třmínků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 18mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(18; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm} \rightarrow c = 40 \text{ mm}$$

Statically účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 413 - 40 - 8 - \frac{18}{2} = 356 \text{ mm}$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{394,79 \cdot 10^6}{1600 \cdot 356^2 \cdot 21,0} = 0,093 \quad \text{z tabulky dostanu } \xi = 0,951$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{394,79 \cdot 10^6}{0,951 \cdot 356 \cdot 435} = 2681 \text{ mm}^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 18}} = \frac{2681}{254} = 10,6$$

Návrh: 12x Ø 18mm ($A_{s,prov} = 3054 \text{ mm}^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{3054 \cdot 435}{1600 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 21} = 49,4 \text{ mm}$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{49,4}{356} = 0,139 < \xi_{bal} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 356 - 0,4 \cdot 49,4 = 336,2 \text{ mm}$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 3054 \cdot 435 \cdot 336,2 = 446638338 \text{ Nmm} = 446,64 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 394,79 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 446,64 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 3,2 \cdot 1600 \cdot 356}{500} = 948 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1600 \cdot 413 = 26432 \text{ mm}^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 125 - 18 = 107 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\phi; D_{max} + 5) = \max(20; 21,6; D_{max} + 5) = 22 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 125 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(1000; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (356 - 49,4)}{49,4} = 21,7 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

Řez O3L

Největší napětí je v horních vláknech průřezu $\sigma_c^h = -35,82 \text{ MPa}$, to je větší než návrhová hodnota pevnosti betonu v tlaku:

$$\sigma_c^h = |-35,82| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$$

Nevyhovuje

Napětí v betonu je větší, než jaké dokáže přenést, upravím průřez oblouku - ve vrcholu zvětším výšku na 300mm a použiji beton vyšší pevnostní třídy - C50/60 ($f_{ck}=50 \text{ MPa}$, $f_{cd}=0,9 \cdot 50 / 1,5 = 30 \text{ MPa}$), pak..

$$\sigma_c^h = |-28,49| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 30,0 \text{ MPa}$$

Návrh výztuže (při dolním povrchu):

$$M_{Ed} = 831,59 \text{ kNm}$$

Průměr třmíneků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 25mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(25; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm} \rightarrow c = 40 \text{ mm}$$

Staticky účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 344 - 40 - 8 - \frac{24}{2} = 284 \text{ mm}$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{831,59 \cdot 10^6}{1600 \cdot 284^2 \cdot 30,0} = 0,212 \text{ z tabulky dostanu } \xi = 0,8796$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{831,59 \cdot 10^6}{0,8796 \cdot 284 \cdot 435} = 7600 \text{ mm}^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\emptyset 24}} = \frac{7600}{452} = 16,8$$

Návrh: 17x \emptyset 25mm ($A_{s,prov} = 7684 \text{ mm}^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{7684 \cdot 435}{1600 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 30} = 87 \text{ mm}$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{87}{284} = 0,306 < \xi_{bal} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 284 - 0,4 \cdot 84 = 250,4 \text{ mm}$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 7684 \cdot 435 \cdot 250,4 = 836\,972\,016 \text{ Nmm} = 836,97 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 831,59 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 836,97 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 4,1 \cdot 1600 \cdot 284}{500} = 968,8 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1600 \cdot 344 = 22016 \text{ mm}^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 88 - 24 = 64 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\emptyset; D_{max} + 5) = \max(20; 29; D_{max} + 5) = 29 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 88 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(688; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (284 - 84)}{84} = 8,33 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

Řez O3P

Největší napětí je v horních vláknech průřezu $\sigma_c^t = -6,19 \text{ MPa}$, nejmenší $\sigma_c^d = -0,26 \text{ MPa}$.

Tah tedy v průřezu nevzniká, nicméně bude v průřezu stejná výztuž jako v O3L.

