



**FAKULTA
ŠTROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

Optimalizace konstrukce pojízdné brány

Optimization of Mobile Gate Construction

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Michal JARKOVSKÝ

Studijní program: B2341 STROJÍRENSTVÍ

Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: Ing. Jan Kanaval, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jarkovský** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **466401**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Strojirenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Optimalizace konstrukce pojízdné brány

Název bakalářské práce anglicky:

Optimization of Mobile Gate Construction

Pokyny pro vypracování:

V rámci řešení bakalářské práce vypracujte rešerši pojezdových vrat a bran včetně jejich pohonů. Analyzujte problematiku pojezdových vrat a bran velké délky z hlediska konstrukčního návrhu, pevnosti a tuhosti konstrukce, jejich pohonů, technologičnosti a neopomeňte hledisko bezpečného provozu. Na základě provedené rešerše proveďte optimalizaci konstrukce brány velké délky s ohledem na její pevnost, tuhost, technologičnost konstrukce, spolehlivou funkci, při zajištění bezpečného provozu a přijatelných nákladů na realizaci. Optimalizovaný konstrukční návrh proveďte formou 3D modelu a 2D sestavného výkresu včetně potřebných kontrolních výpočtů s využitím MKP. Závěrem proveďte i ekonomické zhodnocení zvolené konstrukční varianty.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Spoje a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008.
ŠVEC, V.: Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003.
BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. Části strojů. 1. svazek. 5. vyd. Praha: SNTL, 1989.
BOLEK, A.; KOCHMAN, J. a kol. Části strojů. 2. svazek. 5. vyd. Praha: SNTL, 1990.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Kanava, Ph.D., ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **23.03.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **29.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce:


Ing. Jan Kanava, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


Ing. František Topol, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) katedry/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis odborníky

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

27.5.2020

Datum převzetí zadání


Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Optimalizace konstrukce pojízdné brány“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Kanavala, Ph.D., s použitím literatury uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze

Michal Jarkovský

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych tímto poděkovat vedoucímu své bakalářské práce Ing. Janu Kanavalovi, Ph.D. za odborné vedení v průběhu vypracování mé práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Vítкови, CSc. za výpomoc a kontrolu při analytických výpočtech a Ing. Jiřímu Kuželkovi, Ph.D. za pomoc a kontrolu při numerických výpočtech v programu „Abaqus“.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Michal Jarkovský
Název BP:	Optimalizace konstrukce pojízdné brány
Anglický název:	Optimization of Mobile gate construction
Rok:	2020
Studijní program:	B2341 Strojírenství
Obor studia:	3901R051 Konstruování podporované počítačem
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí:	Ing. Jan Kanaval, Ph.D.
Bibliografické údaje:	počet stran 71 počet obrázků 70 počet tabulek 8 počet příloh 3
Klíčová slova:	brána, analýza, optimalizace, MKP
Keywords:	gate, analysis, optimization, MKP
Anotace:	Tato bakalářská práce se zabývá optimalizací konstrukce pojízdné brány. V praktické části je řešen výpočet takové konstrukce pomocí analytické metody a metody numerické.
Abstract:	This bachelor thesis deals with optimization of the Mobile gate construction. The practical part deals with a calculation of such construction using the analytical method and also the numerical method.

OBSAH

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	8
1. Úvod	10
2. Rešerše	11
2.1. Brány.....	11
2.1.1. Rozdělení vrat a bran	11
2.2. Samonosná brána	12
2.2.1. Výroba	12
2.2.1.1. Prvky v oceli S235JR	13
2.2.1.2. Legující prvky a jejich význam	13
2.2.2. Povrchová úprava	14
2.2.2.1. Základová barva	14
2.2.2.2. Žárové zinkování	14
2.2.2.3. Komaxit	14
2.2.3. Pohony samonosných bran.....	15
2.2.3.1. Převod z ozubeného kola na ozubený hřeben.....	15
2.3. Posuvná brána po kolejnici.....	17
2.3.1. Výroba	17
2.3.2. Povrchové úpravy	17
2.3.3. Pohony posuvných bran po kolejnici	17
2.3.4. Pojezdová kolečka.....	17
2.3.5. Nosné vozíky	18
2.3.6. Lišty pro pojízdná kolečka.....	19
2.4. Dvoukřídlé a jednokřídlé brány	20
2.4.1. Výroba	21
2.4.2. Povrchové úpravy	21
2.4.3. Pohony dvoukřídlých a jednokřídlých bran.....	21
2.5. Údržba bran.....	23
2.6. Bezpečnostní prvky	24
2.6.1. Bezpečnostní lišty	25
2.6.2. Fotobuňky.....	26
2.6.3. Světelné majáky	27
3. Analýza samonosné brány	28
3.1. Analýza současné konstrukce	28
3.1.1. Popis současné konstrukce	28
3.2. Analytický výpočet.....	29
3.2.1. Výpočet tenkého rámu na dvou podpěrách s jednou osou symetrie.....	29
3.2.1.1. Výpočtové parametry	30
3.2.1.2. Výpočet	31
3.2.2. Výpočet tenkého rámu převedeného na jednoduchý nosník.....	39
3.2.3. Porovnání výpočtů u jednotlivých konstrukcí	43
3.3. Numerický výpočet	44
3.3.1. Parametry výpočtu.....	44
3.3.2. Okrajové podmínky	45

3.3.2.1.	Brána bez koleček	45
3.3.2.2.	Brána s kolečky	47
3.3.3.	Výpočty	48
3.3.3.1.	Průběh napětí a deformace u brány bez koleček	48
3.3.3.2.	Průběh napětí a deformace u brány se dvěma kolečky	50
3.3.3.3.	Průběh napětí a deformace u brány se třemi kolečky	52
3.3.3.4.	Průběh napětí a deformace u brány bez koleček s upravenou konstrukcí	54
3.3.4.	Analýza a porovnání vypočtených údajů	57
4.	Optimalizace současné konstrukce.....	58
4.1.	Nosné vozíky a C-profil.....	58
4.2.	Kolečka a pojezdové lišty	60
4.3.	Povrchová úprava	62
4.4.	Bezpečnostní prvky	62
4.5.	Kalkulace nákladů na optimalizaci	62
5.	Závěr.....	64
	Použité zdroje.....	65
	SEZNAM OBRÁZKŮ	68
	SEZNAM TABULEK.....	70
	SEZNAM PŘÍLOH	71

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ
Zkratky

AC	Střídavý proud
C	Uhlík
CAD	„Computer aided design“ – Počítačem podporované projektování
ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
MKP	Metoda konečných prvků
Mn	Mangan
N	Dusík
P	Fosfor
RX	Příjem signálu
S	Síra
Si	Křemík
TX	Vysílání signálu

Symbols – Latinská abeceda

E	$[\frac{N}{mm^2}]$	Younguv modul pružnosti
J_z	$[mm^4]$	Kvadratický moment průřezu k ose z
L	[mm]	Rozměr – délka
M	$[N * mm]$	Obecný moment
M_o	$[N * mm]$	Ohybový moment
N	[N]	Normálová síla
q	$[\frac{N}{mm}]$	Spojité zatížení
R_{eH}	$[\frac{N}{mm^2}]$	Mez kluzu
R_m	$[\frac{N}{mm^2}]$	Mez pevnosti v tahu
T	[N]	Posouvající síla
t	[°C]	Teplota
u	[mm]	Posunutí ve směru osy x
v	[mm]	Posunutí ve směru osy y
x	[mm]	Obecná souřadnice
y	[mm]	Obecná souřadnice



Symbols – Řecká abeceda

ρ	$[\frac{kg}{m^3}]$	Hustota
φ	[°]	Úhel
μ	[-]	Poissonova konstanta

1. Úvod

Pojízdná brána, která je řešena (analyzována) v této bakalářské práci, se nachází před hasičskou stanicí v Rudné u Prahy. Jedná se o samonosnou pojízdnou bránu, která byla zkonstruována podle zadaných parametrů pro konkrétní prostředí. Po zabudování a zprovoznění brány bylo zjištěno několik problémů. Jednalo se jak o problémy s tuhostí brány, tak i její pevností. Dále se vyskytly problémy s povrchovou úpravou konstrukce a rovněž docházelo i k poškození svarů. V první variantě bylo zvoleno žárové zinkování. Při této úpravě ke korozi nedocházelo, ale brána se výrazně zdeformovala. Ve druhé variantě byl zvolen jen ochranný nátěr základovou barvou. Po natření brány a jejím následném zprovoznění začala brána korodovat, a to zejména na nejvíce namáhaných místech a v místech svarů. Tyto problémy budou dále popsány v této bakalářské práci.

Jako první konstrukční návrh byla využita samonosná brána. Při jejím zhotovení došlo k nevhodnému postupu svařování a rovněž v důsledku následného žárového zinkování vykazovala pojízdná brána nepřijatelné deformace. Díky prohnutí brána nedokázala plnit svou funkci a běhen otevírání a zavírání se zadržávala.

Jako druhý konstrukční návrh byla opět použita samonosná brána stejného konceptu s rozdílem připevnění pryžových pojezdových koleček na spodní části. Ta se po usazení brány a uvedení do provozu ukázala jako nevyhovující. Při delším provozu se začala poškozovat a nakonec praskla. Po tomto zjištění byl vypracován třetí konstrukční návrh pro upevnění koleček. Byla vybrána kolečka s větší nosností a bylo zlepšeno upevnění koleček. Kolečka sice vydržela hmotnost brány, ale díky nerovnostem povrchu a ohybu brány poškozovala asfaltový podklad. Dále byla zjištěna špatná povrchová úprava a z tohoto důvodu začala brána v místech svarů a v místech největší námahy korodovat. Brána bude řešena v současném stavu.

V úvodu této bakalářské práce je vypracována rešerše pojezdových vrat a bran včetně jejich pohonů. Dále je provedena analýza problematiky pojezdových bran a vrat větších délek pomocí MKP (Metody konečných prvků) a analytických výpočtů. Problematika je řešena jak z hlediska konstrukčního návrhu, tak z hlediska pevnosti a tuhosti konstrukce. Dále jsou řešeny jejich pohony a technologičnost celé konstrukce. Tyto poznatky byly použity k optimalizaci konstrukce pojízdné brány velké délky s ohledem na její spolehlivou funkci, bezpečnost a životnost.

2. Rešerše

V rešerši je zmíněno rozdělení bran, jejich pohonů a jsou zde popsány základní povrchové úpravy materiálu, která byl použit na konstrukci brány. Dále jsou zde ve zkratce popsány součásti bran a jejich bezpečnostní prvky. Je zde také popsána celoroční údržba samotných bran a zmíněných bezpečnostních prvků.

2.1. Brány

V České republice se setkáme s mnoha typy bran a vrat. Tato práce je primárně zaměřena na konstrukci a technologičnost samonosných bran, které jsou nejvíce rozšířené, ale v textu lze nalézt informace i o posuvných branách po kolejnicích a dvoukřídlých vratech. Také je v práci vypracován rozbor a porovnání jejich pohonů a výhody a nevýhody konkrétních konstrukcí.

2.1.1. Rozdělení vrat a bran

- Samonosná brána (Obr. 1-3)
- Posuvná brána po kolejnicích (Obr. 4)
- Dvoukřídlá brána (Obr. 5)



Obr. 1: Samonosná brána s dřevěnou výplní [1]



Obr. 2: Rám připravený na výplň [2]



Obr. 3: Samonosná brána s kovovou výplní [3]



Obr. 4: Posuvná brána po kolejnici [4]



Obr. 5: Dvoukřídlá brána s pohonem [5]

2.2. Samonosná brána

Samonosné brány se používají v případech, kdy je na stavební ploše dostatek místa pro odjetí brány. Jejich výhoda plyne z toho, že jsou umístěny na nosných vozíčkách a pohybují se nad povrchem. Tudíž nejsou potřeba žádná kolečka a jsou méně náchylné k problému se sněhem nebo blátem. [1]

2.2.1. Výroba

Samonosné brány se v České republice vyrábí ve dvou variantách. První variantou je rám bez výplně. V tomto případě se vnitřek rámu vyplní buď dřevěnými prkny, plastovou výplní, nebo kovovou výplní. Nejvíce se používá kovová výplň, při které je použit buď svislý jekl, nebo čtyřhranný jekl. [1] Jekl, který se používá k výrobě rámu brány, je vyroben z materiálu S235JR (dle ČSN 11375). Jedná se o neušlechtilou ocel, která se vyznačuje dobrou svařitelností. U svařování materiálu S235JR musí být dbáno zvýšené opatrnosti u větších tloušťek. Při větší tloušťce roste uhlíkový ekvivalent, a tím se zvyšuje možné riziko vzniku trhlin za studena v místě svarů. Může se použít ke konstrukci částí strojů, které jsou namáhané jak staticky, tak dynamicky. [6] Její minimální mez kluzu R_{eH} se pohybuje v rozmezí $(235 - 175) N/mm^2$ a závisí na jmenovité tloušťce dané součástí. Tato závislost je popsána v tabulce Tab. 1. Mez se pevnosti v tahu R_m této oceli pohybuje v rozmezí $(340 - 510) (N/mm^2)$. Opět zde závisí na jmenovité tloušťce dané součástí. Tato závislost je popsána v tabulce Tab. 2. Pokud by tato ocel byla dále tvářena za tepla, je nutno ji po dané operaci normalizačně žíhat, aby bylo dosaženo minimální meze kluzu a pevnosti v tahu.

Tab. 1.: Minimální mez kluzu R_{eH} v závislosti na jmenovité tloušťce [7]

Tloušťka [mm]	$\geq 3 \leq 100$	$> 100 \leq 150$	$> 150 \leq 250$
$R_{eH} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	360-510	350-500	340-490

Tab. 2.: Pevnost v tahu R_m [7]

Tloušťka [mm]	≤ 16	$> 16 \leq 40$	$> 40 \leq 63$	$> 63 \leq 80$	$> 80 \leq 100$	$> 100 \leq 150$	$> 150 \leq 200$	$> 200 \leq 250$
$R_m \left[\frac{N}{mm^2} \right]$	235	225	215	215	215	195	185	175

2.2.1.1. Prvky v oceli S235JR

Chemické složení oceli může značně ovlivnit mechanické a technologické vlastnosti materiálu. Mezi prvky, které tyto vlastnosti mění, patří uhlík, mangan, síra, fosfor, křemík a dusík. Mohou například zlepšit nebo zhoršit obrobiteľnost oceli nebo její svařitelnost. Například svařitelnost je nejvíce ovlivněna obsahem uhlíku.

2.2.1.2. Legující prvky a jejich význam

Do taveniny se přidávají, nebo se v tavenině už nachází prvky, které mění nebo zlepšují některé vlastnosti. V materiálu S235JR (dle ČSN 11 375) se nachází mangan, síra a fosfor, dále se v oceli může nacházet např. křemík. Obsah jednotlivých prvků naleznete v Tab. 3 a obsah uhlíku v závislosti na tloušťce v Tab. 4.

