



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH SILNIČNÍHO MOSTU NA SILNICI I.TŘ

DESIGN OF THE ROAD BRIDGE ON THE 1ST CLASS ROAD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tereza Prombergerová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav betonových a zděných konstrukcí
Studentka: **Bc. Tereza Prombergerová**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.**
Akademický rok: 2024/25
Studijní program: N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh silničního mostu na silnici I.ř

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh mostu zpracujte na základě předaných podkladů, tj. situace, příčný a podélný řez a geotechnické poměry.

Ve statickém výpočtu uplatněte řešení s nosnou monolitickou konstrukcí z předpjatého betonu. Ve výpočtu můžete použít přímý statický model.

Můžete upravit délku mostu, ale dodržte přijatelné přemostění překážky. Polohu nivelety můžete výškově upravit. Příčné uspořádání převáděné komunikace zachovejte. Ostatní úpravy lze provádět podle pokynů vedoucího diplomové práce.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je pro zadaný most podrobně navrhnout všechny části jeho nosné konstrukce, tj. ale bez výpočtu ložisek, závěru, spodní stavby a založení.

Pro zadaný problém navrhnout dvě až tři studie řešení a zhodnotit je.

Vypracovat podrobný statický výpočet nosné konstrukce vybrané studie mostu podle mezních stavů.

Zpracovat v rámci výkresové dokumentace dispoziční výkresy, výkresy výztuže počítaných částí konstrukce a minimálně jeden detail.

Textovou část zpracovat v rozsahu a ve formě průvodní a technické zprávy.

Diplomovou práci je třeba vypracovat a rozčlenit podle této struktury:

Textová část a přílohy textové části – použité podklady a studie řešení, výkresy přehledné, podrobné a detaily, stavební postup a vizualizace a statický výpočet. Rozsah jednotlivých částí určí vedoucí diplomové práce.

Diplomová práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Stavební podklady – situace, půdorysy, řezy, geologie.

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů.

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí.

ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí.

ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou.

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

ČSN EN 1992-2: Betonové mosty. Navrhování a konstrukční zásady.

Literatura doporučená vedoucím diplomové práce.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 31. 3. 2024

L. S.

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá návrhem silničního mostu přes dálnici v blízkosti obce Klimkovic. Cílem práce je vytvoření mostní konstrukce splňující statické požadavky.

V rámci diplomové práce byly vytvořeny dva různé výpočtové modely s různým zaměřením. První model se soustředil na posouzení vlastností prefabrikovaného nosníku v jeho výrobní fázi, kdy byly analyzovány vlivy předpětí a vlastní hmotnosti na konstrukci během transportu a montáže. Druhý model zahrnuje celkovou konstrukci mostu, který byl vymodelován pomocí roštového modelu. Tento model reprezentuje konstrukci prostřednictvím podélných prutů a příčných vazeb, což umožnilo podrobnou statickou analýzu.

Na základě provedených analýz a výsledků modelů byla navržena předpínací a betonářská výztuž.

Klíčová slova

Spražená mostovka, dodatečně předpjatý beton, postupná výstavba, prefabrikované nosníky

Abstract

The thesis deals with the design of a road bridge over a highway near the village of Klimkovic. The aim of the work is not only to create a bridge structure that meets static requirements.

The part of the thesis are two different computational models with distinct focuses were created. The first model concentrated on assessing the properties of the prefabricated beam during its production phase, analyzing the effects of prestressing and self-weight on the structure during transport and assembly. The second model includes the overall bridge structure, which was modeled using a grillage model. This model represents the structure through longitudinal members and transverse connections, enabling detailed static analyses.

Based on the conducted analyses and the results of the models, prestressing and reinforcement were designed.

Keywords

Composite bridge deck, post-tensioned concrete, time dependant analysis, precast girders

Bibliografická citace

PROMBERGEROVÁ, Tereza. *Návrh silničního mostu na silnici I.tř.* Brno, 2025. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy závěrečné práce

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Návrh silničního mostu na silnici I.tř* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 17. ledna 2025

.....
Tereza Prombergerová
autor práce

Prohlášení o původnosti práce

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Návrh silničního mostu na silnici I.tř* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. ledna 2025

.....
Tereza Prombergerová
autor práce

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla upřímně poděkovat svému vedoucímu práce za odborné vedení, cenné rady a podporu, které mi poskytl při vypracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala oponentovi za jeho čas a připomínky.

Mé poděkování patří také mým rodičům a blízkým za jejich trpělivost, podporu a pochopení během celého studia. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svým spolužákům a kolegům, kteří mi poskytli cenné rady a povzbuzení.

Obsah

1	Úvod	2
1.1	Cíle práce	3
2	Navrhnuté řešení	4
3	Analýza nosné konstrukce	7
3.1	Model nosníku	7
3.1.1	Ověření nahraditelnosti jednotlivých lan lany v těžišti skupiny . . .	8
3.1.2	Optimalizace předem předpjaté výztuže	9
3.2	Roštový model mostu v časové analýze	10
3.2.1	Postup výstavby a zatěžování v modelování	10
3.2.2	Zatížení	14
	Literatura	20
	Seznam obrázků	21
A	Přílohy	22
A.1	Příloha P1 - podklady	22
A.1.1	Podélný profil a situace	22
A.2	Příloha P2 - výkresová dokumentace	22
A.2.1	Příčné řezy	22
A.2.2	Podélný řez	22
A.2.3	Situace	22
A.2.4	Fáze výstavby	22
A.2.5	Výztuž mostovky a příčnicku	22
A.2.6	Výztuž nosníku	22
A.3	Příloha P3 - Vizualizace	22
A.4	Příloha P4 - Statický výpočet	22
A.5	Příloha P5 - Technická zpráva	22

Kapitola 1

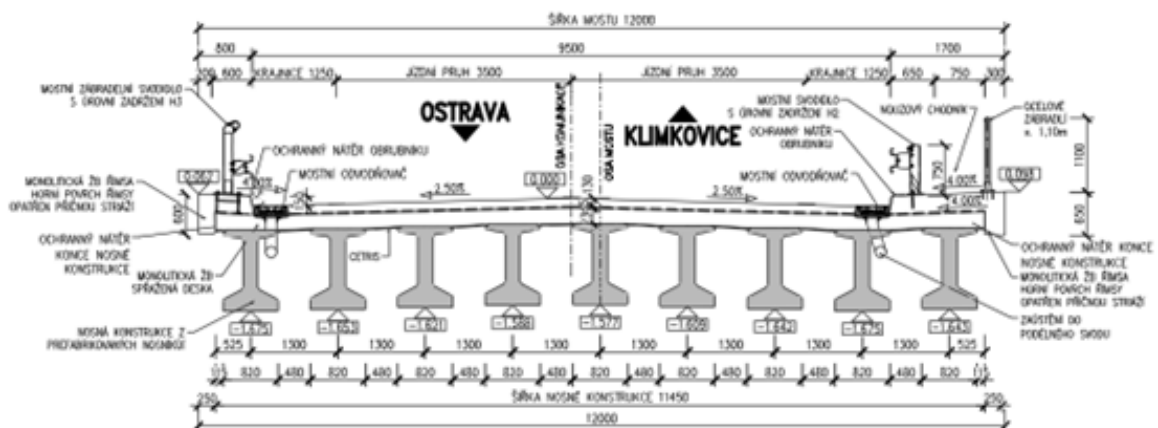
Úvod

Diplomová práce se zabývá návrhem, analýzou a posouzením nosné konstrukce mostovky mostu pro komunikaci I. třídy. Cílem práce je vytvoření řešení nosné konstrukce tvořené prefabrikovanými nosníky. Při návrhu výškového a prostorového uspořádání mostního objektu se vycházelo z údajů zadaných doc. Ing. Klusáčkem, CSc. Podklad obsahoval půdorysný pohled a podélný řez.