Řez O4

Největší napětí je v dolních vláknech průřezu $\sigma_c^d = |-7,64| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 30,0 \text{ MPa}$

Návrh výztuže (při horním povrchu):

$$M_{Ed} = 84,23 \text{ kNm}$$

Průměr třmínků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 14mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(14; 25\text{mm}; 10\text{mm}) = 25\text{mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10\text{mm} = 35\text{mm} \rightarrow c = 40\text{mm}$$

Statically účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 318 - 40 - 8 - \frac{14}{2} = 263 \text{ mm}$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{84,23 \cdot 10^6}{1600 \cdot 263^2 \cdot 30,0} = 0,025 \text{ z tabulky dostanu } \xi = 0,987$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{84,23 \cdot 10^6}{0,987 \cdot 263 \cdot 435} = 746 \text{ mm}^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 14}} = \frac{746}{154} = 4,8$$

Návrh: 6x $\phi 14\text{mm}$ ($A_{s,prov} = 924\text{mm}^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{924 \cdot 435}{1600 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 30} = 10,5\text{mm}$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{10,5}{263} = 0,04 < \xi_{bal} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 263 - 0,4 \cdot 10,5 = 258,8 \text{ mm}$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 924 \cdot 435 \cdot 258,8 = 104\,022\,072 \text{ Nmm} = 104,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 84,23 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 104,02 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 4,1 \cdot 1600 \cdot 263}{500} = 897 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1600 \cdot 318 = 20352 \text{ mm}^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 250 - 14 = 236 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\phi; D_{max} + 5) = \max(20; 17; D_{max} + 5) = 20 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 250 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(636; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (263 - 10,5)}{10,5} = 84,2 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

Řez 05

Největší napětí je v horních vláknech průřezu $\sigma_c^h = |-7,30| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 30,0 \text{ MPa}$

Návrh výztuže:

$$M_{Ed} = 67,50 \text{ kNm}$$

Průměr třmíneků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 10mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(10; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10mm = 35mm \rightarrow c = 40mm$$

Statically účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 300 - 40 - 8 - \frac{10}{2} = 247 mm$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{67,50 \cdot 10^6}{1600 \cdot 247^2 \cdot 30,0} = 0,023 \text{ z tabulky dostanu } \xi = 0,988$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{67,5 \cdot 10^6}{0,988 \cdot 247 \cdot 435} = 636 mm^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 10}} = \frac{636}{78} = 8,1$$

Návrh: 6x ϕ 14mm ($A_{s,prov} = 924mm^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{924 \cdot 435}{1600 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 30} = 10,5mm$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{10,5}{247} = 0,04 < \xi_{bal} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 245 - 0,4 \cdot 10,5 = 240,8mm$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 924 \cdot 435 \cdot 240,8 = 96\,787\,152 Nmm = 96,79 kNm$$

$$M_{Ed} = 67,50 kNm \leq M_{Rd} = 96,79 kNm$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 4,1 \cdot 1600 \cdot 245}{500} = 836 mm^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 1600 \cdot 300 = 19200 mm^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 250 - 14 = 236 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\phi; D_{max} + 5) = \max(20; 17; D_{max} + 5) = 20 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 250 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(600; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (245 - 10,5)}{10,5} = 78,2 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

7.1.2 Posouzení mostovky

Mostovku posoudím stejně jako oblouk. V tab. 41 jsou průřezové charakteristiky průřezu mostovky a v tab. 42 normálová napětí v řezech.

Průřez. char.	Řez				
	M1	M2	M3L	M3P	M4
Plocha A [m ²]	0,525	0,525	0,525	0,525	0,525
zT _d [m]	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
zT _h [m]	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098
I _y [m ⁴]	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
W _{yd} [m ³]	0,022	0,022	0,022	0,013	0,013
W _{yh} [m ³]	0,032	0,032	0,032	0,019	0,019

Tab. 41: Průřezové charakteristiky průřezu mostovky

Řez	Max [MPa]		Min [MPa]	
	σ_c^h	σ_c^d	σ_c^h	σ_c^d
M1	-0,02	-0,02	-0,04	-0,04
M2	-9,65	14,10	-3,89	5,66
M3L	6,04	-8,61	14,21	-20,69
M3P	0,45	0,37	-1,50	-3,66
M4	-0,97	3,30	-2,07	-6,59