Tab. 3.: Obsah C v závislosti na tloušťce oceli S235JR [7]

Tloušťka [mm]	≤ 16	$> 16 \leq 40$	> 40
Tavenina [%]	0,17	0,17	0,20
Hotový výrobek [%]	0,19	0,19	0,23

Tab. 4.: Složení oceli S235JR (dle ČSN 11 375) [7]

Prvek	Mn	Si	P	S	N
Chemické složení [%] (rozbor tavby)	1,40	-	0,035	0,035	0,012
Složení hotového výrobku [%]	1,50	-	0,045	0,045	0,014

2.2.2. Povrchová úprava

Povrchová úprava chrání ošetřený díl před vnějšími vlivy jako je vlhkost, mechanické poškození, koroze atd. U bran a vrat se většinou používají základové barvy na ochranu před korozí a otěrem. Dále se používá žárové zinkování pro dobrou korozní odolnost a odolnost proti mechanickému poškození. Méně častá povrchová úprava je také komaxit.

2.2.2.1. Základová barva

Jedná se o nejjednodušší typ povrchové úpravy a používá se jako základní ochrana kovových konstrukcí. Dokáže být postačující při ochraně proti vlivům venkovního prostředí, ale většinou je používána v kombinaci s ostatními povrchovými úpravami. Povrch, na který je základová barva nanášena, by měl být čistý a odmaštěný. Barva by neměla být nanášena na místa, která jsou nějakým způsobem poškozená nebo nebyla ošetřena (odmaštěna, obroušena). V tomto případě by základová barva neměla žádný účinek.

2.2.2.2. Žárové zinkování

Při žárovém zinkování se ocelové díly namáčí do zinkové lázně o teplotě (440–470) °C. Tato povrchová úprava je výhodná v tom, že lze dosáhnout dobré korozní odolnosti, odolnosti proti mechanickému poškození a její náklady na provádění jsou relativně nízké. Nevýhodou u této úpravy je, že se nedá použít u členitých prvků, dochází zde k zanášení malých otvorů zinkem. Dále jsou omezeny velikosti zinkovací vany, tudíž nelze žárové zinkování používat u obrovských dílů. U větších dílů, které nelze ponořit do zinkovací vany, je použit žárový nástřík. Žárový nástřík se například používá u mostní konstrukce, přivaděčů vodních elektráren a zábradlí. [8][9]

2.2.2.3. Komaxit

Tato povrchová úprava spočívá v tom, že na povrch kovové součástí je nanášen práškový plast. „Komaxit nanášíme na materiály předem očištěné metodou tryskání. Principem je elektrostatické nabití prášku a lakovaného dílce protikladnými náboji, díky čemuž se prášek uchytí na povrchu lakovaného dílce. Následně je lak vytvrzen ve vypalovací peci při teplotě 180 °C, což zajistí jeho perfektní fixaci k nalakovanému produktu.“ [9] Toto je současně i nevýhoda komaxitu. Lze ho totiž použít pro vodivé kovy. Povrch kovové součásti musí být před komaxitováním ošetřen. Pokud součást není namáhána vlivy venkovního prostředí, tak se pouze očistí a použije se odmašťovací směs, která může být založena na alkalických roztocích nebo na vodních tenzidových prostředcích. Na povrchu součástí nesmí být žádné vady a součást nesmí korodovat. Výhodou této povrchové úpravy je dosažení vysoké kvality povrchu, nanesený plast vytváří rovnoměrnou vrstvu po celém povrchu, může se používat v potravinářském průmyslu a má vysokou životnost dle účelu používání. [10]

2.2.3. Pohony samonosných bran

Pohony pro samonosné brány se dělí dle jejich únosnosti. Zde je porovnání konstrukce dvou nejvíce používaných 24 V motorů. První motor se nazývá Hörmann LineaMatic BiSecur (Obr. 6). Tento typ má nosnost do 300 kg. Druhý typ motoru se nazývá Nice Robus-400 (Obr. 7) s nosností do 400 kg. Motory většinou mají teplotní čidla, která přizpůsobí výkon motoru k okolním teplotním podmínkám. Většinou se konstruují s únosností 300 kg, 500 kg, 800 kg. Jedná se o 24 V stejnosměrný motor, který pohání šnekovou převodovku. Šneková převodovka je usazena do plastového pouzdra, které ji chrání proti venkovním podmínkám. V této plastové skříni se také nachází integrované řízení zajišťující ovládání motoru, a to například zavírání a otevírání. Také se zde nachází koncový spínač, který zajišťuje, aby se brána úplně otevřela i zavřela. [11]

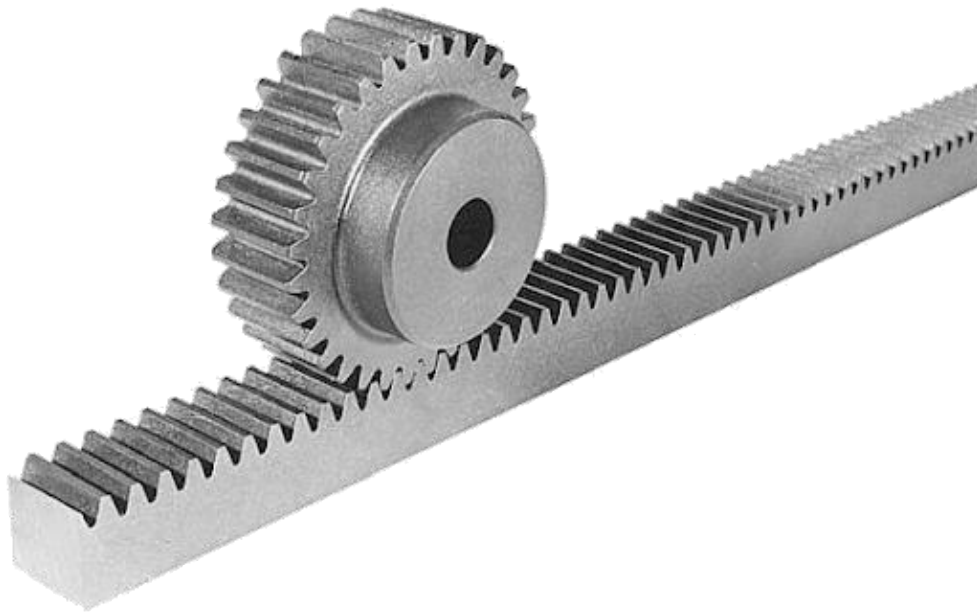


Obr. 6: Motor samonosné brány druhý typ 1 [11]

Obr. 7: Pohon samonosné brány typ 2 [12]

2.2.3.1. Převod z ozubeného kola na ozubený hřeben

Při tomto způsobu pohonu se odvaluje pastorek po ozubeném hřebenu, kdy je pastorek napojen přes převodovku na motor a hřeben je připevněn k rámu brány (stroje). V případě ozubeného hřebenu se jedná o rozvinuté ozubené kolo s nekonečným průměrem. Ozubené kolo i ozubený hřeben se vyrábí jak s přímými zuby, tak i se zuby šikmými. Vůli mezi pastorkem a hřebem můžeme vymezit buď mechanicky, hydraulicky, nebo pomoci dvou motorů (Master-slave) [32]. Tento způsob má pohonu samozřejmě má své omezující parametry. Mezi tyto parametry se například řadí únosnost ozubení v ohybu a v dotyku. Největší výhodou tohoto pohonu je, že ho můžeme použít pro velké pracovní zdvihy. V případě, který je řešen v této práci, lze nakoupit hřebeny od 0,5 m do 2 m a z toho poskládat požadovaný pracovní zdvih. Dále lze u tohoto typu pohonu vyvodit velké pracovní síly a díky tomu při malé zástavbě je pohon schopen přesunout velké hmoty. [13]



Obr. 8: Hřeben s přímými zuby [13]

Další rozhodující faktor ve výběru tohoto pohonu je profil zubů pastorku a hřebenu. Tento pohon se vyrábí buď s přímými zuby, nebo se zuby šikmými. Výhoda přímých zubů spočívá v nenáročnosti výroby, a to se odráží také na ceně. Ovšem v dnešní době výroba šikmého ozubení už není náročná, tudíž tato výhoda není zásadně rozhodující. Velkou výhodou šikmých zubů je, že v záběru je více zubů než u přímých, tudíž kola a hřebeny se šikmými zuby mají mnohem větší únosnost a díky tomu rozměry kol mohou být menší.[14]



Obr. 9: Hřeben se šikmým ozubením [14]

2.3. Posuvná brána po kolejnici

Posuvné brány po kolejnici jsou použity tam, kde prostorové rozměry nedovolují použít samonosnou bránu. Výhoda po použití této varianty je v tom, že posuvná brána po kolejnici nemá takové prostorové nároky jako samonosná brána díky tomu, že se pohybuje na kolečkách. [1]

2.3.1. Výroba

Tyto brány se opět vyrábí jako samostatný rám bez výplně, do kterého je poté vsazeno dřevo, plast apod. nebo se vyrábí s kovovou výplní. Jako výplň je zde opět použit jekl nebo pásová ocel.

2.3.2. Povrchové úpravy

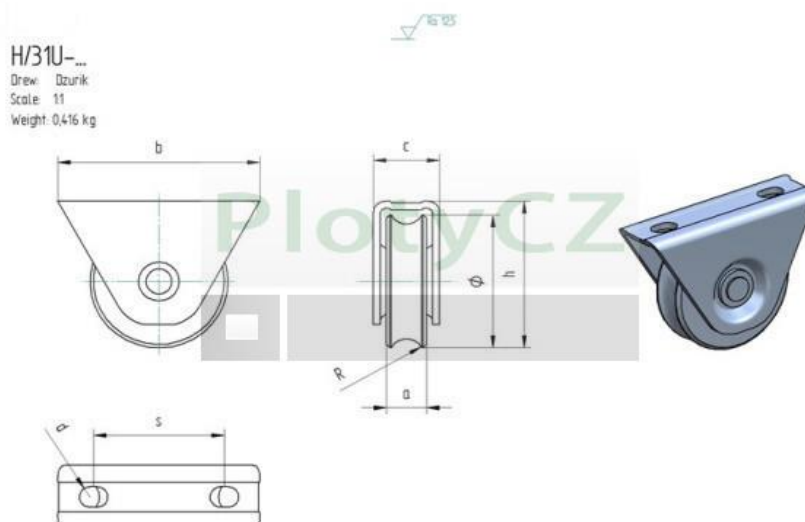
U těchto bran se používají stejné povrchové úpravy jako u bran samonosných. Opět se zde používá základová barva, žárové zinkování nebo komaxit. (viz kapitola 2.2.2.)

2.3.3. Pohony posuvných bran po kolejnici

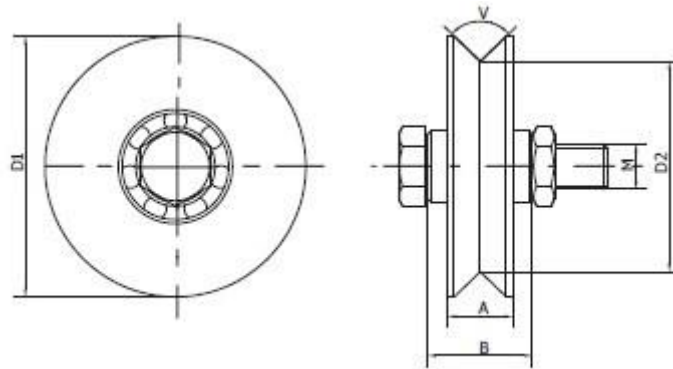
Stejně jako u samonosných bran se zde používají 24 V motory, které pohání šnekovou převodovku. Použité motory jsou totožné a opět se vybírají dle únosnosti motoru.

2.3.4. Pojezdová kolečka

Pojezdová kolečka se vyrábí z konstrukční oceli. Jsou galvanicky zinkovaná a ve většině případů se šroubují na rám brány. Další možností je navaření pojezdného kolečka přímo na rám pojezdné brány. Tato kolečka se dále rozdělují na pojezdová kolečka s U drážkou (Obr. 10) a na pojezdová kolečka s V drážkou. [15]



Obr. 10: Schéma pojezdného kolečka s U drážkou [15]



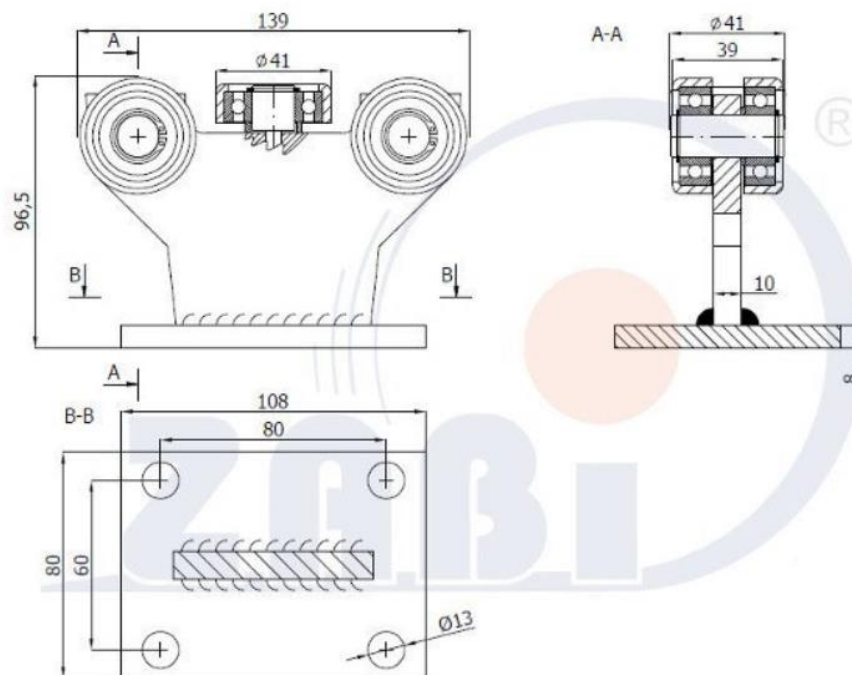
Obr. 11: Schéma pojízdného kolečka s V drážkou [16]

2.3.5. Nosné vozíky

Nosné vozíky se u samonosných a posuvných bran používají k lepšímu vedení a lepší stabilitě brány. Vyrábí se pro brány o průřezu do 4 m až do 10 m. Dále záleží na celkové hmotnosti dané brány. Nosné vozíky se skládají z několika ložisek, kde počet ložisek záleží na nosnosti daného vozíku. Pro nosné vozíky se používají kuličková ložiska, která jsou zajištěna pojistným kroužkem. Nosný vozík se většinou šroubuje přímo do betonového podkladu. Existují i vozíky, které se přivaří na podklad, který je pro tuto montáž určený. U samonosných a posuvných bran jsou tyto vozíky vloženy do C-profilu, který je navařen na spodní straně brány a pomáhají s vedením brány při jejím otevírání a zavírání. [17]