Most byl nutný pro výstavbu kvůli nové dálnici, která kříží stávající komunikaci I. třídy. Z důvodu trasování dálnice je nutné navrhnut násypové těleso s mostem. Z důvodu ochranného prostoru u dálnice a omezené výšce násypu pracujeme s omezenou výškou nosné konstrukce. Křížení dálnice i komunikace je kolmé. Zároveň bude mostem vedená účelová komunikace.

Uspořádání komunikace I. třídy, kde šířka jízdních pruhů je 3,5 m, vodící proužek a středový proužek mají standardní šířku 0,25 m. Šířkové uspořádání vozovky odpovídá uspořádání pozemní komunikace S9,5. Z tohoto důvodu je na vnějším okraji volné šířky mostovky zpevněná krajnice o šířce 1,25 m. Šířka nezpevněné krajnice je rovněž započítána do volné šířky vozovky a slouží k odvádění vody z povrchu vozovky.

Most má délku přesahující 50 m, a proto je na vnějším okraji, na vnější římsě, navržen nouzový chodník o šířce 0,75 m. Konstrukce je navržena na přímém úseku trasy silnice I. třídy a mostovka je určena pro oba směry jízdy. Jedná se o spojitý třípolový nosník s rozpětími jednotlivých polí 32 + 32,5 + 32 m.



Obrázek 1.1: Příčný řez

1.1 Cíle práce

Diplomová práce se bude zabývat návrhem silničního mostu přes dálnici v blízkosti obce Klimkovice. Cílem práce je vytvoření mostní konstrukce splňující statické požadavky a zároveň požadavky zadavatele, jako je nízká cena a optimální zasazení do terénu násypového tělesa. Pod mostem by měl být prostor nejen pro nyní plánovanou dálnici, ale také pro účelovou komunikaci a pro plánovanou cyklostezku.

V rámci diplomové práce budou vytvořeny dva různé výpočtové modely s různým zaměřením. První model se zaměří na posouzení vlastností prefabrikovaného nosníku v jeho výrobní fázi, kdy budou analyzovány vlivy předpětí a vlastní hmotnosti na konstrukci během transportu a montáže.

Druhý model zahrnuje celkovou konstrukci mostu, který bude vymodelován pomocí roštového modelu. Tento model bude reprezentovat konstrukci prostřednictvím podélných prutů a příčných vazeb. Na základě provedených analýz a výsledků modelů byla navržena předpínací a betonářská výztuž.

Kapitola 2

Navrhnuté řešení

Spřažená mostovka tvořená prefabrikovanými nosníky třípolový spojitý most s rozpětím jednotlivých polí 25 + 25,5 + 25 metru. Konstrukce je tvořena dvěma prvky:

- První fáze:

Tyčové prefabrikáty typu VPH-PTMN-2016-I. s výškou 1,2 m a délkou 32 m. Prefabrikáty jsou vyrobeny z vysokopevnostního betonu C60/75. Jsou předem předpjaté výztuže FprEN 10138-3-Y1860S7-15,7 a dodatečně předepjaté výztuží LS15,7/1860MPa.

- Druhá fáze:

Vytvoření spojitě železobetonové desky o minimální tloušťce 230 mm, její tloušťka se liší kvůli příčným sklonům vozovky. Tato deska je vyrobena z betonu třídy C30/37 a zajišťuje spolupůsobení prefabrikátů a spojitost konstrukce v podélném směru. Umožňuje tak přenesení ohybového namáhání v nadpodporovém průřezu.

Mostovka, která se skládá z 9 prefabrikátů v jednom poli. Kromě spřažené mostovky zajišťují tuhost konstrukce podpůrné příčníky. Příčníky jsou s prefabrikáty zmonolitněny a pevně spojeny pomocí betonářské výztuže, která vystupuje ze stěn prefabrikátu, a výztuže příčníku. Příčníky jsou vždy podepřeny dvojicí hrncových ložisek. Na okrajích jsou ložiska uložena na podporách s pilotami. Podporu v poli tvoří vždy dvojice samostatně stojících pilířů čtvercového průřezu o straně 1500 mm.

Navržená konstrukce prochází během výstavby různými zatěžovacími stavy a statickými schématy. Od uložení na dočasných podporách při výrobě, přes napínání lan, dopravu na staveniště, uložení na montážních podporách na stavbě až po finální působení na spojitém prvku.

Vlastní tíha mostního tělesa a účinky dopravy se přenášejí do základové půdy z opěr a podpěr přes hlavy pilot až do vrtaných pilot zakotvených v únosné základové půdě. Mostní křídlo je rovnoběžné s osou komunikace a z hlediska napojení na opěru je zavěšené.

Spřažená mostovka byla zvolena pro analýzu z důvodu, že podobné konstrukce jsou oblíbené v projekční praxi. Spřažené konstrukce typu beton-beton jsou výhodné z několika důvodů. Není nutné budovat bednění (pevnou skruž ani instalaci betonářského vozíku). V tomto typu konstrukce se používá pouze ztracené bednění. To tvoří cetris desky uložené na horním ozubu tyčového prefabrikovaného prvku. Tím je celková výstavba výrazně usnadněna. Kromě toho se u této konstrukce díky výrobě prefabrikátů v továrně výrazně eliminují nepříznivé účinky smršťování betonu a dosahuje se vyšší kvality prvku ve srovnání s výrobou na staveništi.

Na základě vybrané studie a zvoleného typu prefabrikovaných tyčových dílců má navržený most tyto charakteristiky:

- rozpětí mostu: 96,5 m
- rozpětí krajních polí: 32,5 m
- rozpětí středových polí: 32 m
- celková délka nosné konstrukce mostovky: 98 m
- celková délka mostu (vzdálenost mezi volnými konci přechodových desek): 112,89 m
- z hlediska statiky je most kolmý
- volná šířka mostu: 9,5 m
- šířka nosné konstrukce mostovky: 13,55 m
- celková šířka mostu: 12 m
- stavební výška, tedy výškový rozdíl nivelety a spodní plochy příčnicku: 1,89 m

Na úvod, před samotným modelováním a analýzou konstrukce, byly definovány materiály použité při stavbě konstrukce. Vyšlo se z požadavku na konstrukční třídu (100letá životnost hlavní nosné konstrukce) a s tím související třídy vlivu prostředí na jednotlivé prvky mostního objektu. Tyto vlivy zahrnují:

- korozi betonu způsobenou karbonatami
- korozi způsobenou chloridy
- střídavé působení mrazu a rozmrzání
- případně vliv chemických sloučenin

Od výrobce byly hodnoty pro mostovku a příčník doporučené a pevnost betonu pro nosník byla daná, tím že byl použit nízký typ pro dané rozpětí [10].

- prefabrikované nosníky
 - pevnostní třída: C60/75
 - třída prostředí: XC4, XD1, XF2
- spřažená deska
 - minimální pevnostní třída: C30/37
 - třída prostředí: XC3, XD1, XF1
- příčníky
 - minimální pevnostní třída: C30/37
 - třída prostředí: XC4, XD1, XF2
- opěry, podpěry a mostní křídlo

- minimální pevnostní třída: C30/37
- třída prostředí: XC4, XD2, XF2
- základové konstrukce mostu (základy, hlavy pilot, piloty a přechodové desky)
 - minimální pevnostní třída: C25/30
 - třída prostředí: XC2, XA1

Tato definice materiálů zajišťuje dlouhodobou trvanlivost a odolnost konstrukce vůči vlivům prostředí.

Na mostě se předpokládá III. třída zatížení dopravou. Z toho vyplývá tloušťka vozovky na mostě 130 mm. Nejvrchnější povrchovou vrstvou vozovky je asfaltový koberec SMA 11S o tloušťce 40 mm. Pod touto vrstvou se nachází vrstva asfaltového betonu pro podkladní vrstvy o tloušťce 60 mm. Další vrstvou je litý asfalt MA 11 IV o tloušťce 25 mm. Hydroizolace horního povrchu spřažené desky má tloušťku 5 mm.