Tab. 42: Normálová napětí na mostovce

Řez M2

Největší napětí je v horních vláknech průřezu $\sigma_c^h = |-9,65| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$

Návrh výztuže:

$$M_{Ed} = 310,02 \text{ kNm}$$

Průměr třmíneků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 14mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(14; 25mm; 10mm) = 25mm$$

$$c_{nom} = 25 + 10mm = 35mm \rightarrow c = 40mm$$

Staticky účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{cr} - \frac{\phi}{2} = 240 - 40 - 8 - \frac{14}{2} = 185 mm$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{310,02 \cdot 10^6}{1600 \cdot 185^2 \cdot 21,0} = 0,27 \text{ z tabulky dostanu } \zeta = 0,839$$

Minimální plocha výztuže:

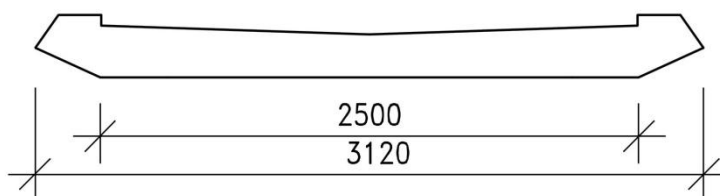
$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{310,02 \cdot 10^6}{0,839 \cdot 185 \cdot 435} = 4592 mm^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 14}} = \frac{4592}{154} = 29,8$$

Takový počet prutů v průřezu mostovky nerozmístím. Upravím tedy průřez a provedu výpočet znovu.

UPRAVENÝ PRŮŘEZ



Obr. 159: Upravený průřez mostovky

Průřez. char.	Řez				
	M1	M2	M3L	M3P	M4
Plocha A [m ²]	0,670	0,670	0,670	0,670	0,670
zT _d [m]	0,121	0,121	0,121	0,121	0,121
zT _h [m]	0,078	0,078	0,078	0,078	0,078
I _y [m ⁴]	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002
Wy _d [m ³]	0,026	0,026	0,026	0,015	0,015
Wy _h [m ³]	0,040	0,040	0,040	0,024	0,024

Tab. 43: Nové průřezové charakteristiky

Řez	Max [MPa]		Min [MPa]	
	σ_c^h	σ_c^d	σ_c^h	σ_c^d
M1	-0,01	-0,01	-0,03	-0,03
M2	-7,67	11,88	-3,09	4,77
M3L	4,80	-7,26	11,29	-17,44
M3P	0,36	0,29	-1,17	-2,94
M4	-0,78	2,74	-1,60	-5,32

Tab. 44: Nové hodnoty napětí na mostovce

Největší napětí je v horních vláknech průřezu $\sigma_c^h = |-7,67| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$

Průměr třmínků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 18mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(18; 25\text{mm}; 10\text{mm}) = 25\text{mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10\text{mm} = 35\text{mm} \rightarrow c = 40\text{mm}$$

Staticky účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 220 - 40 - 8 - \frac{18}{2} = 163 \text{ mm}$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{310,02 \cdot 10^6}{2800 \cdot 163^2 \cdot 21,0} = 0,198 \text{ z tabulky dostanu } \xi = 0,887$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\xi \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{310,02 \cdot 10^6}{0,887 \cdot 163 \cdot 435} = 4929 \text{ mm}^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 18}} = \frac{4929}{254} = 19,4$$

Návrh: 20x ϕ 18mm ($A_{s,prov} = 5080\text{mm}^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{5080 \cdot 435}{2800 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 21} = 47\text{mm}$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{47}{163} = 0,288 < \xi_{bal} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 163 - 0,4 \cdot 47 = 144,2 \text{ mm}$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 5080 \cdot 435 \cdot 144,2 = 318\,653\,160 \text{ Nmm} = 318,65 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 310,02 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 318,65 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 3,2 \cdot 2800 \cdot 163}{500} = 759 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 670000 = 26800 \text{ mm}^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 120 - 18 = 102 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\phi; D_{max} + 5) = \max(20; 22; D_{max} + 5) = 22 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 120 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(440; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (163 - 47)}{47} = 8,6 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