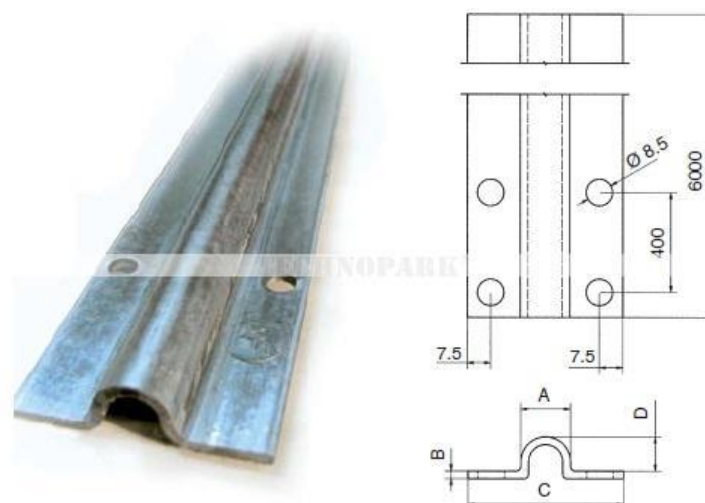
Obr. 12: Nosný vozík [17]



Obr. 13: Schéma nosného vozíku [17]

2.3.6. Lišty pro pojízdňá kolečka

Lišty pro kolečka pojízdňých bran se vyrábí z konstrukční oceli a opět se také galvanicky zinkují. Tyto lišty se šroubují přímo do povrchu, kde se většinou jedná o beton. Lišty pro pojízdňá kolečka se vyrábí, na rozdíl od koleček, jen v jedné variantě. Tato varianta se vyrábí s takzvanou U-drážkou (Obr. 14) a je určena pro kolečka jak s U-drážkou, tak pro kolečka s V-drážkou. Tyto lišty se většinou dodávají s délkou 3 m a 6 m. [18]



Obr. 14: Obrázek a schéma lišty s U-drážkou [18]

2.4. Dvoukřídle a jednokřídle brány

Dvoukřídle a jednokřídle brány (Obr. 15) mají na rozdíl od bran posuvných a samonosných mají výhodu v tom, že nejsou náročné na potřebu bočního prostoru. Proto jsou využívány tam, kde nelze zakomponovat samonosnou ani posuvnou bránu. Brány jednokřídle se používají v případech, kdy se kvůli menším stavebním prostorům nemůže využít druhé křídlo. Tyto jednokřídle brány se opět skládají z jeklového rámu, který je buď bez výplně, nebo se dále vsadí kovová výplň. Jako kovová výplň se nejvíce používá jekl. Rám bez výplně se opět buď osadí dřevem, nebo plastem. Brány dvoukřídle se využívají tam, kde není limitujícím faktorem nedostatečný stavební prostor. Rám a pohon není v tomto případě tolik zatěžován, ale nastává problém v tom, že je nutné každé křídlo pohánět samostatným pohonem, a tudíž i stoupne pořizovací cena pohonu, jelikož se musí pořídit dva kusy. Opět se oba rámy vyrábí buď s kovovou výplní, nebo jsou dále osazeny dřevem nebo plastem. Tyto brány se většinou používají jako brány vjezdové na menší pozemky, kde by byl problém využít brány posuvné nebo samonosné z důvodů malých bočních prostor pro usazení těchto typů bran. U těchto bran nejsou potřebná kolečka, protože jsou zavěšeny na sloupcích, a tudíž je zde odstraněn problém při zimním období, kdy u samonosných a posuvných bran je nutno odklízet menší množství napadaného sněhu, aby byl zajištěn bezproblémový chod brány a bylo zamezeno případnému poškození od nevyhrnutého sněhu a brána mohla fungovat bez jakýchkoliv problémů. [1]



Obr. 15: Jednokřídle brána s pohonem [19]

2.4.1. Výroba

Výroba dvoukřídlých a jednokřídlých bran je založena na stejném principu jako výroba bran samonosných a bran posuvných. Jediný rozdíl je zde v tom, že u bran dvoukřídlých je potřeba rámy vyrobit dva.

2.4.2. Povrchové úpravy

Opět se při povrchové úpravě na ochranu před vlivy venkovního prostředí nejvíce používá základový nátěr, žárové zinkování nebo komaxit. Tyto postupy jsou popsány v kapitole 2.2.2.

2.4.3. Pohony dvoukřídlých a jednokřídlých bran

Pohon křídlových bran se od pohonu samonosných a posuvných liší v tom, že zde není motor, který pohání šnekovou převodovku. Zde slouží k ovládání bran závitový mechanismus s pohybovým šroubem (Obr. 17), který je poháněn 24 V nebo 36 V motorem. Každé křídlo brány musí mít svůj vlastní pohon (Obr. 16). Tento mechanismus je chráněn krytem, který může být vyroben z hliníkového plechu nebo z plastu. Tyto pohony se dále dělí dle svého výkonu, tlačné síly a jejich nosnosti. U nosnosti se ve většině případech udává hmotnost jednoho křídla v kilogramech a dále se zde udává délka jednoho křídla, která je udávána v metrech. K tomuto pohonu je dále přidána řídicí jednotka, která se upevňuje na sloup, na kterém je zavěšená brána, dálkový ovladač, pomocí kterého bránu lze bránu otevírat a zavírat a přijímač dálkového ovládání. Motor je napájen ze sítě 230 V AC. [20]



Obr. 16: Pohon křídlové brány [20]

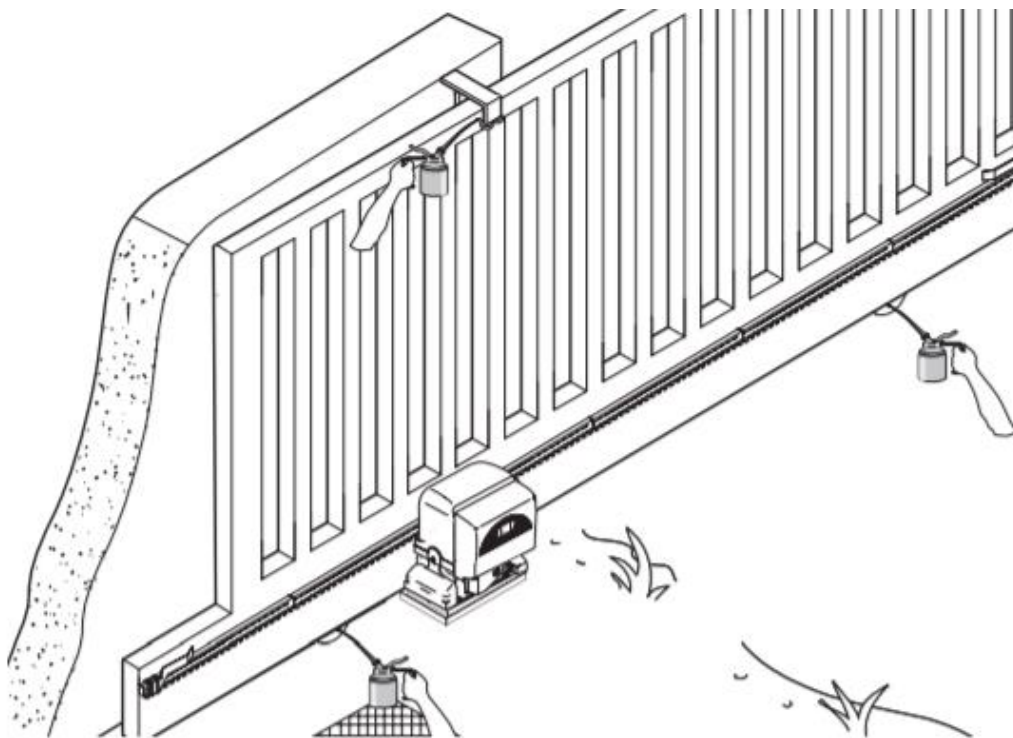


Obr. 17: Detail závitového mechanismu [20]

2.5. Údržba bran

Údržba samonosných, posuvných či křídlových bran je zásadní pro její správnou funkci a životnost. Údržba se v každém ročním období liší a některé kroky není potřeba provádět, a to například u samonosných bran.

První krok, který musí být prováděn alespoň jednou za tři měsíce, je omytí brány. V tomto případě by měla stačit teplá voda a v případě velkého znečištění odmašťovací a čistící prostředky. Pokud se jedná o posuvnou bránu pojíždějící po kolejničích, musí být zkontrolován stav kolejnice, na které se brána pohybuje. Jakékoli nečistoty, které se nachází v kolejnici, musí být odstraněny. Na podzim se může jednat o napadané listí a v zimě o napadaný sníh. Při velkém dešti se kolejnice může zanést bahnem. To je také nutné odstranit pro bezproblémový chod posuvné brány. Jednou za rok by měla být brána kompletně zkontrolována buď odborníkem, nebo kontrola může být provedena jejím majitelem. Mělo by být zkontrolováno, zda se díky pohybu brány některé součástky neuvolnily nebo nedošlo k jejich poškození. [4] Dále je nutné pravidelné mazání vodivých součástí a posuvných koleček. Také je nutné zajistit funkčnost fotobuněk či koncových spínačů (Obr. 18) umístěných na samonosné nebo posuvné bráně. Jelikož se jedná o bezpečnostní prvky, měla by být tato údržba prováděna co nejčastěji. Při kontrole funkce fotobuněk by měl být před fotobuňku umístěn předmět, a tím by mělo být zjištěno, jestli brána na tento předmět reaguje zastavením nebo jestli pohon změni směr pohybu. Fotobuňku je také nutné otřít vlhkým hadříkem bez jakýchkoliv čistících prostředků, které by fotobuňku mohly poničit. [21]



Obr. 18: Místa nutná pro mazání [22]



Obr. 19: Fotobuňka IR30 [23]

2.6. Bezpečnostní prvky

V tomto oddílu jsou popsány bezpečnostní a výstražné prvky samonosných, křídlových a posuvných bran. Tyto prvky zajišťují bezpečnost při provozu těchto bran. Jedná se například o fotobuňky, které zabezpečí, že se brána zastaví nebo změní směr svého pohybu, pokud fotobuňky zaznamenají přítomnost objektu v dráze brány. Tímto fungováním pomohou fotobuňky zamezit případnému nárazu nebo sevření tělesa, ať už se jedná o člověka nebo o automobil.

Další z bezpečnostních prvků jsou bezpečnostní lišty. Tyto lišty se montují na brány, které nejsou vybaveny fotobuňkami a opět majiteli slouží jako ochrana proti nárazu a sevření osob a jiných předmětů.

Jako výstražný prvek se u samonosných, křídlových a posuvných bran používá světelný maják. Ten při provozu brány začne blikat, a tím okolí dává informaci, že byla brána spuštěna a je v pohybu. U těchto majáčků je možné naprogramovat i to, že dokáží předat informaci o tom, jestli je brána funkční. Pokud by bylo například zmáčknuto tlačítko a majáček by blikat nezačal, tak lze usoudit, že je chyba buď v ovladači nebo v řídicí jednotce pohonu. Pokud by majáček problikl, tak je jasné, že je závada například na straně pohonu nebo na jiné části brány. [24]

2.6.1. Bezpečnostní lišty

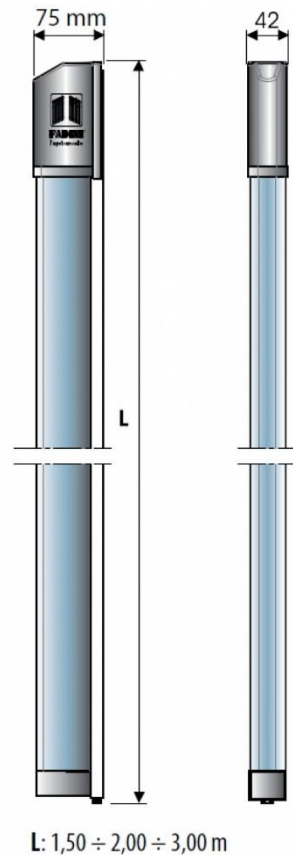
Bezpečnostní lišty jsou u bran použity z důvodu, aby při provozu bylo zabráněno zmáčknutí osob a jiných předmětů, kdy by mohlo dojít ke zranění nebo poškození předmětů. Dodávají se v různých délkách a montují se přímo na sloupek nebo křídlo brány. Princip bezpečnostní lišty spočívá v tom, že pokud dojde ke zmáčknutí osoby nebo předmětu, tak se v tlakové liště zmáčkne ocelové lanko. Tento signál je detekován mikrospínači a ty vyšlou impuls k zastavení nebo reverzaci chodu brány. [25]

Tyto signály a impulsy zpracovává řídicí jednotka, která je dodávána s dalšími prvky pro montáž tlakové bezpečnostní lišty. Mikrospínače jsou schopny reagovat i na předměty menších rozměrů a dokáží detekovat čelní i boční deformace. [25]

Bezpečnostní lišty se nejvíce kombinují s optickými branami a rádiovými můstkami. Tyto kombinace dokáží zaručit, že brána dokáže dosáhnout bezpečnosti požadované normou EN 12453. [25]



Obr. 20: Mechanická bezpečnostní lišta [25]



Obr. 21: Profil bezpečnostní lišty [25]

2.6.2. Fotobuňky

Fotobuňky (nebo optické brány) se používají jako bezpečnostní prvek vůči zmáčknutí vozidel. Jedná se o případ, kdy vozidlo projíždí bránou a uživatel nebo obsluha by omylem zmáčkla tlačítko pro uzavření brány. Pokud by nebyla nainstalována optická brána, tak by se brána začala zavírat a poškodila by vozidlo. V opačném případě, kdy je fotobuňka nainstalovaná, by se nic nestalo, protože by se brána nespustila.

Optická brána se většinou skládá ze dvou prvků. První prvek je vysílač (TX) a druhý je přijímač (RX). Princip funkce optické brány je takový, že vysílač konstantně vysílá infračervený paprsek, který je přijímán přijímačem. V okamžiku, kdy je paprsek přerušen, přijímač toto přerušení zaznamená a vyšle impuls do řídicí jednotky, která zareaguje dle dané situace (viz projíždějící vozidlo). Ve většině případech je nastavení fotobuňky takové, že reaguje jenom při zavírání brány. Některé fotobuňky jsou dodávány s diagnostikou, která je schopna pomoci, pokud nastane nějaký problém v prvcích optické brány (RX, TX, slabý signál, atd.). [26]



Obr. 22: Příklad optické brány u dopravníku [27]

2.6.3. Světelné majáky

LED Světelný maják zajišťuje to, aby osoby stojící v blízkosti brány věděly, že je brána v pohybu. Proto se LED maják montuje na viditelné místo. Většinou jsou přidělaný na sloupky přilehlé bráně. U majáku ve většině případech můžou být nastaveny dva pracovní režimy svícení při chodu brány. První z režimu svícení je trvalý svit a druhý je režim blikání.[28]



Obr. 23: Příklad LED majáku [28]

3. Analýza samonosné brány

V této části bakalářské práce lze nalézt analýzu a porovnání různých způsobů konstrukce samonosné brány a jejich výhody při dané konstrukci a daných podmínkách. Výpočty jsou prvně prováděny analyticky. Dále jsou prováděny metodou konečných prvků MKP v programu „Abaqus“.