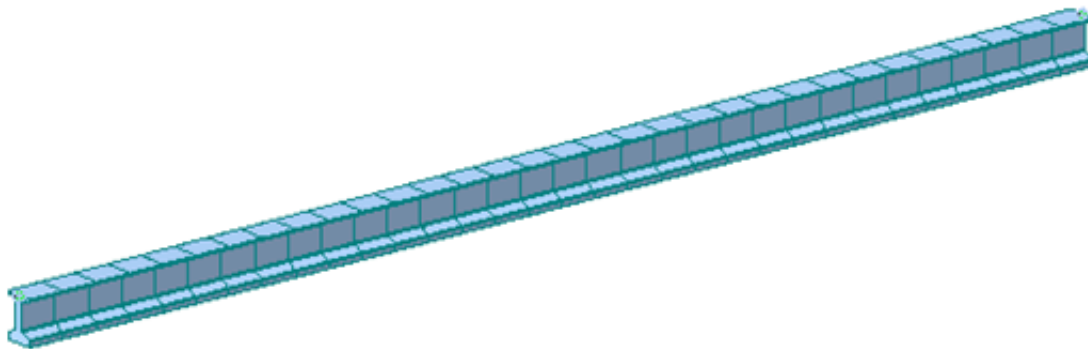
Kapitola 3

Analýza nosné konstrukce

Statická analýza byla provedena v softwaru zaměřeném na analýzu stavebních konstrukcí Midas Civil 2022. Účinky na konstrukci nosníku byly zjišťovány na prutovém modelu a účinky na celou konstrukci mostu byly určovány na roštovém modelu.

3.1 Model nosníku

Tento model nosníku byl vytvořen za účelem zjistit, jak nosník jako samostatný prut funguje a jak by měl být ideálně předpjatý, aby nedošlo ke vzniku větších napětí, než je schopný přenést, zejména během doby, kdy na něm není aplikováno veškeré zatížení. Cílem bylo analyzovat chování nosníku při různých stupních předpětí a zjistit, jak optimálně nastavit předpětí, aby se minimalizovaly negativní účinky deformací a nadměrných napětí.



Obrázek 3.1: Model nosníku

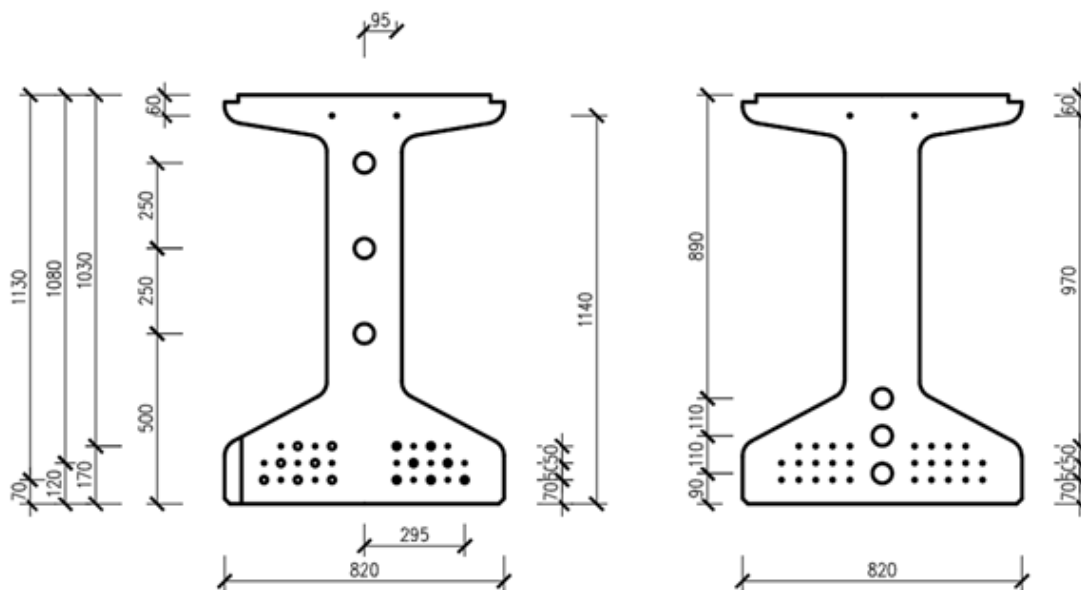
V modelu je počítáno pouze s vlastní tíhou prvku, ostatním stálým zatížením (tíha železobetonové desky a vozovky) a s předpínací výztuží. Ostatní stálé zatížení lze ve výrobě simulovat dočasnými závažími, která slouží k vyrovnání a minimalizování účinků. Tento přístup umožňuje kontrolovat deformace a napětí během výroby a zajišťuje, že nosník bude v požadovaném stavu, než bude na něj aplikováno plné zatížení na stavbě. V budoucnu bude nutné zohlednit i dynamické vlivy, které mohou ovlivnit chování nosníku při skutečném provozu.

Model byl využit ke dvěma účelům:

- ověření nahraditelnosti jednotlivých lan lany v těžišti skupiny
- optimalizaci předem předpjaté výztuže

3.1.1 Ověření nahraditelnosti jednotlivých lan lany v těžišti skupiny

Prvním krokem bylo, že jsem si vymodelovala všechna jednotlivá lana, která jsou v nosníku, dle výrobní dokumentace.



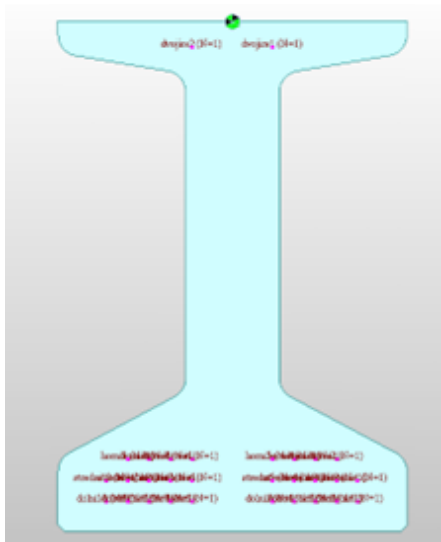
Obrázek 3.2: Umístění předpjatých lan v čele a ve středu nosníku

Umístění předpjatých lan v čele a ve středu nosníku

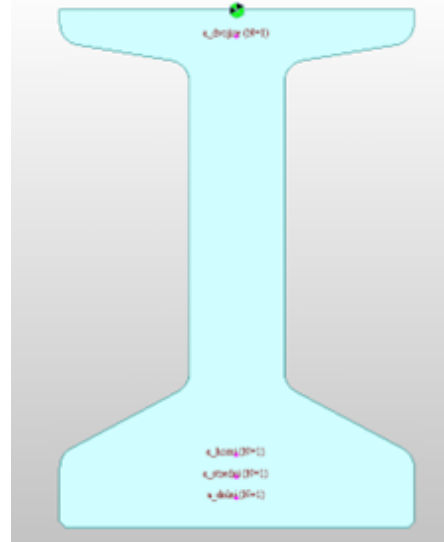
Z dokumentace vyplývá, že lana jsou umístěna ve čtyřech řadách. První dvě spodní řady obsahují po 10 lanech, třetí řada je tvořena 8 lany a poslední dvě lana se nacházejí v horní části nosníku. Tento způsob uspořádání předpínacích lan je navržen tak, aby rovnoměrně rozložil předpětí na celé délce nosníku. Celkem nosník obsahuje 30 předem předpjatých lan.

Bylo provedeno detailní modelování všech jednotlivých lan, aby bylo možné porovnat jejich chování a vliv na konstrukci v porovnání se zjednodušeným modelem, který nahrazuje jednotlivé vrstvy lan v jejich těžišti, což umožňuje rychlejší analýzu a zjednodušuje výpočty při simulaci chování nosníku jako celku. Díky tomuto zjednodušení a zvýšení rychlosti je výhodnější použít náhradní lano zastupující celou skupinu v celkovém modelu, díky čemuž nebude celkový výpočtový model tak náročný a bude rychlejší analýza.