Řez M3L

Největší napětí je v dolních vláknech průřezu $\sigma_c^d = |-17,44| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$

$$M_{Ed} = 455,41 \text{ kNm}$$

Průměr třmínků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 25mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(25; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10mm = 35mm \rightarrow c = 40mm$$

Staticky účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 220 - 40 - 8 - \frac{25}{2} = 160 mm$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{455,41 \cdot 10^6}{2800 \cdot 160^2 \cdot 21,0} = 0,30 \text{ z tabulky dostanu } \zeta = 0,816$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{455,41 \cdot 10^6}{0,816 \cdot 160 \cdot 435} = 8019 mm^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 18}} = \frac{8019}{490} = 16,4$$

Návrh: 17x Ø 25mm ($A_{s,prov} = 8330mm^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{8330 \cdot 435}{2800 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 21} = 77mm$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{77}{160} = 0,48 < \xi_{bal} = 0,45 (0,617)$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 160 - 0,4 \cdot 77 = 129,2mm$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 8330 \cdot 435 \cdot 129,2 = 468\,162\,660 Nmm = 468,16 kNm$$

$$M_{Ed} = 455,41 kNm \leq M_{Rd} = 468,16 kNm$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 3,2 \cdot 2800 \cdot 160}{500} = 745 mm^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 670000 = 26800 mm^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 170 - 25 = 145 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\phi; D_{max} + 5) = \max(20; 30; D_{max} + 5) = 30 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 170 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(440; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (160 - 77)}{77} = 3,8 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

Řez M4

Největší napětí je v dolních vláknech průřezu $\sigma_c^d = |-5,32| \text{ MPa} \leq f_{cd} = 21,0 \text{ MPa}$

$$M_{Ed} = 59,04 \text{ kNm}$$

Průměr třmíneků a výztuže odhadnu na 8mm, resp. 10mm.

Krytí výztuže:

$$c_{min} = \max(10; 25 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 25 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = 25 + 10 \text{ mm} = 35 \text{ mm} \rightarrow c = 40 \text{ mm}$$

Staticky účinná výška průřezu:

$$d = h - c - \phi_{tr} - \frac{\phi}{2} = 220 - 40 - 8 - \frac{10}{2} = 167 \text{ mm}$$

Poměrný ohybový moment:

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{59,04 \cdot 10^6}{2800 \cdot 167^2 \cdot 21,0} = 0,036 \text{ z tabulky dostanu } \xi = 0,982$$

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{59,04 \cdot 10^6}{0,982 \cdot 167 \cdot 435} = 828 \text{ mm}^2$$

Počet prutů:

$$n = \frac{A_{s,req}}{A_{\phi 18}} = \frac{828}{78} = 10,6$$

Návrh: 12x Ø 10mm ($A_{s,prov} = 936 \text{ mm}^2$)

Výška tlačné oblasti:

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{936 \cdot 435}{2800 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 21} = 8,7 \text{ mm}$$

Kontrola vyztužení:

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{8,7}{167} = 0,05 < \xi_{bal} = 0,45$$

Rameno vnitřních sil:

$$z = d - 0,4 \cdot x = 167 - 0,4 \cdot 8,7 = 163,5 \text{ mm}$$

Návrhový moment únosnosti:

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 936 \cdot 435 \cdot 163,5 = 66\,570\,660 \text{ Nmm} = 66,57 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 59,04 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 66,57 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Ověření konstrukčních zásad

Minimální plocha výztuže:

$$A_{s,min} = \frac{0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b \cdot d}{f_{yk}} = \frac{0,26 \cdot 3,2 \cdot 2800 \cdot 167}{500} = 778 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 670000 = 26800 \text{ mm}^2$$

Minimální světlost mezi pruty:

$$s_l = 240 - 10 = 230 \text{ mm} \geq \max(20; 1,2\phi; D_{max} + 5) = \max(20; 12; D_{max} + 5) = 20 \text{ mm}$$

Maximální vzdálenost prutů:

$$s_{max} = 240 \text{ mm} \leq \min(2 \cdot h; 300 \text{ mm}) = \min(440; 300) = 300 \text{ mm}$$