„Abaqus“ je numerický program, který dokáže nasimulovat průběh napětí, deformací, posuvů, vedení tepla, proudění kapalin a plynů a mnohé další věci.

Výhoda této metody spočívá v tom, že dokáže řešit složitější strojní součásti oproti metodě analytické, kterou lze uplatnit jen na součásti jednodušších tvarů.

3.1. Analýza současné konstrukce

Zde budou uvedeny základní parametry použité při výpočtech analytických a také při výpočtech v programu „Abaqus“ a popis výpočtového modelu, který byl použit při analýze současné konstrukce. Tato konstrukce je považována za nejméně příznivý případ.

3.1.1. Popis současné konstrukce

Současná konstrukce pojízdné brány je taková, že se jedná o klasickou konstrukci samonosné brány, kde je použit rám s ocelovou výplní různých tvarů. Tato konstrukce se v prvotních výpočtech měnit nebude a bude se pouze měnit počet použitých koleček, ale v posledních výpočtech je celá konstrukce upravena a je pozměněn rám samonosné brány. Ke zhotovení rámové konstrukce brány byly použity čtvercové profily o rozměrech 60x60x3 mm. Na spodní stranu byl také použit čtvercový profil o rozměrech 140x80x5 mm, na který byl následně navařen C-profil o rozměrech 60x60x4 mm, který měl zlepšovat stabilitu a pevnost brány.



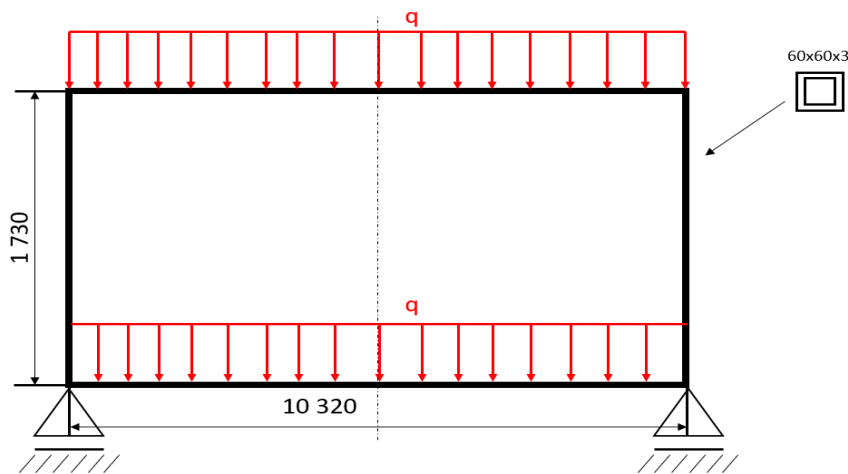
Obr. 24: Příklad C-profilu [29]

Na výplň rámu byla použita pásová ocel obdélníkového tvaru o rozměrech 20x5 a 50x5 ze stejného materiálu. Současný stav a rozměry konstrukce jsou uvedeny v technickém výkresu (viz Příloha 3).

3.2. Analytický výpočet

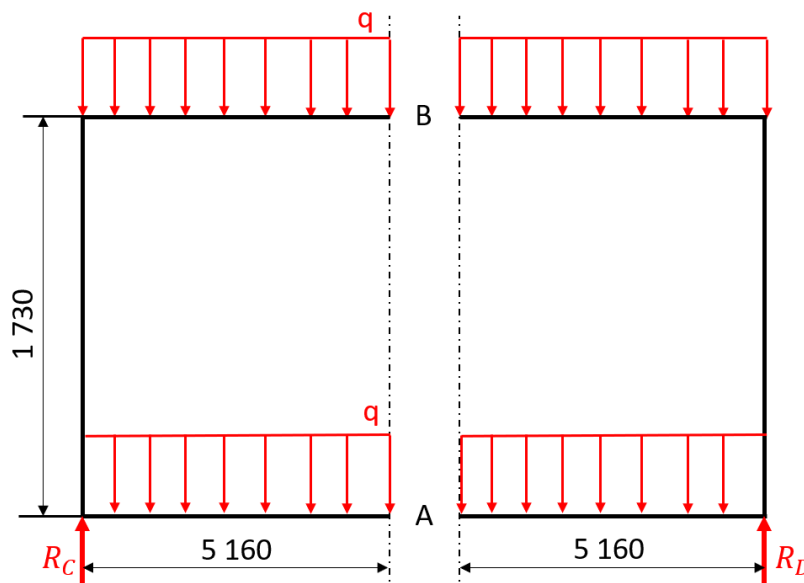
Tato kapitola pojednává o tom, jak by se tato konstrukce řešila bez využití numerických programů. V tuto chvíli se jedná o úlohu, kterou by v současném stavu nebylo možné analyticky spočítat, jelikož se jedná o mnohonásobně staticky neurčitou rámovou konstrukci. Proto je tato konstrukce v následujících výpočtech zjednodušena a jedná se pouze o naznačení, jak se jednodušší rámové konstrukce řeší a slouží k porovnání numerického výpočtu s výpočtem analytickým.

3.2.1. Výpočet tenkého rámu na dvou podpěrách s jednou osou symetrie



Obr. 25: Schéma modelu pro analytický výpočet [autor]

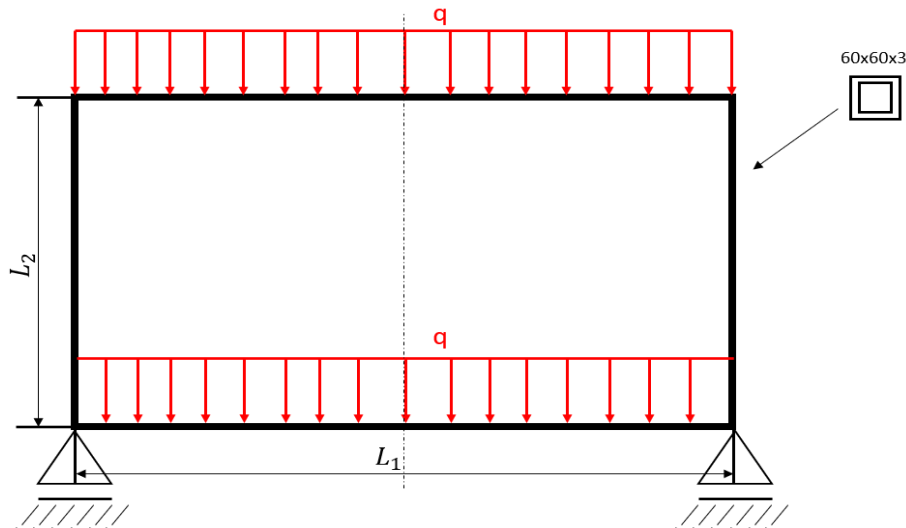
V této části byl použit pro výpočet jednoduchý tenký rám s jednou osou symetrie (viz Obr. 25). Jakýkoliv rovinný rám je třikrát staticky neurčitý a každá osa symetrie snižuje statickou neurčitost o jeden stupeň (Nejvíce však mohou odebrat dva stupně volnosti). Tento rám má jednu osu symetrie (viz Obr. 26) tudíž je dvakrát staticky neurčitý. [30]



Obr. 26: Naznačená osa symetrie [autor]

Jelikož má rám jednu osu symetrie, stačí řešit jenom jeho 1/2 a bude řešena jako vetknutý prut s volným koncem, na který nám budou působit vnitřní účinky T, N a M (viz Obr. 27). U tohoto výpočetního modelu bude staticky neurčitým účinkem vnitřní ohybový moment M a tečná síla T.

3.2.1.1. Výpočtové parametry



Obr. 27: Schéma modelu [autor]

Tab. 5.: Výpočtové parametry [autor]

m [kg]	525
L_1 [mm]	10 320
L_2 [mm]	1 730
a [mm]	60
a_t [mm]	54
q [$\frac{N}{mm}$]	0,254
E [$\frac{N}{mm^2}$]	$2,1 * 10^5$
J_z [mm ⁴]	200 333,25
$l_1 = \frac{L_1}{2}$ [mm]	5160
$R_C = R_D$ [N]	2 621,28

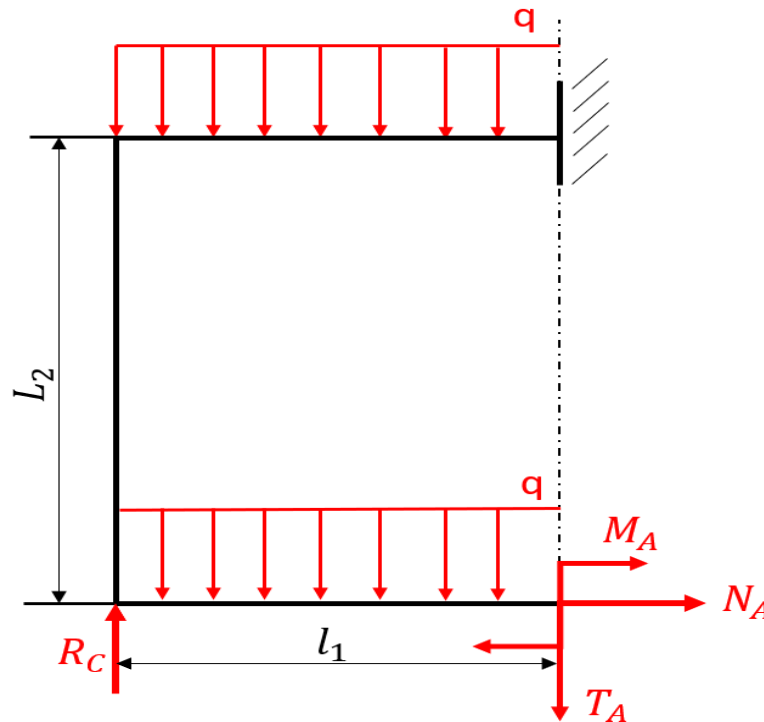
V této kapitole jsou vypsány potřebné parametry k výpočtu tenkého rámu. Jediný výpočtový parametr, který musel být dopočten, je kvadratický moment průřezu k ose z (J_z), který byl dopočten podle vzorce uvedeného níže a hmotnost, která byla zjištěna pomocí modelu v programu „Inventor“. Jedná se o CAD program, který se používá při 2D a 3D modelování různých strojních součástí.

$$J_z = \frac{a^4}{12} = \frac{(a^4 - a_t^4)}{12} = \frac{(60^4 - 54^4)}{12} = 371\,412\,mm^4$$

1

3.2.1.2. Výpočet

Tato konstrukce může být uvolněna dvěma způsoby. V tomto výpočtu bylo zvoleno, že bod B je vetknutý a do bodu A byly připojeny vnitřní účinky (viz. Obr 28) a dále byly zavedeny okrajové podmínky, které zajišťují, že se brána v místě A nenatočí ($\varphi_A = 0$), a že se brána v tomto bodě nebude deformovat ve směru osy x ($u_A = 0$).



Obr. 28: Vnitřní účinky [autor]

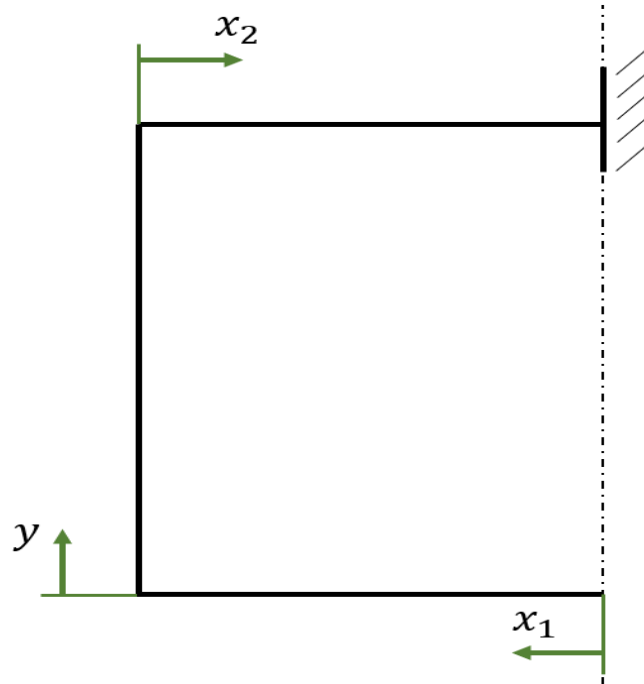
$$\varphi_A = 0 \quad 2$$

$$u_A = 0 \quad 3$$

Ze symetrie a vnějších účinků bylo zjištěno, že reakce $T_A = 0$, tudíž nebyla ve výpočtech vůbec zahrnuta a reakce $R_C = 2\,621,28\text{ N}$.

$$T_A = 0 \quad 4$$

Dále byly zavedeny souřadnice, které budou sloužit k určení momentových rovnic ve všech třech částech výpočtového modelu tenkého rámu. Tento rám se skládá ze 3 částí, kde bylo nutné tyto momentové rovnice určit. Jedná se o horní a dolní polovinu brány, kde tyto souřadnice byly označeny jako x_1 a x_2 a dále o boční část brány, kde tato souřadnice byla označena jako y (viz Obr. 29). V tomto zjednodušeném modelu byly vynechány příčky, jelikož by jejich prezence značně zkomplikovala výpočet, protože by přidaly další stupně statické neurčitosti a dále bylo vynechána vazba, kde je ozubený hřeben usazen na pastorek pohonu.