Díky těmto dvěma modelům bylo ověřeno, že lze použít zjednodušený model, který nijak zásadně neovlivní výsledky.



Obrázek 3.3: Výstřížek z modelu - přesné rozmístění lan



Obrázek 3.4: Výstřížek z modelu - zjednodušené umístění lan

3.1.2 Optimalizace předem předpjaté výztuže

Pro tuto optimalizaci byl využit zjednodušený model, kde každé lano reprezentuje svůj řádek lan, což umožňuje efektivní analýzu chování předpínacího systému. Při umístění maximálního zatížení od předpětí po celé délce nosníku ($P_{max} = 1440 MPa$) vzniklo nevyhovující napětí v nosníku, což ukázalo potřebu úpravy předpětí. Abychom zajistili optimální rozložení napětí a vyhovující podmínky pro dlouhodobou stabilitu konstrukce, bylo nutné optimalizovat délku předepnutí. Ideálně by předpětí mělo odpovídat zatížení způsobenému vlastní tíhou nosníku, což se projevuje ve formě paraboly 2. stupně. Tento tvar zatížení však pomocí přímých lan nelze přesně simulovat. Avšak podobného efektu lze dosáhnout zkrácením účinné délky lan, což umožňuje rozložení předpětí a zamezení vzniku nežádoucího velkého předpětí.

Výroba předem předpjatého nosníku je komplexní proces, který zahrnuje několik kroků, jež zajišťují, že výsledný nosník bude mít požadované vlastnosti a splní všechny technické normy. Tento proces začíná výrobou nebo přípravou formy nosníku. Formy jsou navrženy tak, aby odpovídaly specifikacím projektu, např. umístění kanálku pro dodatečně předpínaná lana.

Další fáze zahrnuje umístění předpínacích lan. Předpínací lana jsou dočasně zakotvena v požadované pozici v rámci formy. Tato lana jsou často umístěna v dolní části nosníku, čímž dochází k vytvoření napětí v oblasti, která bude během provozu nosníku vystavena tlaku. Po umístění lan se do formy nalije beton, který je rovnoměrně nalévaný a následně vibracemi ztuhne, aby vyplnil všechny mezery a okolí předpínacích lan.

Jakmile beton dosáhne požadované pevnosti, je možné uvolnit dočasné kotvy lan. Tento krok je zásadní, protože umožňuje přenos napětí z lan na betonovou hmotu. Předpětí je aplikováno na lano, což způsobí, že betonový prvek se dostane do napjatého stavu, čímž se zlepší jeho pevnost a odolnost proti průhybu a jiným deformacím během jeho životnosti.

Nicméně u prefabrikovaných dílců s předpínací výztuží, kdy jsou lana umístěna v dolní části nosníku, může vzniknout problém s tahovými napětími v oblasti krajních podpor. V takových případech je důležité provést tzv. separaci – tedy zrušení soudržnosti mezi

předpínacími lany a betonem, aby se předešlo nadměrným tahovým napětím, která by mohla způsobit nežádoucí deformace nebo poškození nosníku. Separace se obvykle dosahuje použitím maziva v PE trubkách, které jsou kolem lan umístěny a které zajišťují, že lana nejsou pevně spojená s betonem.

Po provedení optimalizace a určení oblastí, kde je nutné zajistit separaci, bylo navrženo následující rozvržení. Spodní vrstva lan bude rozdělena na dvě části – jedna část bude průběžná, zatímco druhá část bude separována 1 m od líce nosníku. Druhá řada lan bude zkrácena o 4,5 m na každé straně a třetí řada lan, umístěná odspodu, bude aktivní až od 5 m od líce nosníku.

3.2 Roštový model mostu v časové analýze

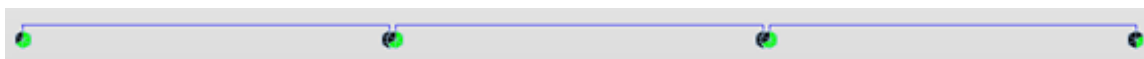
Roštový model mostu je založen na rozdělení konstrukce do jednotlivých částí, z nichž každá plní specifickou funkci. Podélné nosníky jsou reprezentovány prefabrikovanými prvky, které zahrnují odpovídající šířku železobetonové desky. Mezi těmito nosníky jsou umístěny příčné vazby, které zajišťují efektivní přenos a rozložení zatížení v příčném směru.

3.2.1 Postup výstavby a zatěžování v modelování

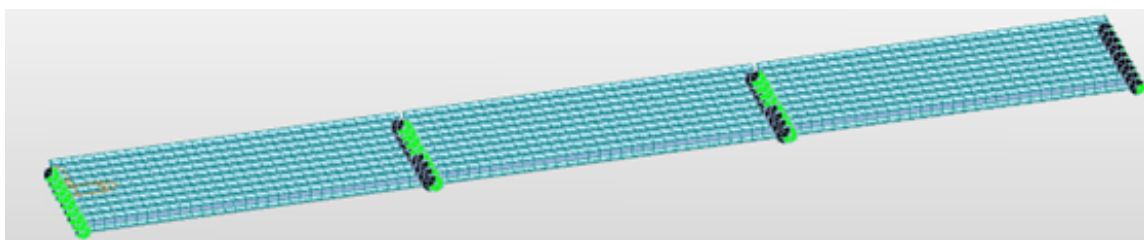
Během výstavby konstrukce prochází různými zatěžovacími stavy, schémata a změnami okrajových podmínek. Tento fakt bylo nutné zohlednit při tvorbě modelu. V závislosti na zvoleném technologickém postupu konstrukce postupně přechází mezi těmito statickými stavy.

1. Fáze

V první fázi výstavby jsou dovezeny prefabrikované nosníky, kdy každý z nich má vlastní podpory. Statické působení je založeno na principu prostého nosníku. Vodorovné pruty mají přiřazený průřez nosníku a svislé pruty jsou pouze tuhá ramínka, která umožňují podepření nosníku v závislosti na tom, kde se nachází reálná podpora.



Obrázek 3.5: Podélný pohled na roštový model v 1. fázi

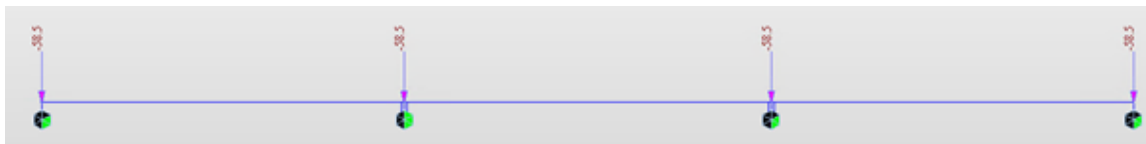


Obrázek 3.6: Celkový model se zobrazením nosníků v 1. fázi

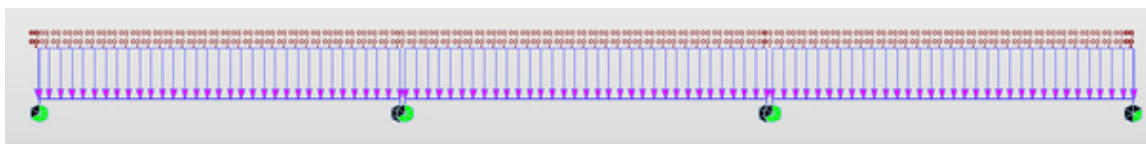
V první fázi je ze zatížení aktivní pouze vlastní tíha nosníku a zatížení od předpětí.

2. Fáze

V druhé fázi jsou nosníky připravené splnit úlohu ztraceného bednění. Do úložných drážek jsou umístěny cetris desky a zároveň příčníky jsou opatřeny bedněním. Prvně proběhne betonáž příčníků a následně je vybetonovaná železobetonová deska. Zatížení od nově vybetonovaných částí je znázorněno zatížením dle objemu betonovaných prvků. Tíha čerstvého betonu je větší než tíha zralého betonu, proto je zde měrná hustota počítaná jako 26 kN/m^3 .