Protažení výztuže:

$$\varepsilon_s = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (d - x)}{x} = \frac{3,5 \cdot (167 - 8,7)}{8,7} = 63,7 \text{ ‰} > \frac{f_{yd}}{E} = \frac{435}{200000} = 2,18 \text{ ‰}$$

Vyhovuje

8. Závěr

V této práci jsem řešil alternativní návrh na Černém Kříži na Šumavě. Na začátku jsem zpracoval několik variant, lišících se materiálovým i konstrukčním řešením, z nichž jsem si jednu vybral k podrobnějšímu návrhu. Vybral jsem si předpjatý pás podepřený obloukem, nicméně vzápětí jsem upustil od mostovky tvořené předpjatým pásem, původní návrh pozměnil a věnoval se studii vlivu vzepětí oblouku na vnitřní síly a deformace. Následně jsem z několika variant oblouků zvolil jeden a přistoupil k podrobnějšímu výpočtu vnitřních sil, tvorbě kombinací a posouzení konstrukce, včetně mostovky.

Výpočet byl zjednodušený, konstrukci jsem řešil jako rovinný model - se zanedbáním účinků větru a dynamických účinků od pohybu chodců. Konstrukci by ještě bylo třeba posoudit na mezní stavy použitelnosti, posoudit nutnost smykové výztuže, apod.

Nakonec se ukázalo, že návrh nebyl zcela vhodný. Konstrukce oblouku je poměrně značně namáhána ohybovými momenty a tahovým napětím a je potřeba ji hodně vyztužovat, čímž materiál ztrácí svoji přednost. Řešení mostovky, hlavně připojení v celé střední části, zřejmě také nebylo nejšťastnější, protože ohybové momenty na oblouku jsou v největší míře způsobené právě účinky od mostovky.

9. Použité zdroje

- [1] STRÁSKÝ, Jiří. *Betonové mosty*. Praha: Nakladatelství ŠEL, 2001. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika, [vol.] 21. ISBN 80-86426-05-X.
- [2] NAVRÁTIL, Jaroslav. *Předpjaté betonové konstrukce*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2649-7.
- [3] ČSN 73 6200. *Mosty - Terminologie a třídění*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizace, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [4] ČSN EN 1990 ed. 2: 2011 (73 0002) Eurokód: *Zásady navrhování konstrukcí*.
- [5] ČSN EN 1991-2: 2005 (73 0003) Eurokód 1: *Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou, vč. Opravy 1 - 02/2011 a Změny Z1 - 02/2010 a Změny Z2 - 03/2010 a Změny Z3 - 10/2012*.
- [6] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 1: přednášky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04661-6.
- [7] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2: přednášky*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05543-4.
- [8] ŠAFÁŘ, Roman. *Betonové mosty 2 - cvičení: návrh předpjátého mostu podle Eurokódů*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-800-1056-905.
- [9] PRAHA (Praha 5) - Janáčkovo nábřeží - krytá inspekční lávka a lávka na Dětský ostrov. *Encyklopedie Mostů* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://libri.cz/databaze/mosty/heslo.php?id=772>
- [10] Oblouková lávka s horní mostovkou. In: *Stráský, Hustý a partneři* [online]. [cit. 2019-03-14]. Dostupné z: <http://www.shp.eu/strasky-husty-a-partneri/projekty/mosty/lavky-pro-pesi/obloukove-konstrukce/lavka-pres-rychlostni-komunikace-r35-u-olomouce/>
- [11] Lávka přes rychlostní komunikaci R35 u Olomouce a přes řeku Svratku v Brně. *Silnice železnice* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/lavka-pres-rychlostni-komunikaci-r35-u-olomouce-a-pres-reku-svratku-v-brne/>
- [12] Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [13] LTM 1130-5.1. *LIEBHERR* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/ind/products/mobile-and-crawler-cranes/mobile-cranes/ltm-mobile-cranes/details/ltm113051.html>
- [14] LTM 1350-6.1. *LIEBHERR* [online]. [cit. 2019-05-26]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/ind/products/mobile-and-crawler-cranes/mobile-cranes/ltm-mobile-cranes/details/ltm135061.html>