Obr. 29: Naznačené souřadnice [autor]

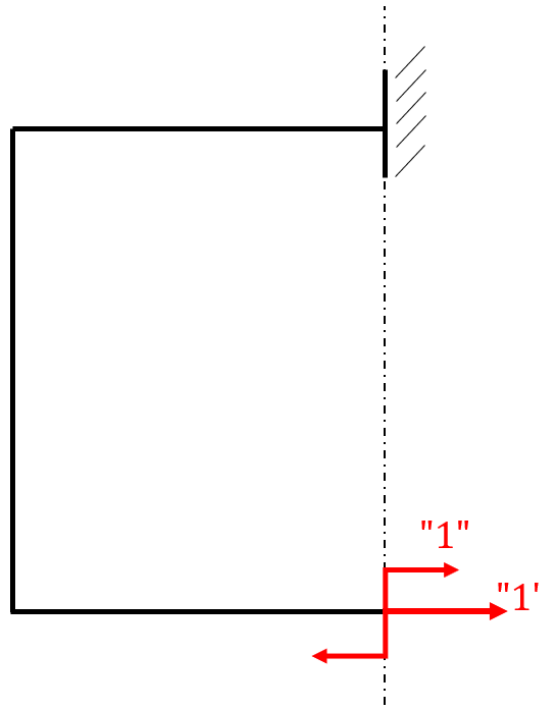
Další postup při výpočtu zahrnoval vytvoření momentových rovnic, pomocí kterých byly vypočteny neznámé vnitřní reakce N_A a M_A . Tyto rovnice jsou závislé na své dané souřadnici a byly sestaveny a jsou sepsány níže pro všechny tři oblasti, které se nachází u výpočtového modelu tenké rámové konstrukce.

$$M_{(x_1)} = M_A + \frac{q \cdot x_1^2}{2} \quad 5$$

$$M_{(y)} = M_A + \frac{q \cdot l_1^2}{2} - N_A \cdot y \quad 6$$

$$M_{(x_2)} = M_A + q \cdot \left(\frac{l_1^2}{2} - \frac{x_2^2}{2} \right) + R_c \cdot x_2 - q \cdot \frac{x_2^2}{2} - N_A \cdot L_2 \quad 7$$

V tuto chvíli je potřeba zjistit velikost vnitřních reakcí N_A a M_A . Tyto reakce byly vypočteny pomocí Mohrova integrálu a okrajových podmínek, které byly dosazeny do Mohrova integrálu. Aby mohl být Mohrov integrál vypočten, bylo nutné zavést jednotkovou sílu a jednotkový moment v místě, ve kterém bude prováděn výpočet deformace ve směru osy x (u_A) a natočení v tomto místě φ_A (viz Obr. 30).



Obr. 30: Jednotková síla a moment [autor]

Nyní bylo opět třeba sestavit momentové rovnice v jednotlivých částech tenké rámové konstrukce (viz Obr. 29) pro jednotkovou sílu a jednotkový moment.

Jednotková síla

$$m_{(x_1)} = 0 \quad 8$$

$$m_{(y)} = -"1" \cdot y \quad 9$$

$$m_{(x_2)} = -"1" \cdot L_2 \quad 10$$

Jednotkový moment

$$m_{(x_1)} = "1" \quad 11$$

$$m_{(y)} = "1" \quad 12$$

$$m_{(x_2)} = "1" \quad 13$$

Dále byly tyto momentové rovnice dosazeny do Mohrova integrálu a byly vypočteny vnitřní účinky N_A a M_A . Nejprve bylo nutné z Mohrova integrálu, který počítá posuv u_A , vyjádřit reakci N_A a pomocí tohoto vyjádření vypočítat vnitřní reakční moment.

Mohrův integrál (u_A)

$$u_A = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_{x_1}^{x_2} M_o(x) \cdot m^{f_A}(x) \cdot dx \quad 14$$

Mohrův integrál (φ_A)

$$\varphi_A = \frac{1}{E \cdot J_z} \int_{x_1}^{x_2} M_o(x) \cdot m^{m_A}(x) \cdot dx \quad 15$$

Mohrův integrál pro deformaci v ose x ($u_A = 0$) po dosazení konkrétních momentových rovnic.

$$u_A(x_1) = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{l_1} \left\{ \left[M_A + \frac{q \cdot x_1^2}{2} \right] \cdot 0 \right\} \cdot dx_1 \quad 16$$

$$u_A(x_1) = 0$$

$$u_A(y) = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{L_2} \left\{ \left[M_A + \frac{q \cdot l_1^2}{2} - N_A \cdot y \right] \cdot [-1" \cdot y] \right\} \cdot dy \quad 15$$

$$u_A(y) = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left\{ \left[-\frac{M_A \cdot y^2}{2} - \frac{q \cdot l_1^2 \cdot y^2}{4} + \frac{N_A \cdot y^3}{3} \right] \right\}_0^{L_2}$$

$$u_A(y) = \frac{1}{E \cdot J_z} \left[-\frac{M_A \cdot L_2^2}{2} - \frac{q \cdot l_1^2 \cdot L_2^2}{4} + \frac{N_A \cdot L_2^3}{3} \right]$$

$$u_A(x_2) = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{l_1} \left\{ \left[M_A + q \cdot \left(\frac{l_1^2}{2} - \frac{x_2^2}{2} \right) + R_c \cdot x_2 - q \cdot \frac{x_2^2}{2} - N_A \cdot L_2 \right] \cdot [-1" \cdot L_2] \right\} \cdot dx_2 \quad 17$$

$$u_A(x_2) = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[-M_A \cdot L_2 \cdot x_2 - q \cdot L_2 \cdot \left(\frac{l_1^2 \cdot x_2}{2} - \frac{x_2^3}{6} \right) - \frac{R_c \cdot L_2 \cdot x_2^2}{2} + \frac{q \cdot x_2^3 \cdot L_2}{6} + N_A \cdot L_2^2 \cdot x_2 \right]_0^{l_1}$$

$$u_A(x_2) = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[-M_A \cdot l_1 \cdot L_2 - q \cdot L_2 \cdot \left(\frac{l_1^3}{2} - \frac{l_1^3}{6} \right) - \frac{R_c \cdot L_2 \cdot l_1^2}{2} + \frac{q \cdot l_1^3 \cdot L_2}{6} + N_A \cdot L_2^2 \cdot l_1 \right]$$

$$\mathbf{u_A} = \frac{1}{E \cdot J_z} (\mathbf{u_A}(x_1) + \mathbf{u_A}(y) + \mathbf{u_A}(x_2)) = \mathbf{0} \quad 18$$

$$\mathbf{u_A} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left\{ \left[-\frac{M_A \cdot L_2^2}{2} - \frac{q \cdot l_1^2 \cdot L_2^2}{4} + \frac{N_A \cdot L_2^3}{3} \right] + \left[-M_A \cdot l_1 \cdot L_2 - q \cdot L_2 \cdot \left(\frac{l_1^3}{2} - \frac{l_1^3}{6} \right) - \frac{R_c \cdot L_2 \cdot l_1^2}{2} + \frac{q \cdot l_1^3 \cdot L_2}{6} + N_A \cdot L_2^2 \cdot l_1 \right] \right\}$$

Nyní bylo třeba vytvořit Mohruv integrál pro natočení v bodě A. Poté bylo v tomto integrálu dosazeno za vnitřní ohybový moment M_A a byla vypočtena vnitřní normálová reakce N_A a následně dopočten vnitřní ohybový moment M_A .

$$\varphi_{A(x_1)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{l_1} \left\{ \left[M_A + \frac{q \cdot x_1^2}{2} \right] \cdot 1 \right\} \cdot dx_1 \quad 19$$

$$\varphi_{A(x_1)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot x_1 + \frac{q \cdot x_1^3}{6} \right]_0^{l_1}$$

$$\varphi_{A(x_1)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot l_1 + \frac{q \cdot l_1^3}{6} \right]$$

$$\varphi_{A(y)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{L_2} \left\{ \left[M_A + \frac{q \cdot l_1^2}{2} - N_A \cdot y \right] \cdot "1" \right\} \cdot dy \quad 20$$

$$\varphi_{A(y)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot y + \frac{q \cdot l_1^2}{2} \cdot y - \frac{N_A \cdot y^2}{2} \right]_0^{L_2}$$

$$\varphi_{A(y)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot L_2 + \frac{q \cdot l_1^2 \cdot L_2}{2} - \frac{N_A \cdot L_2^2}{2} \right]$$

$$\varphi_{A(x_2)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{l_1} \left\{ \left[M_A + q \cdot \left(\frac{l_1^2}{2} - \frac{x_2^2}{2} \right) + R_c \cdot x_2 - q \cdot \frac{x_2^2}{2} - N_A \cdot L_2 \right] \cdot "1" \right\} \cdot dx_2 \quad 21$$

$$\varphi_{A(x_2)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot x_2 + q \cdot \left(\frac{l_1^2 \cdot x_2}{2} - \frac{x_2^3}{6} \right) + \frac{R_c \cdot x_2^2}{2} - \frac{q \cdot x_2^3}{6} - N_A \cdot L_2 \cdot x_2 \right]_0^{l_1}$$

$$\varphi_{A(x_2)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot l_1 + q \cdot \left(\frac{l_1^3}{2} - \frac{l_1^3}{6} \right) + \frac{R_c \cdot l_1^2}{2} - \frac{q \cdot l_1^3}{6} - N_A \cdot l_1 \cdot L_2 \right]$$

$$\varphi_A = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot (\varphi_{A(x_1)} + \varphi_{A(y)} + \varphi_{A(x_2)}) = 0 \quad 22$$

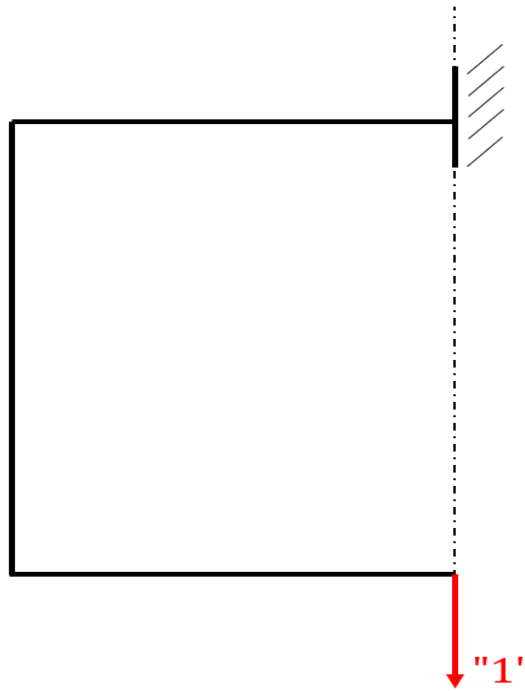
$$\varphi_A = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left\{ \left[M_A \cdot l_1 + \frac{q \cdot l_1^3}{6} \right] + \left[M_A \cdot L_2 + \frac{q \cdot l_1^2 \cdot L_2}{2} - \frac{N_A \cdot L_2^2}{2} \right] + \left[M_A \cdot l_1 + q \cdot \left(\frac{l_1^3}{2} - \frac{l_1^3}{6} \right) + \frac{R_c \cdot l_1^2}{2} - \frac{q \cdot l_1^3}{6} - N_A \cdot l_1 \cdot L_2 \right] \right\}$$

Po úpravách byla vyjádřena a vypočtena vnitřní normálová síla N_A a následně dopočten vnitřní ohybový moment M_A .

$$N_A = 3\,702,31\text{ N} \quad 23$$

$$M_A = -1\,144,28\text{ N} \cdot \text{m} \quad 24$$

Po vypočtení vnitřních reakcí může být vypočtena deformace ve směru osy y v bodě A. Pro tento výpočet bylo opět nutno přidat jednotkovou sílu (viz Obr. 31) do rámové konstrukce a bylo nutné vytvořit nové momentové rovnice pro jednotkovou sílu v bodě A.



Obr. 31: Jednotková síla pro výpočet v_A [autor]

Momentové rovnice pro jednotkovou sílu:

$$m_{(x_1)} = "1" \cdot x_1 \quad 25$$

$$m_{(y)} = "1" \cdot l_1 \quad 26$$

$$m_{(x_2)} = "1" \cdot (l_1 - x_2) \quad 27$$

Mohrovy integrály po dosažení momentu od jednotkové síly:

$$v_{A(x_1)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{l_1} \left\{ \left[M_A + \frac{q \cdot x_1^2}{2} \right] \cdot "1" x_1 \right\} \cdot dx_1 \quad 28$$

$$v_{A(x_1)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[\frac{M_A \cdot x_1^2}{2} + \frac{q \cdot x_1^4}{8} \right]_0^{l_1}$$

$$v_{A(x_1)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[\frac{M_A \cdot l_1^2}{2} + \frac{q \cdot l_1^4}{8} \right]$$

$$v_{A(y)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{L_2} \left\{ \left[M_A + \frac{q \cdot l_1^2}{2} - N_A \cdot y \right] \cdot "1" \cdot l_1 \right\} \cdot dy \quad 29$$

$$v_{A(y)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot l_1 \cdot y + \frac{q \cdot l_1^3}{2} \cdot y - \frac{N_A \cdot l_1 \cdot y^2}{2} \right]_0^{L_2}$$

$$v_{A(y)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot l_1 \cdot L_2 + \frac{q \cdot l_1^3 \cdot L_2}{2} - \frac{N_A \cdot l_1 \cdot L_2^2}{2} \right]$$

$$v_{A(x_2)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \int_0^{l_1} \left\{ \left[M_A + q \cdot \left(\frac{l_1^2}{2} - \frac{x_2^2}{2} \right) + R_c \cdot x_2 - q \cdot \frac{x_2^2}{2} - N_A \cdot L_2 \right] \cdot 1 \cdot (l_1 - x_2) \right\} \cdot dx_2 \quad 30$$

$$v_{A(x_2)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot l_1 \cdot x_2 - \frac{M_A \cdot x_2^2}{2} + q \cdot \left(\frac{l_1^3 \cdot x_2}{2} - \frac{l_1^2 \cdot x_2^2}{4} - \frac{x_2^3 \cdot l_1}{6} + \frac{x_2^4}{8} \right) + \frac{R_c \cdot l_1 \cdot x_2^2}{2} - \frac{R_c \cdot x_2^3}{3} - \frac{q \cdot l_1 \cdot x_2^3}{6} + \frac{q \cdot x_2^4}{8} - N_A \cdot l_1 \cdot L_2 \cdot x_2 + \frac{N_A \cdot L_2 \cdot x_2^2}{2} \right]_0^{l_1}$$

$$v_{A(x_2)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[M_A \cdot l_1^2 - \frac{M_A \cdot l_1^2}{2} + q \cdot \left(\frac{l_1^4}{2} - \frac{l_1^4}{4} - \frac{l_1^4}{6} + \frac{l_1^4}{8} \right) + \frac{R_c \cdot l_1^3}{2} - \frac{R_c \cdot l_1^3}{3} - \frac{q \cdot l_1^4}{6} + \frac{q \cdot l_1^4}{8} - N_A \cdot l_1^2 \cdot L_2 + \frac{N_A \cdot L_2 \cdot l_1^2}{2} \right]$$

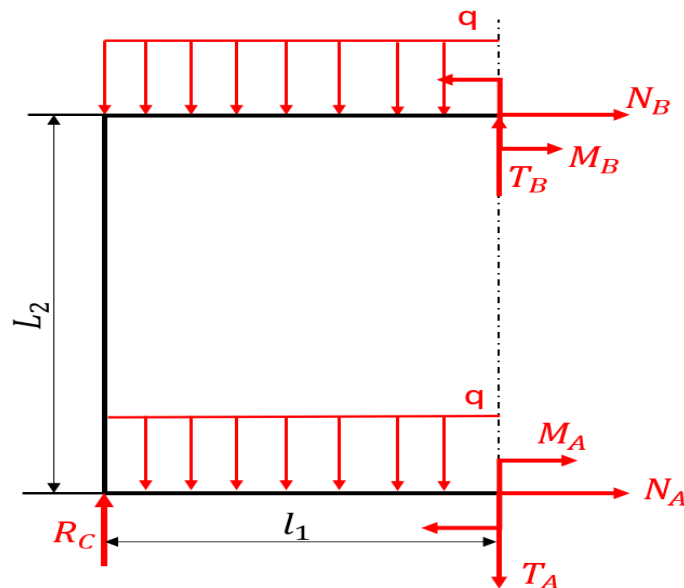
$$v_{A(x_2)} = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot \left[\frac{M_A \cdot l_1^2}{2} + q \cdot \left(\frac{l_1^4}{6} \right) + \frac{R_c \cdot l_1^3}{6} - \frac{N_A \cdot l_1^2 \cdot L_2}{2} \right]$$

$$v_A = \frac{1}{E \cdot J_z} \cdot (v_{A(x_1)} + v_{A(y)} + v_{A(x_2)}) \quad 31$$

$$v_A = 0,1514 \text{ m} = 151,4 \text{ mm}$$

Po dosazení vypočtených reakcí bylo vypočteno, že deformace ve směru osy y v místě A je 151,4 mm v záporném směru (směrem dolů).