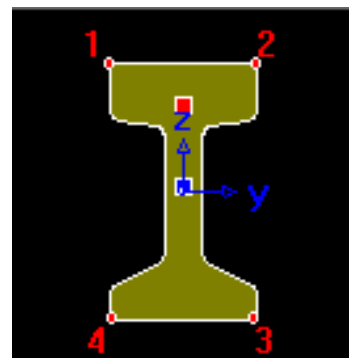
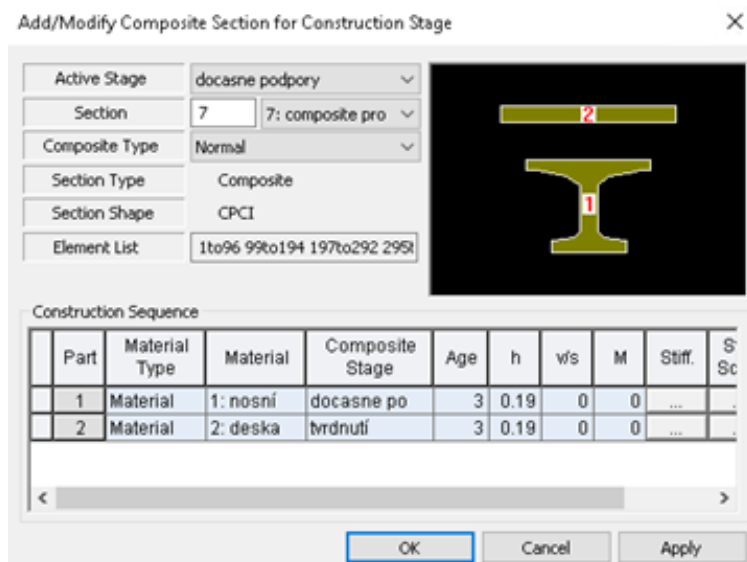
Obrázek 3.7: Zatížení na příčníku od čerstvého betonu



Obrázek 3.8: Zatížení na nosník od čerstvého betonu z mostovky

3. Fáze

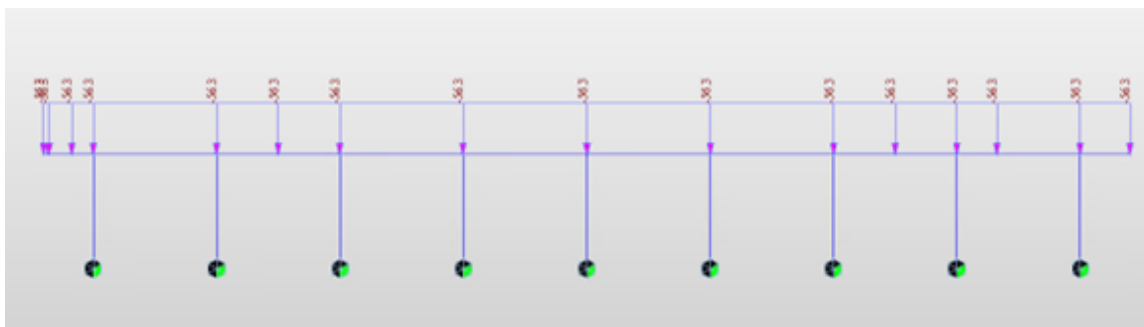
Ve třetí fázi dojde ke spojení nosníku s deskou. Tato změna je znázorněna tím, že v softwaru přestane působit původní nosník. A vznikne nový kompozitní profil.



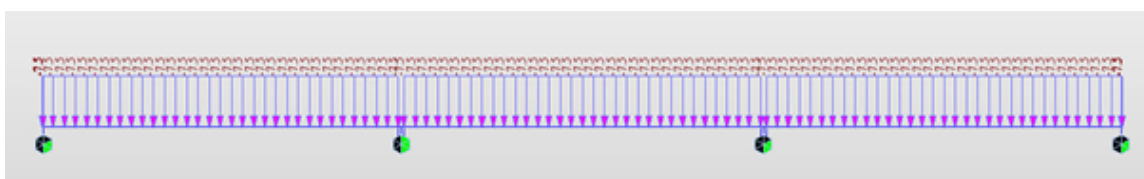
Obrázek 3.10: Nový tvar přiřazený podélným prutům

Obrázek 3.9: Vznik kompozitního profilu

Další změnou je změna působení od již ztvrdlého betonu.



Obrázek 3.11: Zatížení na příčniku od tvrdnoucího betonu



Obrázek 3.12: Zatížení na nosník z mostovky

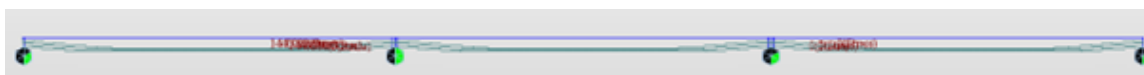
Vznikem nového profilu je nutné aktivovat příčné vazby, které jsou modelovány nehmotnými vazbami a jejich funkcí je pouze umožňovat příčný roznos zatížení.



Obrázek 3.13: Model s nově vzniklými příčnými vazbami

4. Fáze

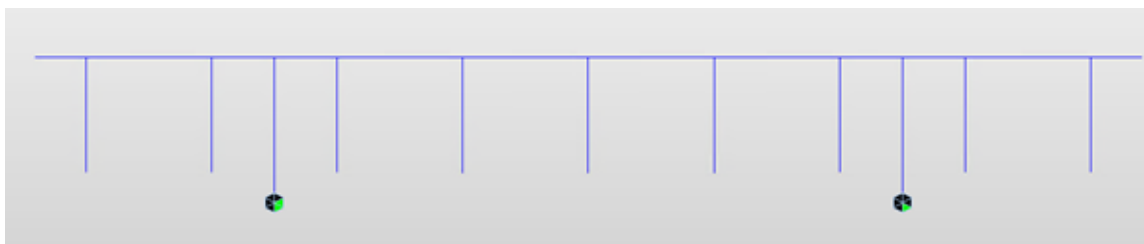
Během čtvrté fáze dojde k dodatečnému předpětí pomocí kabelů. Po zakotvení jsou předpínací kanálky vyplněné montážní maltou, která zaručuje soudržnost betonu a oceli.



Obrázek 3.14: Znázornění dodatečně předepjatých kabelů

Dalším krokem je odstranění montážních podpor a zatížení trvalých podpor. Konstrukce nyní funguje jako spojitý nosník. Spojitost byla zajištěna vytvrzeným železobetonem spřažené desky a příčníků. V místě montážní podpory vznikla síla stejné velikosti jako reakce v montážní podpoře, ale opačného směru. Zatížení se přenáší do sloupových podpor prostřednictvím trvalých hrncových ložisek. Systém uložení na ložiska je takový, že na pilíři je pevné ložisko, na dalším pilíři a opěrách na stejné straně jsou posuvná ložiska. Naproti pevnému

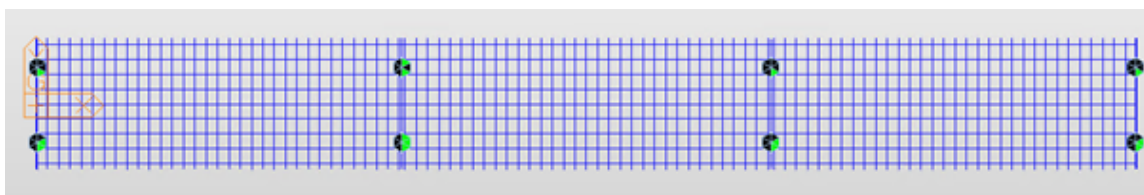
ložisku je použito posuvné ložisko v řadě se všesměrnými ložisky. Toto uspořádání podepření nosné konstrukce umožňuje, aby konstrukce měla možnost se rozpínat a smršťovat bez omezení v pohybu.