Seznam příloh

Výkres č.1 - Podélný a příčný řez

Výkres č.2 - Půdorys

Seznam obrázků

Obr. 1: Statické schéma.....	3
Obr. 2: Poloha mostovky.....	4
Obr. 3: Schéma statického působení samokotvené konstrukce.....	5
Obr. 4: Návrhové parametry.....	5
Obr. 5: Typické příčné řezy konstrukce oblouku.....	6
Obr. 6: Most na dětský ostrov.....	7
Obr. 7: Lávka přes R35 u Olomouce.....	8
Obr. 8: Podélný řez lávkou.....	8
Obr. 9: Lávka přes řeku Svratku v Brně.....	9
Obr. 10: Příčný řez.....	9
Obr. 11: Schéma průchozího prostoru na lávce.....	10
Obr. 12: Poloha stavby.....	13
Obr. 13: Varianta A - Podélný řez.....	14
Obr. 14: Varianta A - Příčný řez.....	15
Obr. 15: Varianta B - Podélný řez.....	16
Obr. 16: Varianta B - Příčný řez.....	17
Obr. 17: Varianta C - Podélný řez.....	18
Obr. 18: Varianta C - Příčný řez.....	19
Obr. 19: Průřezy.....	22
Obr. 20: Výpočetní schéma a zatěžovací stavy.....	25
Obr. 21: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla.....	28
Obr. 22: Vlastní tíha - průhyb.....	28
Obr. 23: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla.....	28
Obr. 24: Ostatní stálé - průhyb.....	28
Obr. 25: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla.....	29
Obr. 26: LM4 plné - průhyb.....	29
Obr. 27: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla.....	29
Obr. 28: LM4 levá část - průhyb.....	29
Obr. 29: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla.....	29
Obr. 30: LM4 střední část - průhyb.....	30
Obr. 31: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla.....	30
Obr. 32: LM4 pravá část - průhyb.....	30
Obr. 33: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	30
Obr. 34: LM4 levá polovina - průhyb.....	30
Obr. 35: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	31
Obr. 36: LM4 pravá polovina - průhyb.....	31
Obr. 37: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla.....	31
Obr. 38: LM4 vodorovné podélné - průhyb.....	31
Obr. 39: Teplota - oteplení - Ohybový oment + normálová síla.....	32
Obr. 40: Teplota - oteplení - průhyb.....	32
Obr. 41: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla.....	32
Obr. 42: Teplota - ochlazení - průhyb.....	32
Obr. 43: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla.....	33
Obr. 44: Vlastní tíha - průhyb.....	33
Obr. 45: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla.....	33
Obr. 46: Ostatní stálé - průhyb.....	33
Obr. 47: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla.....	33
Obr. 48: LM4 plné - průhyb.....	34
Obr. 49: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla.....	34