Dále byly vypočteny zbývající vnitřní reakce pomocí rovnic rovnováhy, aby byla jistota, že reakce, které byly vypočteny z předešlých rovnice, jsou správné.



Obr. 32: Vnitřní reakce [autor]

Silová rovnice rovnováhy v ose x:

$$\begin{aligned} N_A + N_B &= 0 & \mathbf{32} \\ N_B &= -N_A \\ N_B &= -3\,702,31\,N \end{aligned}$$

Silovou rovnici rovnováhy v ose y není potřeba řešit, protože ze symetrie vychází, že $T_A = 0$, tudíž i $T_B = 0$.

Momentová rovnice rovnováhy v bodě A:

$$\begin{aligned} M_A - \frac{q \cdot l_1^2}{2} - \frac{q \cdot l_1^2}{2} + R_C \cdot l_1 + N_B \cdot L_2 - M_B &= 0 & \mathbf{33} \\ M_A - q \cdot l_1^2 + R_C \cdot l_1 + N_B \cdot L_2 &= M_B \\ M_B &= -786,38\,N \cdot m \end{aligned}$$

Pro kontrolu byl následně tento moment dosazen do momentových rovnic, které byly sepsány k bodům B a C.

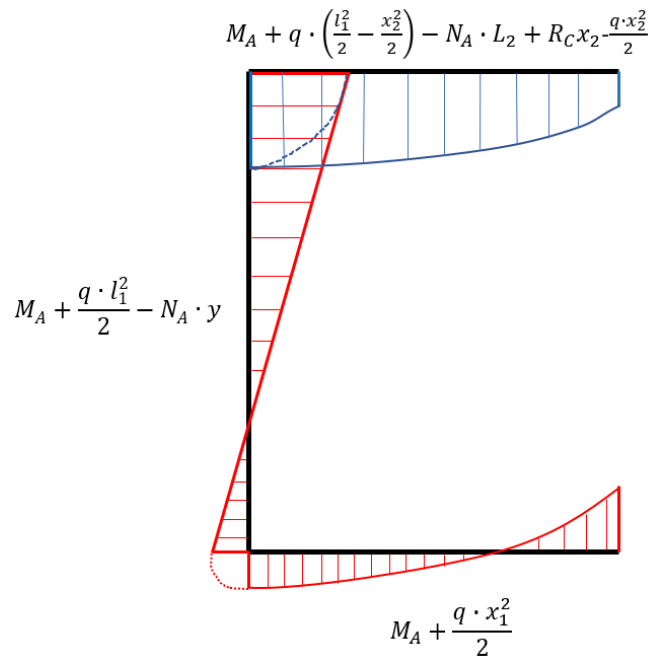
$$M_C: q \cdot l_1^2 + N_B \cdot L_2 - M_B + M_A = 0 \quad \mathbf{34}$$

$$M_B: -q \cdot l_1^2 + R_C \cdot l_1 - N_A \cdot L_2 - M_B + M_A = 0 \quad \mathbf{35}$$

Po dosazení všech veličin a následném vypočtení bylo zjištěno, že se tyto dvě rovnice rovnají nule, tudíž veškeré výpočty byly provedeny správně.

Tab. 6.: Vypočtené reakce a deformace [autor]

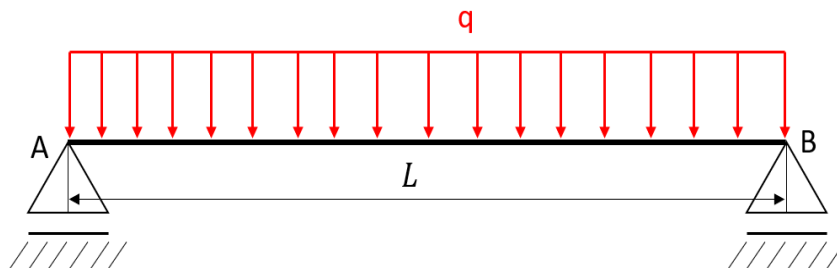
T_A [N]	0
N_A [N]	3 702,31
M_A [N * m]	-1 144,28
T_B [N]	0
N_B [N]	-3 702,31
M_B [N]	-786,38
R_C [N]	2 621,28
v_A [cm]	-15,14



Obr. 33: Průběh momentů [autor]

3.2.2. Výpočet tenkého rámu převedeného na jednoduchý nosník

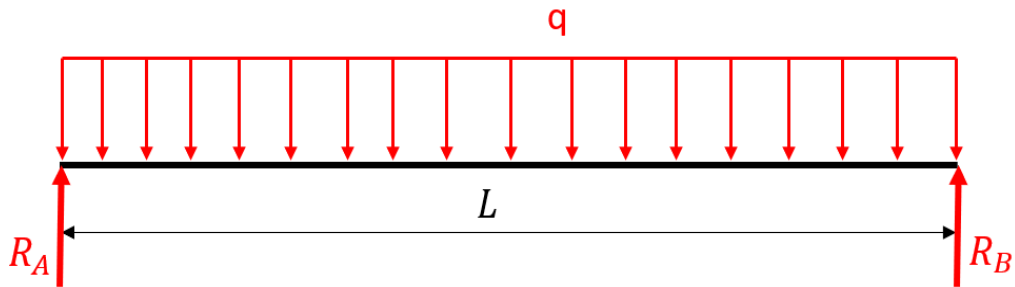
V této kapitole lze nalézt výpočet předešlého tenkého rámu na dvou podpěrách převedený na jednoduchý nosník na dvou podpěrách (viz Obr. 34). Je zde uvedeno převedení toho rámu na jednoduchý nosník a samotný výpočet, kde bude řešen i výpočet nového kvadratického průřezu momentu k ose z. Na konci je srovnání mezi tímto výpočtem jednoduchého nosníku a výpočtem tenkého rámu.



Obr. 34: Schéma nosníku na dvou podpěrách [autor]

Tato koncepce je uvažována tak, že nejvíce namáhaná je spodní část, která je uložena na podpěrách, tudíž vrchní část je ve výpočtu zanedbána. Muselo být tedy přepočítáno J_z , kdy je uvažováno, že brána s vyplní má tvar I-profilu, a hodnota spojitěho zatížení. Spojité zatížení bylo vypočteno z celkové hmotnosti tělesa a jeho hodnota je $q = 508,72 \frac{N}{m}$. Dále bylo potřeba vypočítat reakce v podpěrách v bodech A a B, které byly vypočteny z rovnovážných rovnic a jejich výpočet se nachází na další straně. J_z bylo přepočteno pomocí Steinerovy věty a tento přepočet se také nachází na dalších stranách.

Výpočet reakcí v podpěrách:



Obr. 35: Schéma pro výpočet reakcí [autor]

$$x: 0 = 0 \quad 36$$

$$y: R_A + R_B - q \cdot L = 0 \quad 37$$

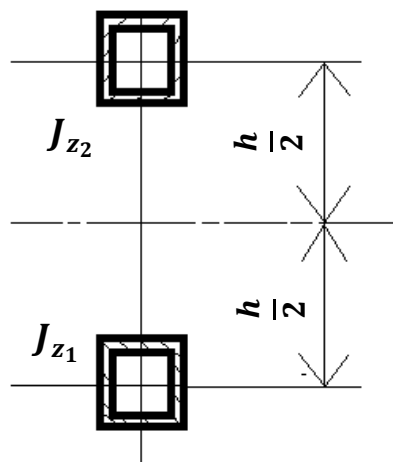
$$R_A = q \cdot L - R_B$$

$$M_A: \frac{q \cdot L^2}{2} - R_B \cdot L = 0 \quad 38$$

$$\frac{q \cdot L}{2} = R_B$$

$$\mathbf{R_B = 2\,625\,N = R_A}$$

Jelikož se jedná o staticky určitou úlohu, bylo možné vypočítat veškeré reakce a nebylo potřeba zavádět okrajové podmínky. Jako další byl vypočten kvadratický moment průřezu k ose z (viz Obr. 36).



Obr. 36: Schéma pro výpočet kvadratického momentu [autor]

$$J_z = J_{z_1} + A_1 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 + J_{z_2} + A_2 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2$$

39

$$J_{z_1} = J_{z_2}$$

$$A_1 = A_2$$

$$J_z = J_{z_1} + A_1 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 + J_{z_1} + A_1 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2$$

$$J_z = 2 \cdot J_{z_1} + 2 \cdot A_1 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2$$

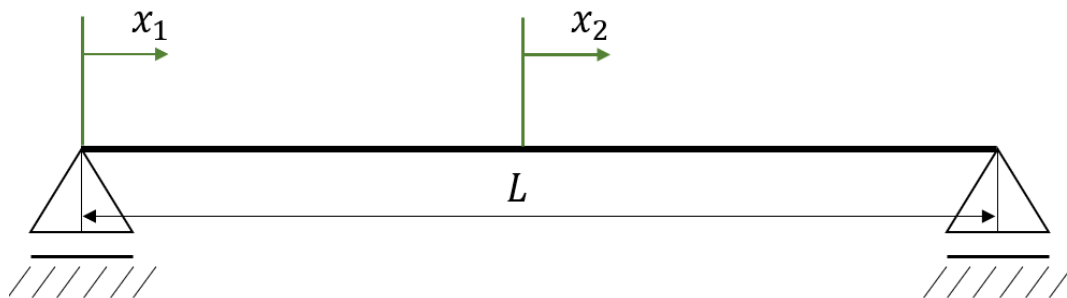
$$J_{z_1} = 371\,412\, \text{mm}^4$$

$$A_1 = 684\, \text{mm}^2$$

$$J_z = 2 \cdot 371\,412 + 2 \cdot 684 \cdot \left(\frac{684}{2}\right)^2$$

$$J_z = 512\,528\,724\, \text{mm}^4$$

Po vypočtení kvadratického momentu průřezu k ose z bylo nutné vytvořit průběh momentových rovnic.

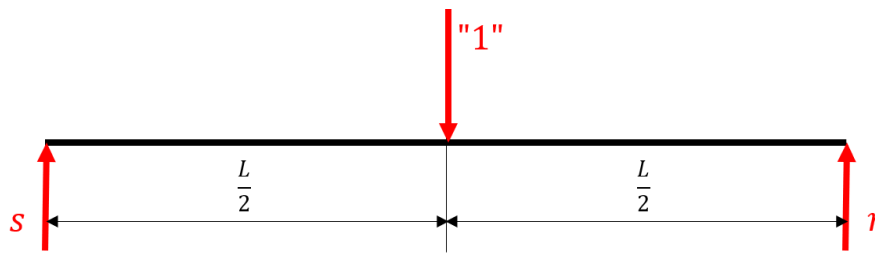


Obr. 37 Naznačené souřadnice[autor]

$$M_{x_1} = R_A \cdot x_1 - \frac{q \cdot x_1^2}{2} \quad 40$$

$$M_{x_2} = R_A \cdot \left(\frac{L}{2} - x_2\right) - q \cdot \left(\frac{L^2}{2} - \frac{x_2^2}{2}\right) \quad 41$$

Jako další krok byly vypočteny jednotkové reakce a následně byly určeny momentové rovnice od jednotkové síly. Jelikož se v tomto případě jedná o symetricky zatížený nosník, který je taktéž symetrický, stačí napsat momentovou rovnici jenom pro jednu souřadnici a následně ji vynásobit dvěma.



Obr. 38: Schéma pro jednotkové reakce [autor]

$$y: 1 = s + r \quad 42$$

$$1 - s = r$$

$$M_A: 1 \cdot \frac{L}{2} - r \cdot L = 0 \quad 43$$

$$r = \frac{1}{2} = s$$

$$m_{x_1} = \frac{1}{2} \cdot x_1 \quad 44$$

Po vypočtení jednotkových reakcí a vytvoření momentové rovnice od těchto reakcí bylo možné sestavit Mohrův integrál pro průhyb v bodě C.

$$v_C = \frac{2}{E \cdot J_z} \int_0^{\frac{L}{2}} \left(R_A \cdot x_1 - \frac{q \cdot x_1^2}{2} \right) \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot x_1 \right) dx_1$$

45

$$v_C = \frac{2}{E \cdot J_z} \left[\left(\frac{R_A \cdot x_1^3}{6} - \frac{q \cdot x_1^4}{16} \right) \right]_0^{\frac{L}{2}}$$

$$v_C = \frac{2}{E \cdot J_z} \left(\frac{R_A \cdot L_1^3}{48} - \frac{q \cdot L_1^4}{256} \right)$$

$$\mathbf{v_C = 0,6981 \text{ mm}}$$

Po použití této výpočtové konstrukce bylo zjištěno, že se část uprostřed tohoto nosníku (bod C) zdeformuje o 0,6981 mm.

3.2.3. Porovnání výpočtů u jednotlivých konstrukcí

Při porovnání výsledků u těchto dvou výpočtů bylo zjištěno, že průhyb u první výpočetní varianty vychází mnohonásobně větší než u varianty druhé. První výpočetní variantu v tomto případě nelze použít, jelikož se jedná o dlouhou rámovou konstrukci. Pokud je odstraněna výplň této konstrukce, bude průhyb mnohonásobně větší. Tento způsob výpočtu by se dal využít u rámových konstrukcí kratších délek a také tam, kde výplň těchto rámových konstrukcí nezajišťuje větší pevnost a tuhost (např. výplň pletivem).

Druhá výpočetní varianta se mnohem více blíží realitě a průhyb se v tomto výpočtu rovná 0,6981 mm. Tento průhyb se více blíží numerickému výsledku, kde byla použita tři kolečka, než když byla použita jenom kolečka dvě (viz kapitola 3.3.3.2.). Dále tato varianta byla mnohem méně časově náročná na výpočet než varianta první a nebylo potřeba použití výpočtového programu „Matlab“.