Obrázek 3.15: Nové aktivní podpory



Obrázek 3.16: Znázornění rozmístění ložisek



Obrázek 3.17: Modelové znázornění ložisek

5. Fáze

Během předposlední modelové fáze dojde k dokončení mostní konstrukce. Jsou aktivovány síly od ostatního stálého zatížení. Vozovka, římsy a svodidla a zábradlí.

6. Fáze

V poslední fázi je most uveden do provozu a zohledňujeme všechna působení vznikající na konstrukci.

Na začátku výstavby působí konstrukce jako prostý nosník s postupně se měnícími body uložení. V konečné fázi však přechází do funkce spojitého nosníku. V počátečních fázích výstavby vznikají maximální účinky v polovině rozpětí prostého nosníku. V průběhu životnosti konstrukce dochází k výraznému přerozdělení zatížení, kdy se namáhání přesouvá do nadpodporových oblastí. V těchto místech vznikají záporné ohybové momenty způsobené dotvarováním a smršťováním betonu. Jinými slovy, konstrukce se během životnosti

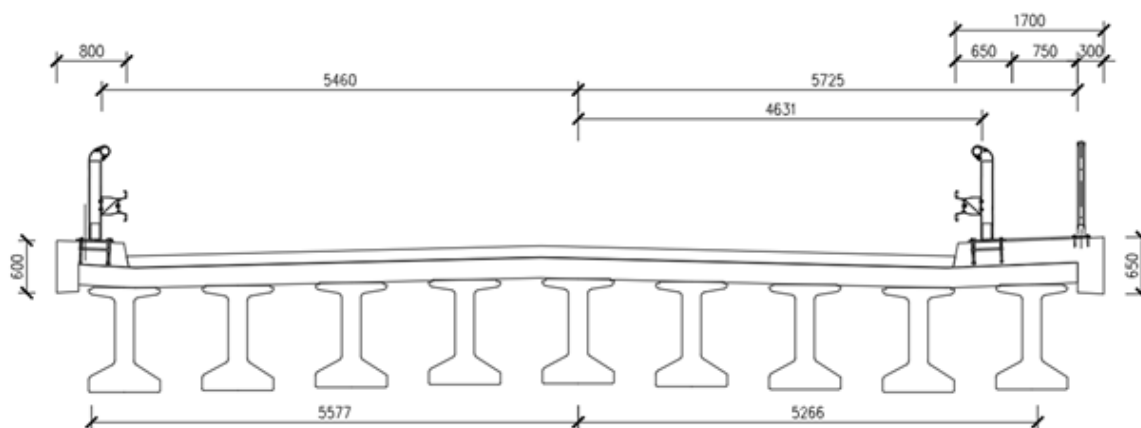
přirozeně snaží dosáhnout stavu statického působení, podobně jako u spojitého nosníku vybetonovaného na pevné skruži.

3.2.2 Zatížení

Zatěžování výpočtového modelu bylo prováděno v souladu s normami ČSN EN 1991-1-1 Návrh betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Proměnné zatížení bylo navrženo podle normy ČSN EN 1991-2 Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou. Tyto normy sloužily jako základní rámec pro definování zatížení a jeho aplikaci na model, s cílem zajistit odpovídající přesnost a bezpečnost konstrukce.

Stálé zatížení

Vlastní tíha konstrukce byla generována softwarem. Intenzita ostatního stálého zatížení (tíha vozovky, říms a svodidel) byla vypočítána ručně. Tíha vozovky byla zadána jako liniové zatížení na 1 nosník. Velikost tíhy od levé a pravé římsy byla přepočítána na základě šířky rozměrů říms a jako zatížení pro příslušenství jsou použity doporučené hodnoty.

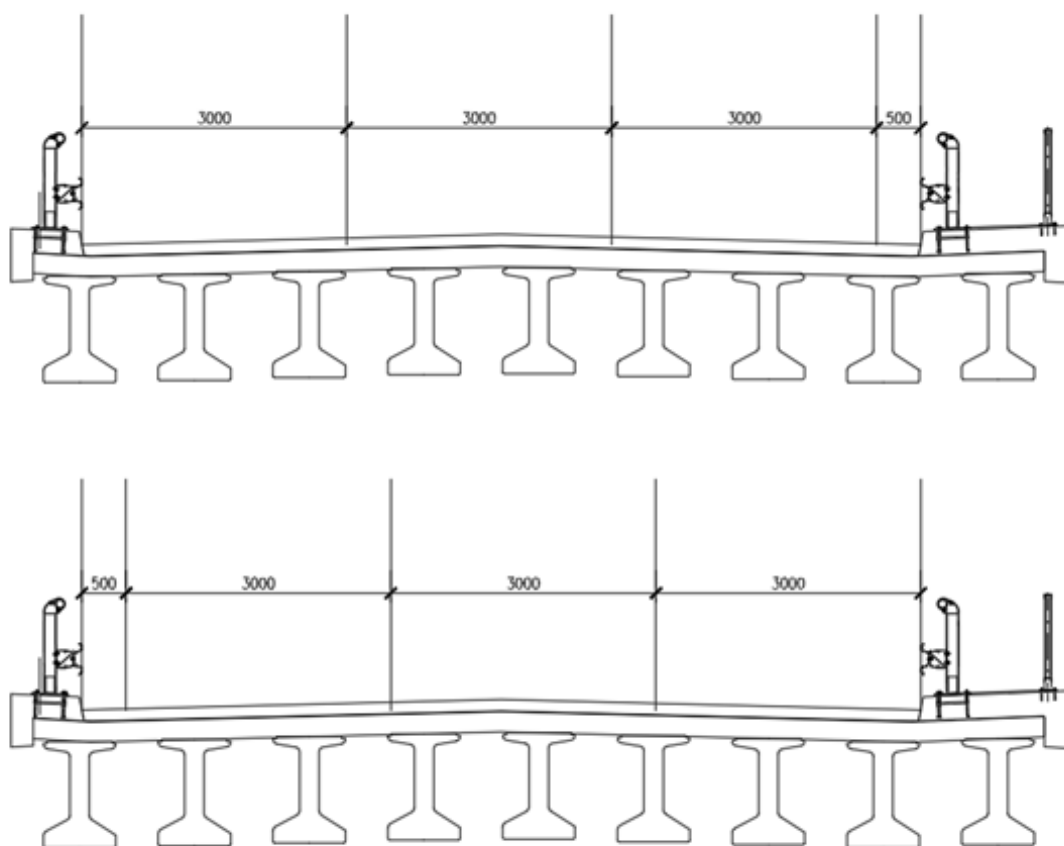


Obrázek 3.18: Rozmístění ostatního stálého zatížení

Proměnné zatížení

Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů bylo provedeno následujícím způsobem. Volná šířka vozovky byla rozdělena na pruhy. Pro zatěžovací model Load Model 1 (LM1) v zatěžovací sestavě gr1a byla využita celá volná šířka vozovky. Na vnitřním okraji mostovky byly předpokládány nejvyšší hodnoty účinků zatížení, což bylo způsobeno kratší římsou právě na tomto okraji. Z tohoto důvodu byl pruh číslo 1 situován bezprostředně k lici odrazového obrubníku na vnitřním okraji mostní konstrukce. Ale pro kontrolu možného nepříznivého působení uspořádání pruhů od širší římsy, je vymodelována i tato varianta.