Obr. 50: LM4 levá část - průhyb.....	34
Obr. 51: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla.....	34
Obr. 52: LM4 střední část - průhyb.....	34
Obr. 53: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla.....	35
Obr. 54: LM4 pravá část - průhyb.....	35
Obr. 55: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	35
Obr. 56: LM4 levá polovina - průhyb.....	35
Obr. 57: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	35
Obr. 58: LM4 pravá polovina - průhyb	36
Obr. 59: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla.....	36
Obr. 60: LM4 vodorovné podélné - průhyb.....	36
Obr. 61: Teplota - oteplení - Ohybový oment + normálová síla	36
Obr. 62: Teplota - oteplení - průhyb.....	37
Obr. 63: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla.....	37
Obr. 64: Teplota - ochlazení - průhyb.....	37
Obr. 65: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla.....	38
Obr. 66: Vlastní tíha - průhyb.....	38
Obr. 67: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla.....	38
Obr. 68: Ostatní stálé - průhyb.....	38
Obr. 69: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla.....	38
Obr. 70: LM4 plné - průhyb.....	39
Obr. 71: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla.....	39
Obr. 72: LM4 levá část - průhyb.....	39
Obr. 73: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla.....	39
Obr. 74: LM4 střední část - průhyb.....	39
Obr. 75: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla.....	40
Obr. 76: LM4 pravá část - průhyb.....	40
Obr. 77: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	40
Obr. 78: LM4 levá polovina - průhyb.....	40
Obr. 79: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	40
Obr. 80: LM4 pravá polovina - průhyb	41
Obr. 81: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla.....	41
Obr. 82: LM4 vodorovné podélné - průhyb.....	41
Obr. 83: Teplota - oteplení - Ohybový oment + normálová síla	41
Obr. 84: Teplota - oteplení - průhyb.....	41
Obr. 85: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla.....	42
Obr. 86: Teplota - ochlazení - průhyb.....	42
Obr. 87: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla.....	42
Obr. 88: Vlastní tíha - průhyb.....	42
Obr. 89: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla.....	42
Obr. 90: Ostatní stálé - průhyb.....	43
Obr. 91: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla.....	43
Obr. 92: LM4 plné - průhyb.....	43
Obr. 93: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla.....	43
Obr. 94: LM4 levá část - průhyb.....	43
Obr. 95: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla.....	44
Obr. 96: LM4 střední část - průhyb.....	44
Obr. 97: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla.....	44
Obr. 98: LM4 pravá část - průhyb.....	44
Obr. 99: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	44
Obr. 100: LM4 levá polovina - průhyb	45
Obr. 101: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	45

Obr. 102: LM4 pravá polovina - průhyb.....	45
Obr. 103: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla.....	45
Obr. 104: LM4 vodorovné podélné - průhyb.....	45
Obr. 105: Teplota - oteplení - Ohybový oment + normálová síla.....	46
Obr. 106: Teplota - oteplení - průhyb.....	46
Obr. 107: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla.....	46
Obr. 108: Teplota - ochlazení - průhyb.....	46
Obr. 109: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla.....	47
Obr. 110: Vlastní tíha - průhyb.....	47
Obr. 111: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla.....	47
Obr. 112: Ostatní stálé - průhyb.....	47
Obr. 113: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla.....	47
Obr. 114: LM4 plné - průhyb.....	48
Obr. 115: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla	48
Obr. 116: LM4 levá část - průhyb.....	48
Obr. 117: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla.....	48
Obr. 118: LM4 střední část - průhyb.....	48
Obr. 119: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla.....	49
Obr. 120: LM4 pravá část - průhyb.....	49
Obr. 121: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	49
Obr. 122: LM4 levá polovina - průhyb	49
Obr. 123: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	49
Obr. 124: LM4 pravá polovina - průhyb.....	50
Obr. 125: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla.....	50
Obr. 126: LM4 vodorovné podélné - průhyb.....	50
Obr. 127: Teplota - oteplení - Ohybový oment + normálová síla.....	50
Obr. 128: Teplota - oteplení - průhyb.....	50
Obr. 129: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla.....	51
Obr. 130: Teplota - ochlazení - průhyb.....	51
Obr. 131: Vlastní tíha - Ohybový moment + normálová síla.....	51
Obr. 132: Vlastní tíha - průhyb.....	51
Obr. 133: Ostatní stálé - Ohybový moment + normálová síla.....	52
Obr. 134: Ostatní stálé - průhyb.....	52
Obr. 135: LM4 plné - Ohybový moment + normálová síla.....	52
Obr. 136: LM4 plné - průhyb.....	52
Obr. 137: LM4 levá část - Ohybový moment + normálová síla	53
Obr. 138: LM4 levá část - průhyb.....	53
Obr. 139: LM4 střední část - Ohybový moment + normálová síla.....	53
Obr. 140: LM4 střední část - průhyb.....	53
Obr. 141: LM4 pravá část - Ohybový moment + normálová síla.....	54
Obr. 142: LM4 pravá část - průhyb.....	54
Obr. 143: LM4 levá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	54
Obr. 144: LM4 levá polovina - průhyb	54
Obr. 145: LM4 pravá polovina - Ohybový moment + normálová síla.....	55
Obr. 146: LM4 pravá polovina - průhyb.....	55
Obr. 147: LM4 vodorovné podélné - Ohybový moment + normálová síla.....	55
Obr. 148: LM4 vodorovné podélné - průhyb.....	55
Obr. 149: Teplota - oteplení - Ohybový oment + normálová síla.....	56
Obr. 150: Teplota - oteplení - průhyb.....	56
Obr. 151: Teplota - ochlazení - Ohybový moment + normálová síla.....	56
Obr. 152: Teplota - ochlazení - průhyb.....	56
Obr. 153: Výpočetní schéma s naznačenými řezy.....	57