Při srovnání obou variant výpočtu je možné vidět, že je pro přesnější výsledky u této rámové konstrukce lepší použít variantu druhou, která samozřejmě nedosáhla tak přesných výsledků jako numerický výpočet v následující kapitole, ale za to není tak časově náročná a pro orientační výpočet je postačující. Z tohoto výpočtu lze zjistit, že se při tomto typu konstrukce (Brána se dvěma kolečky) deformace pohybuje v milimetrech, a ne v centimetrech tak, jak ukazuje první výpočet.

3.3. Numerický výpočet

Tato část práce obsahuje popis všech postupů a podmínek, které byly použity při vytváření numerického modelu a při následných výpočtech. Tato kapitola je dále rozdělena na část, která obsahuje parametry použité při výpočtech. V této kapitole se například nachází hustota materiálu a Youngův modul pružnosti.

V následující kapitole se nachází schémata, ve kterých jsou naznačeny okrajové podmínky, které nahrazují např. usazení hřebenu na pastorek nebo nosné vozíky.

V poslední části je možno nalézt výpočty všech konstrukcí, které byly použity nebo navrženy. Je zde například vypočítána základní konstrukce, kde nebylo namontováno ani jedno kolečko.

3.3.1. Parametry výpočtu

Ve výpočtech byl použit materiál ČSN 11 375 (S235JR) s následujícím chemickým složením.

Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.
	≤16	>16≤40	>40 ¹⁾					
Složení hotového výrobku	0,17	0,17	0,20	1,40	-	0,035	0,035	0,012
Složení hotového výrobku	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,045	0,045	0,014

Obr. 39: Vlastnosti a složení materiálu ČSN 11 375 (S235JR) [8]

Dále bylo třeba zvolit Youngův modul pružnosti, hustotu materiálu a Poissonovu konstantu.

Youngův modul pružnosti

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

Poissonova konstanta

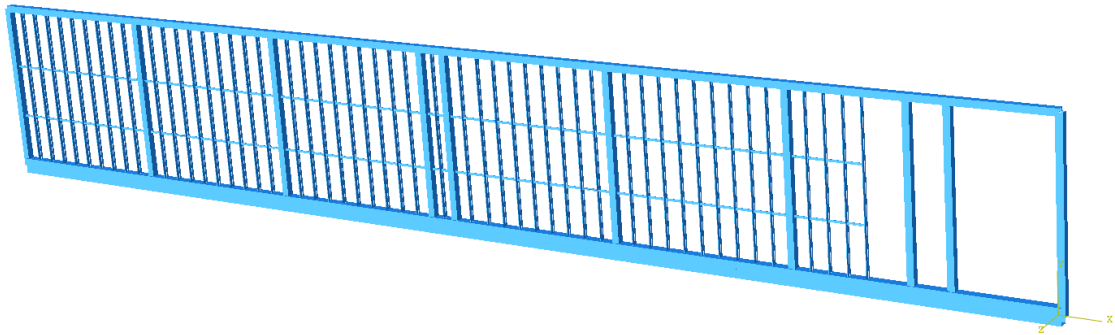
$$\mu = 0,3$$

Hustota

$$\rho = 7\,850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Pro zjednodušení tvorby modelu byla zvolena v programu „Abaqus“ metoda prutové konstrukce. Pomocí čar byla vytvořena konstrukce brány a následně těmto čarám byly přiřazeny příslušné průřezy nosníku. Dále byla zanedbána část, kde ozubený hřeben dosedá na ozubené kolo pohonu. Tato část byla nahrazena okrajovými podmínkami, které jsou následně vyznačeny ve schématech na dalších stránkách.

Po vytvoření modelu a přiřazení příslušných parametrů daným nosníkům byla brána zatížena v modulu „load“ vlastní tíhou pomocí funkce „gravity force“. Výpočty byly provedeny ve stavu, kdy je brána nejvíce zatěžována a tento stav nastane v situaci, kdy je brána téměř zavřená. Další stavy brány nejsou ve výpočtech zahrnuty, protože pro analýzu nejsou podstatné, jelikož problémy této konstrukce se začnou projevovat až v případě, kdy je brána téměř nebo zcela zavřená.



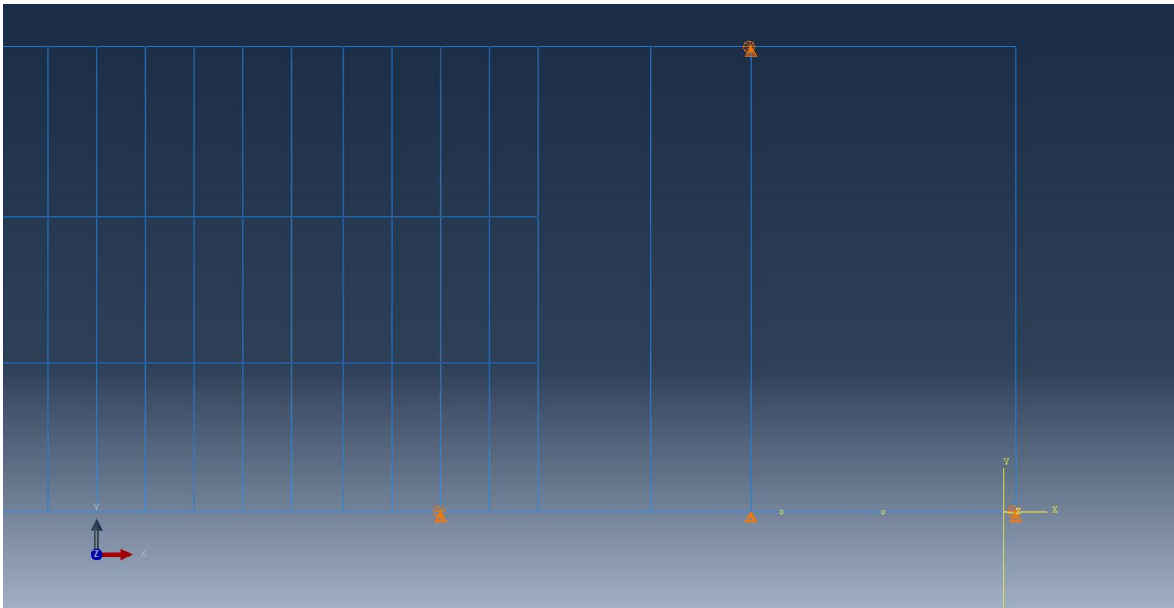
Obr. 40: Model brány v programu „Abaqus“ [autor]

3.3.2. Okrajové podmínky

V následující kapitole lze nalézt schémata okrajových podmínek a jejich zdůvodnění proč takto byly zvoleny a jaká je jejich funkce.

3.3.2.1. Brána bez koleček

V prvním schématu (Obr.41) jsou naznačeny okrajové podmínky, které nahrazují usazení hřebenu brány na pastorek. Také jsou zde vidět podmínky, které nahrazují nosné vozíky a vodící rolnu. Okrajové podmínky v místě nosných vozíků zajišťují to, že se brána neprohne v ose x, ose y a ose z. Okrajová podmínka v místě vodící rolny zabraňuje posunutí brány v ose y (v kladném směru) a v ose z. Okrajová podmínka, která nahrazuje usazení pastorku na hřeben, je zjednodušena s ohledem na výpočtový model. Tato podmínka zabraňuje posunutí brány ve směru osy x a ve směru osy y. Nezabraňuje případnému natočení brány podle jakékoliv osy, protože je brána s hřebenem na pastorek pouze usazená a není jinak připevněna.



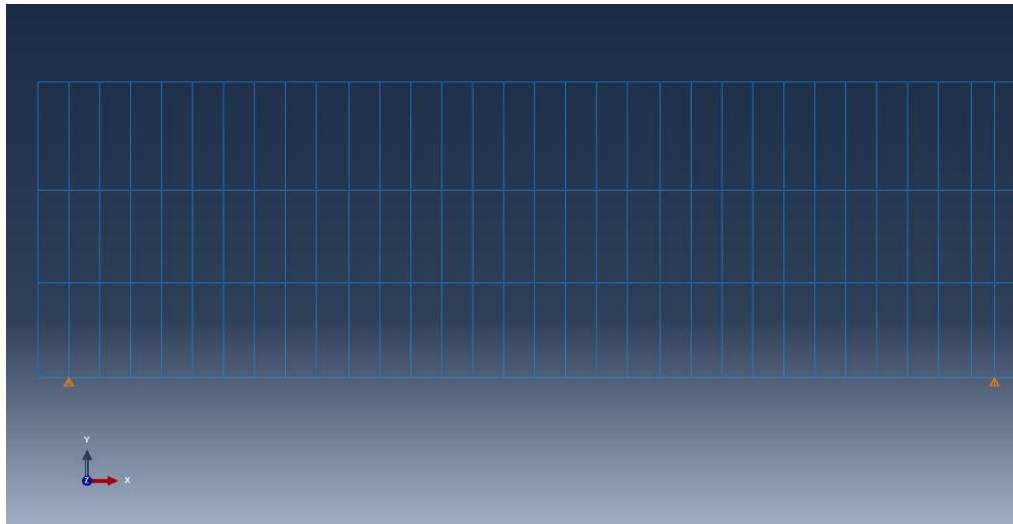
Obr. 41: Okrajové podmínky [autor]



Obr. 42: Detail usazení brány na pastorek a nosné vozíky [autor]

3.3.2.2. Brána s kolečky

Ve druhém schématu (Obr. 43) se nachází okrajové podmínky, které nahrazují kolečka u samonosné brány. Tyto okrajové podmínky zabraňují tomu, aby se v jejich místech brána prohýbala v ose y . Okrajové podmínky v oblasti dosednutí hřebenu na pastorek jsou stejné, liší se jen u nosných vozíku, kde tyto vozíky nahradili kolečka nebo tyto vozíky byly úplně odstraněny.



Obr. 43: Okrajové podmínky v místě koleček [autor]



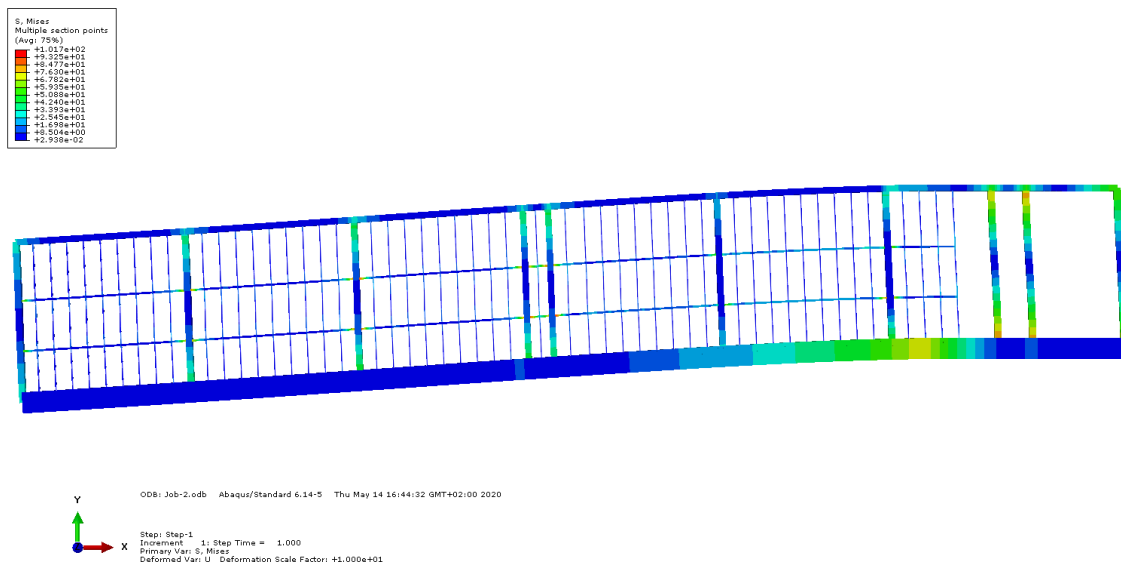
Obr. 44: Fotka brány se dvěma namontovanými kolečky [autor]

3.3.3. Výpočty

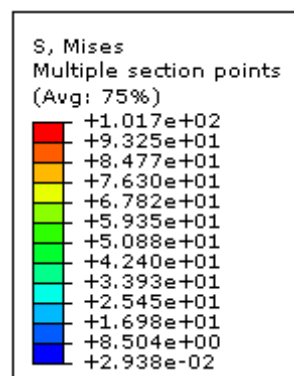
V této kapitole jsou zpracovány výsledky výpočtů prováděné v programu „Abaqus“ pro jednotlivé konstrukce. Jedná se o výpočty třech situací, které nastaly při konstrukci této brány. V prvním případě se jednalo o čistě samonosnou bránu, kde nebyla použita kolečka. Tento případ byl nejméně příznivý a brána nebyla schopna provozu. V druhém případě bylo na bránu namontováno jedno kolečko. To se už po prvním spuštění ukázalo jako nedostatečné. Po opakovaném používání se kolečko ulomilo. Problém byl ve špatně zvoleném způsobu připevnění kolečka na samonosnou bránu. Třetí konstrukční návrh spočívám v tom, že na bránu byla namontována kolečka dvě. Také byla poupravena montáž koleček na samonosnou bránu. V tomto případě se kolečka neulamovala, ale kolečka začala ničit asfaltový podklad. Toto je způsobeno prohýbáním brány.

3.3.3.1. Průběh napětí a deformace u brány bez koleček

Jako první je vypočteno redukované napětí. Konstrukce byla zatížena jen vlastní tíhou. Na následujícím obrázku (Obr. 45) je znázorněn průběh redukovaného napětí po celé délce konstrukce samonosné brány.