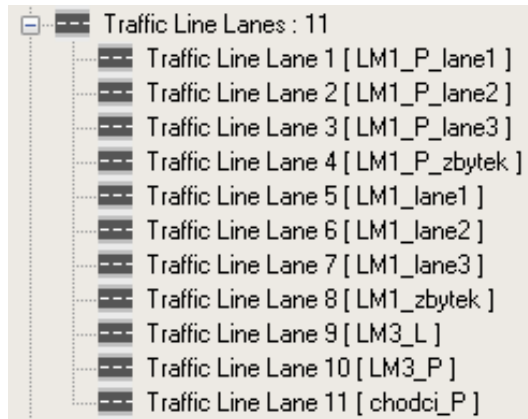
Volná šířka vozovky umožnila vytvoření tří kompletních pruhů o šířce 3 m. Zbývající část volné šířky vozovky (0,5 m) byla vždy umístěna na vnějším okraji mostní konstrukce. Pořadí a číslování zatěžovacích pruhů se měnilo tak, aby bylo dosaženo maximálních účinků v podélném směru konstrukce. Tímto postupem bylo zajištěno optimální rozložení zatížení s ohledem na maximální namáhání mostovky.



Obrázek 3.19: Rozmístění zatěžovacích pruhů

Pro zatěžovací model Load model 3 (LM 1800/200) v zatěžovací sestavě gr5 se využila celá volná šířka vozovky. Vozidlo má vzdálenost náprav 1,5 m a vozidlo projíždí v ideální stopě prostoru všech zatěžovacích pruhů s vyosením od této polohy 0,5 m směrem tam, kde vyvolá horší působení. Pro možnost správných kombinací byla vymodelovaná trasa zatížení od Load modelu 3 na obě strany od osy zatěžovacích pruhů.

V programu Midas Civil je pohyblivé zatížení modelováno pomocí definování jízdních pruhů. Každý jízdní pruh je definován vzdáleností od počátku souřadného systému. V každém pruhu je navíc třeba určit šířku pruhu a vzdálenost náprav.



Obrázek 3.20: Definované trasy ve výpočtovém modelu

Dalším krokem je definovat jednotlivé Load modely a jejich rozmístění zatížení v pruzích. Definují se zatížení pro tandem systém i UDL systém se správně přiřazenými součiniteli.

Vehicular Load Properties

Vehicular Load Name :

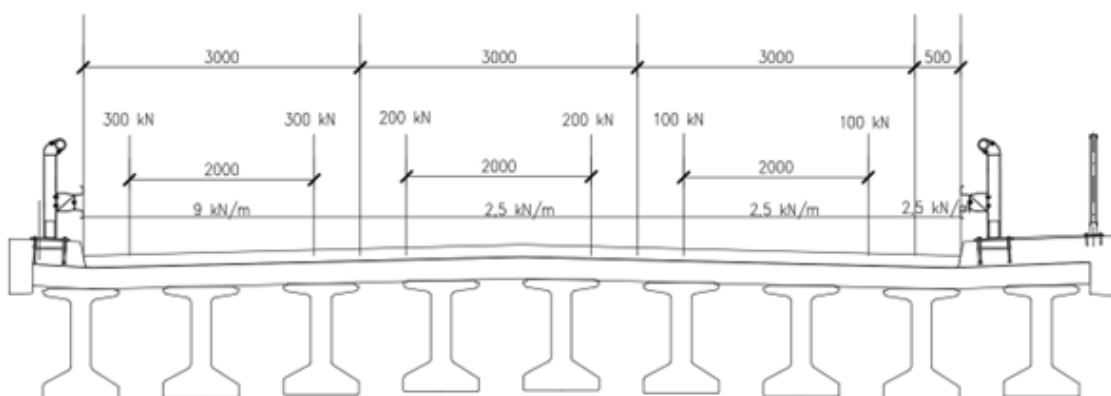
Vehicular Load Type :

Location	Tandem System		UDL System	
	Adjustment Factor	Axle Loads (kN)	Adjustment Factor	Uniformly Dist. Loads (kN/m ²)
Lane Number1	1	300	1	9
Lane Number2	1	200	1	2.5
Lane Number3	1	100	1	2.5
Other Lanes & Remaining Area	0	0	1	2.5

Psi factor for Tandem System

Psi factor for UDL System

Obrázek 3.21: Definování pro LM1



Obrázek 3.22: Zobrazení LM1 v pruzích

Posledním krokem je vytvoření pohyblivých zatěžovacích stavů. V nich přiřazujeme zatížení danému zatěžovacímu pruhu.

Výsledkem jsou hodnoty pro maximální, minimální účinky zatížení a zároveň lze zobrazit obálku účinku.

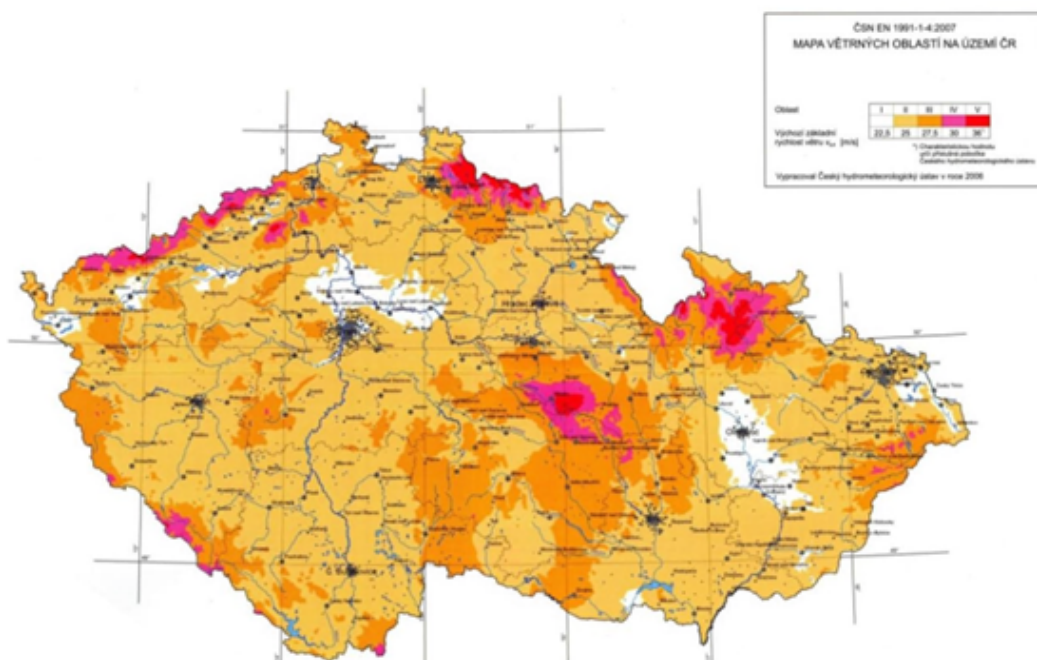
Pro zahrnutí veškerých účinků od dopravy se zohledňují brzděné a rozjížděcí síly od LM1 i od LM3. Brzděná síla se uvažuje jako podélná síla působící v úrovni povrchu vozovky v ose zatěžovacího pruhu. Její rozdělení by mělo být rovnoměrné po celé zatěžovací šířce.

Zatížení od poklesu podpor

Při statické analýze je nezbytné zahrnout i situace, kdy může dojít k poklesu podpěr. Pro každý bod, kde je sednutí možné, je určena konkrétní hodnota poklesu, v tomto případě 0,2 m. Následně se provádí výpočet všech možných kombinací, kde jsou podpěry rozdílně ovlivněny poklesem, aby bylo možné určit vliv na konstrukci a její chování.

Zatížení větrem

Výchozí základní rychlost větru pro je dána podle mapy v normě ČSN 1991-1-4-2007. Klimkovice se nacházejí v oblasti II a rychlost větru je 25 m/s. Dalším kritériem pro určení zatížení od větru je kategorie terénu, která je rovněž II.