Obr. 154: Schéma postupu výstavby.....	72
Obr. 155: Schéma postupu výstavby.....	74
Obr. 156: Statické působení prefabrikovaného dílce mostovky.....	76
Obr. 157: Schéma postupu výstavby.....	77
Obr. 158: Graf pro stanovení únosnosti jeřábu (LTM 1350-6.1).....	78
Obr. 159: Upravený průřez mostovky.....	89

Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled ohybových momentů a normálových sil.....	27
Tab. 2: Přehled vnitřních sil a průhybů na oblouku.....	58
Tab. 3: Přehled vnitřních sil na mostovce.....	59
Tab. 4: Definice sestav zatížení (Charakteristické hodnoty).....	60
Tab. 5: Přehled normálových sil na oblouku vč. sestav zatížení.....	60
Tab. 6: Přehled ohybových momentů na oblouku vč. sestav zatížení	60
Tab. 7: Součinitele pro kombinace zatížení.....	62
Tab. 8: Kombinace 1 - Normálová síla na oblouku.....	63
Tab. 9: Kombinace 1 - Ohybový moment na oblouku.....	63
Tab. 10: Kombinace 1 - Normálová síla na mostovce.....	63
Tab. 11: Kombinace 1 - Ohybový moment na mostovce.....	64
Tab. 12: Kombinace 2 - Normálová síla na oblouku.....	64
Tab. 13: Kombinace 2 - Ohybový moment na oblouku	64
Tab. 14: Kombinace 2 - Normálová síla na mostovce.....	65
Tab. 15: Kombinace 2 - Ohybový moment na mostovce.....	65
Tab. 16: Kombinace 3 - Normálová síla na oblouku.....	65
Tab. 17: Kombinace 3 - Ohybový moment na oblouku	66
Tab. 18: Kombinace 3 - Normálová síla na mostovce.....	66
Tab. 19: Kombinace 3 - Ohybový moment na mostovce.....	66
Tab. 20: Kombinace 4 - Normálová síla na oblouku.....	67
Tab. 21: Kombinace 4 - Ohybový moment na oblouku	67
Tab. 22: Kombinace 4 - Normálová síla na mostovce.....	67
Tab. 23: Kombinace 4 - Ohybový moment na mostovce.....	67
Tab. 24: Návrhové hodnoty na oblouku.....	68
Tab. 25: Návrhové hodnoty na mostovce.....	68
Tab. 27: Součinitele ψ pro lávky pro chodce.....	69
Tab. 28: Součinitele pro kombinace MSP.....	69
Tab. 29: Vnitřní síly na oblouku od Kombinace 1.....	69
Tab. 30: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 1.....	69
Tab. 31: Vnitřní síly na oblouku od Kombinace 2.....	70
Tab. 32: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 2.....	70
Tab. 33: Vnitřní síly na oblouku od kombinace 3.....	70
Tab. 34: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 3.....	70
Tab. 35: Vnitřní síly na oblouku od Kombinace 4.....	71
Tab. 36: Vnitřní síly na mostovce od Kombinace 4.....	71
Tab. 37: Hodnoty pro posouzení MSP na oblouku.....	71
Tab. 38: Hodnoty pro posouzení MSP na mostovce.....	71
Tab. 39: Průřezové charakteristiky posuzovaných řezů.....	79
Tab. 40: Normálová napětí ve vybraných řezech oblouku.....	79
Tab. 41: Průřezové charakteristiky průřezu mostovky.....	88
Tab. 42: Normálová napětí na mostovce.....	88
Tab. 43: Nové průřezové charakteristiky.....	89
Tab. 44: Nové hodnoty napětí.....	90