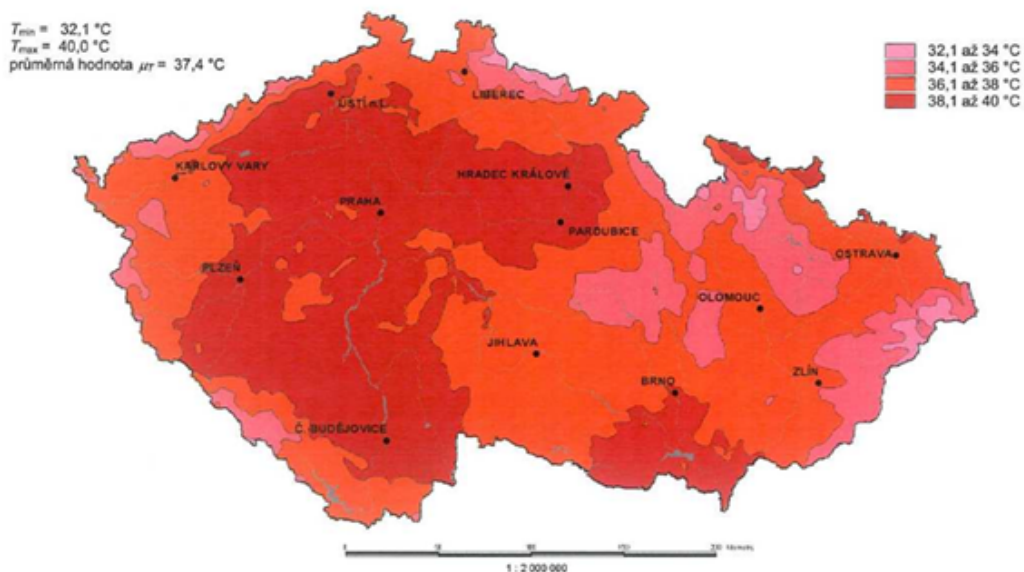
Obrázek 3.23: Mapa větrných oblastí na území ČR

Pro posouzení je nutno uvažovat se všemi směry působícími na konstrukci. Směr x je směr rovnoběžný se šířkou nosné konstrukce a kolmý na rozpětí mostu. Směr y je ve směru rozpětí mostu a směr z je kolmý k nosné konstrukci. Síly ve směru x a y vznikají od větru vanoucího v různých směrech a většinou nepůsobí současně. Dalším faktorem působícím na velikost zatížení větrem je, zda je na mostě přítomná doprava. Je-li doprava na mostě zatížení větrem bude větší.

Zatížení od teploty

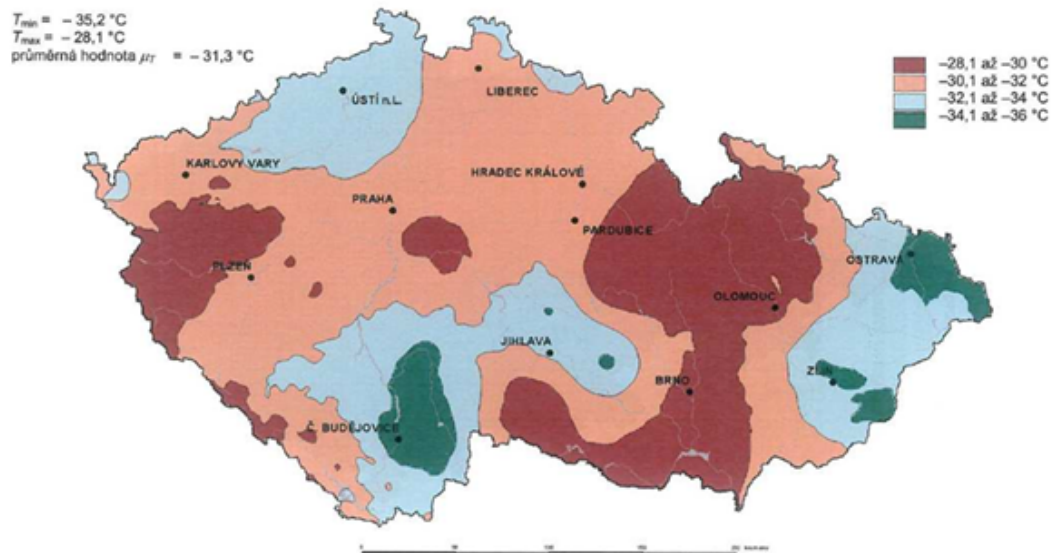
Zatížení od teploty vychází z teplotních map ČR.

Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními maximy s pravděpodobností 0,02.



Obrázek 3.24: Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními maximy s pravděpodobností 0,02

Hodnoty minimální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními minimy s pravděpodobností 0,02.



Obrázek 3.25: Hodnoty minimální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními minimy s pravděpodobností 0,02

Maximální hodnoty pro rovnoměrné zatížení jsou 31,0 °C a minimální hodnoty jsou -32,0 °C. Zároveň hodnoty pro nelineární složku od teploty jsou 12,8 °C a -8,0 °C.

Literatura

- [1] *ČSN EN 1991-2: Zatížení mostů dopravou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [2] *ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [3] *ČSN EN 1990 včetně změny A1: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [4] *ČSN EN 1992-2: Betonové mosty. Navrhování a konstrukční zásady*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] *ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [6] *ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] *Katalóg mostných nosníkov* [online]. [cit. 2025-01-14]. Dostupné z: <https://vph.sk/assets/Uploads/ProduktPage/14/Katalog-mostnych-nosnikov.pdf>.
- [8] *Midas Civil Manuals and Tutorials* [online]. [cit. 2025-01-14]. Dostupné z: <https://gtc.midasuser.com/helpdesk/KB/View/32609792-midas-civil-manuals-and-tutorials>.
- [9] *Technické podmínky (TP)* [online]. [cit. 2025-01-14]. Dostupné z: <https://pjpk.rsd.cz/technicke-podminky-tp/>.
- [10] *Usporiadanie nosníkov v priečnom smere* [online]. [cit. 2025-01-14]. Dostupné z: <https://vph.sk/assets/Uploads/ProduktPage/14/KL-34-02.pdf>.

Seznam obrázků

1.1	Příčný řez	2
3.1	Model nosníku	7
3.2	Umístění předpjatých lan v čele a ve středu nosníku	8
3.3	Výstřižek z modelu - přesné rozmístění lan	9
3.4	Výstřižek z modelu - zjednodušené umístění lan	9
3.5	Podélný pohled na roštový model v 1. fázi	10
3.6	Celkový model se zobrazením nosníků v 1. fázi	10
3.7	Zatížení na příčniku od čerstvého betonu	11
3.8	Zatížení na nosník od čerstvého betonu z mostovky	11
3.9	Vznik kompozitního profilu	11
3.10	Nový tvar přiřazený podélným prutům	11
3.11	Zatížení na příčniku od tvrdnoucího betonu	12
3.12	Zatížení na nosník z mostovky	12
3.13	Model s nově vzniklými příčnými vazbami	12
3.14	Znázornění dodatečně předepjatých kabelů	12
3.15	Nové aktivní podpory	13
3.16	Znázornění rozmístění ložisek	13
3.17	Modelové znázornění ložisek	13
3.18	Rozmístění ostatního stálého zatížení	14
3.19	Rozmístění zatěžovacích pruhů	15
3.20	Definované trasy ve výpočtovém modelu	16
3.21	Definování pro LM1	16
3.22	Zobrazení LM1 v pruzích	17
3.23	Mapa větrných oblastí na území ČR	18
3.24	Hodnoty maximální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními maximy s pravděpodobností 0,02	19
3.25	Hodnoty minimální teploty vzduchu ve stínu, která je překročena ročními minimy s pravděpodobností 0,02	19

Příloha A

Přílohy

- A.1 Příloha P1 - podklady
 - A.1.1 Podélný profil a situace
- A.2 Příloha P2 - výkresová dokumentace
 - A.2.1 Příčné řezy
 - A.2.2 Podélný řez
 - A.2.3 Situace
 - A.2.4 Fáze výstavby
 - A.2.5 Výztuž mostovky a příčnicku
 - A.2.6 Výztuž nosníku
- A.3 Příloha P3 - Vizualizace
- A.4 Příloha P4 - Statický výpočet
- A.5 Příloha P5 - Technická zpráva