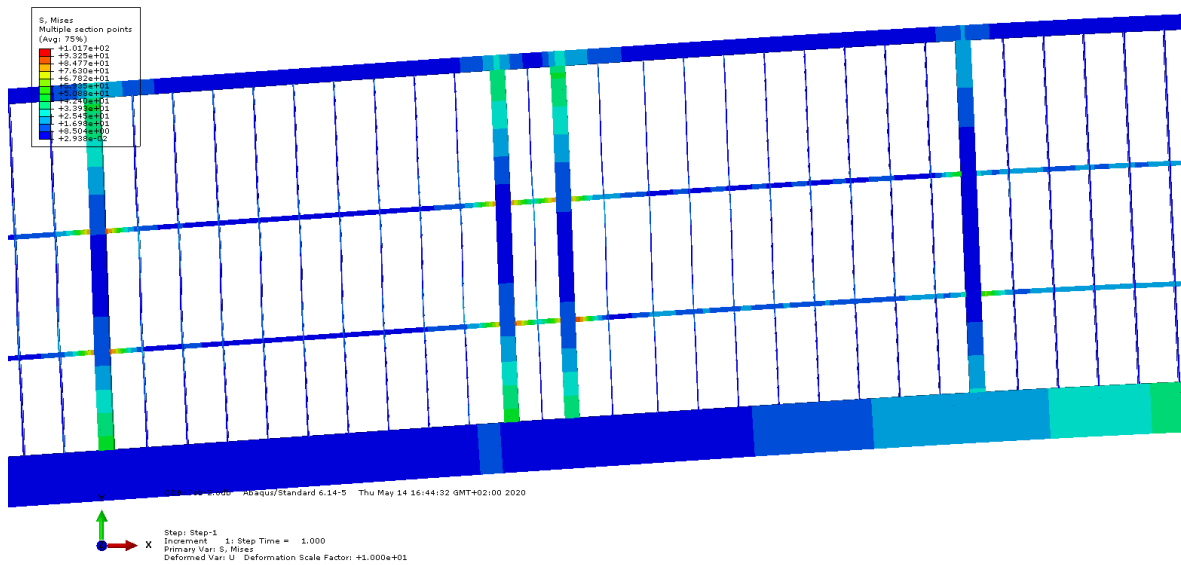


Obr. 45: Průběh redukovaného napětí [autor]



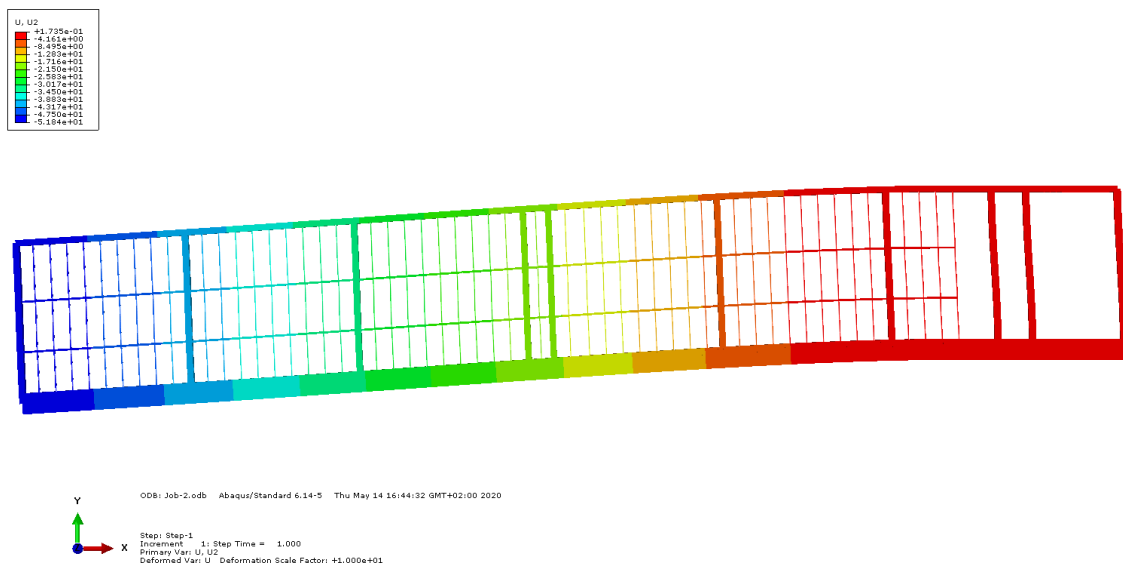
Obr. 46: Hodnoty redukovaného napětí [autor]

Z obrázku bylo odečteno maximální napětí v hodnotě $101,7 \text{ N/mm}^2$. Toto napětí se nachází v místě, kde je pásovina přivařena na jekl brány viz detail dané oblasti (Obr. 47).

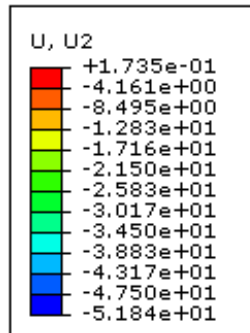


Obr. 47: Detail průběhu napětí [autor]

Na dalším obrázku je znázorněn výpočet průběhu deformace u brány bez koleček. Největší deformace se nachází na konci brány. Podle výpočtového modelu by se brána měla zdeformovat o 51,84 mm (Obr. 49). Tato hodnota je skoro totožná s hodnotou, která byla naměřena při experimentálním měření průhybu samonosné brány. Tato koncová část, která se nachází nejdále od místa záběru pastorku s ozubeným hřebenem, se deformuje v záporném směru (dolů) a druhý konec brány se deformuje ve směru kladném (nahoru) a velikost této deformace je díky nosnému vozíku jen 0,174 mm.



Obr. 48: Průběh deformace v ose y [autor]

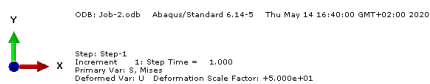
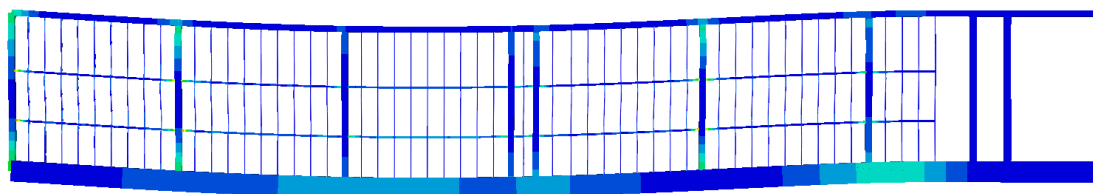
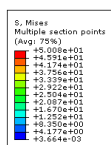


Obr. 49: Hodnoty deformace v ose y [autor]

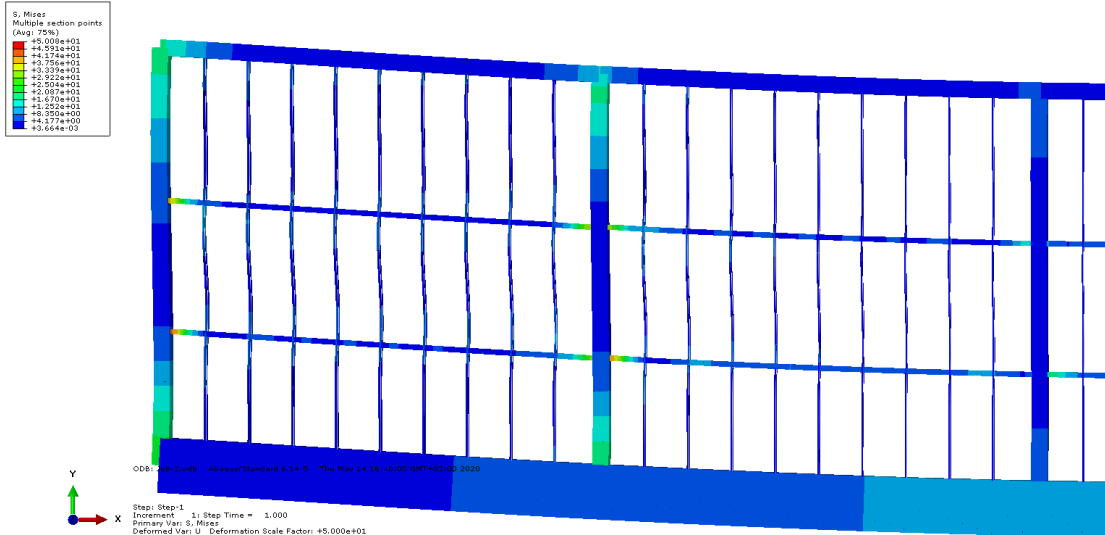
3.3.3.2. Průběh napětí a deformace u brány se dvěma kolečky

U této konstrukce byl výpočetní model uvažován tak, že se na obou koncích brány přidala okrajová podmínka, která zajistí, že se v tomto bodě brána nebude prohýbat ve směru osy y (viz Obr.41 a Obr.43). Tyto vazby reprezentují dvě kolečka, která bylo přivařena v druhém konstrukčním návrhu.

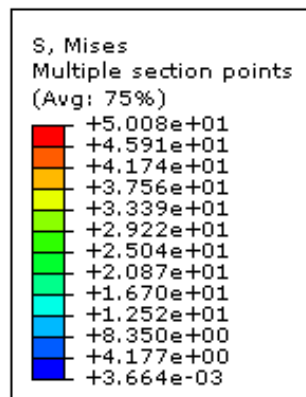
Na dalším obrázku (Obr. 50) je znázorněno napětí u brány se dvěma navařenými kolečky. Nejvyšší napětí dosahuje hodnot okolo $59,73 \text{ N/mm}^2$ a nachází se v místě navaření pásoviny na nosný jechl (Obr. 51).



Obr. 50: Průběh napětí u brány se dvěma kolečky [autor]



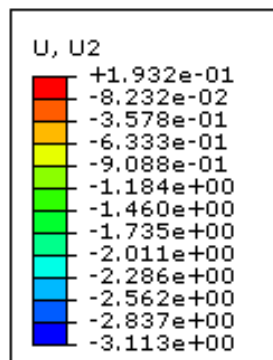
Obr. 51: Detail průběhu napětí [autor]



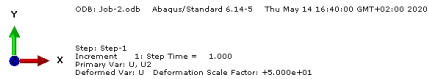
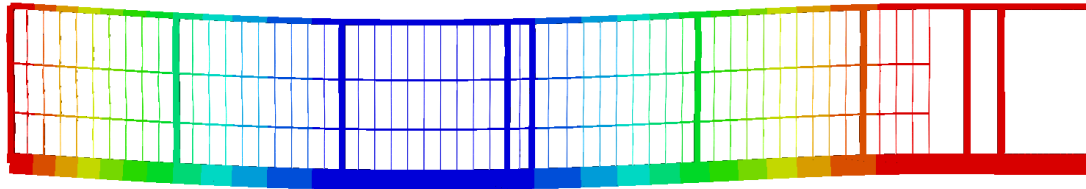
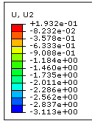
Obr. 52: Hodnoty průběhu napětí [autor]

Už při navaření dvou koleček je zjištěno, že maximální napětí, které vzniká vlivem tíhy samonosné brány, je více jak o polovinu nižší než u brány bez koleček.

Toto napětí logicky způsobí i menší deformaci. Hodnoty deformace v ose y jsou vidět na dalším obrázku obrázku (Obr. 54). Tato deformace je menší o 48,73 mm a přesunula se do prostřední částí brány. V tomto výpočetním modelu se nejvíce prohýbá prostřední část a ta je prohnutá o 3,113 mm (Obr. 53).



Obr. 53: Hodnoty průběhu deformace v ose y [autor]

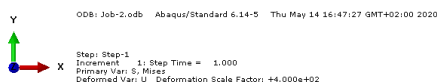
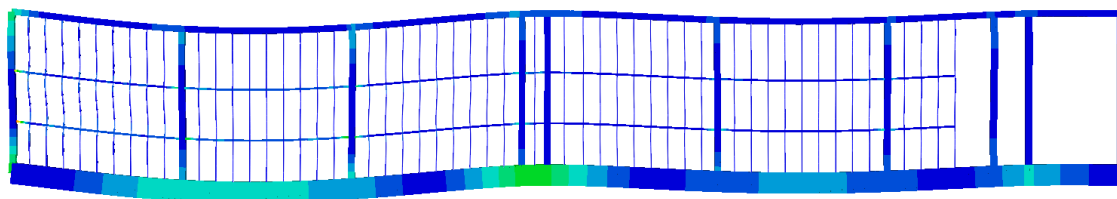
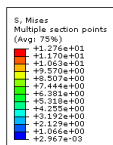


Obr. 54: Deformace v ose y u brány se dvěma kolečky [autor]

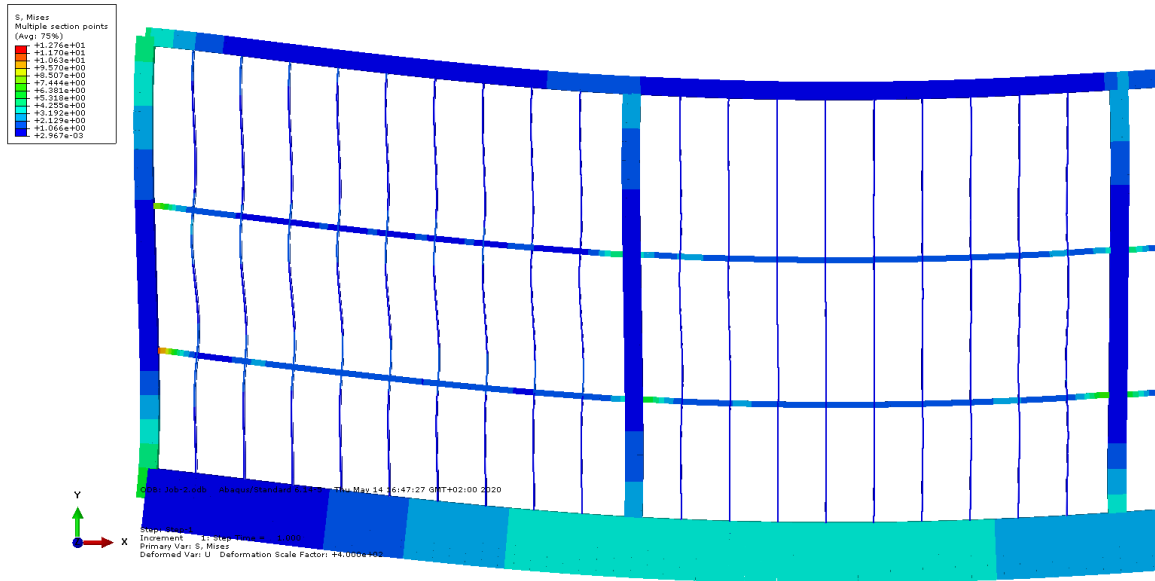
3.3.3.3. Průběh napětí a deformace u brány se třemi kolečky

V této kapitole se výpočtově řeší samonosná brána, na kterou byla přivařena kolečka tři. Už v předchozí kapitole bylo zjištěno, že dvě kolečka mají velký vliv na hodnotu napětí, které se tvoří díky vlastní tíze brány a má také velký vliv na velikost deformace. V tomto výpočtovém modelu jsou od sebe kolečka na levém konci brány vzdálená přibližně 5 m a jedno je připevněno na levém začátku brány, druhé uprostřed (viz Obr. 43) a třetí je připevněno na druhém konci brány. Dále v tomto případě byly odstraněny nosné vozíky.

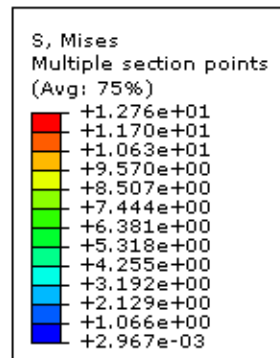
Opět se při připevnění dalšího kolečka sníží napětí vytvořené vlastní tíhou brány. Hodnota tohoto napětí je skoro o čtvrtinu menší než v případě dvou koleček a o skoro osminu menší, než když nebyla použita žádná kolečka. Maximální hodnota redukováného napětí v tomto případě je $12,76 \text{ N/mm}^2$. Tato hodnota se nachází v levé části brány, kde je pásová ocel přivařena na jevl (viz Obr. 56)



Obr. 55: Průběh napětí u brány se třemi kolečky [autor]

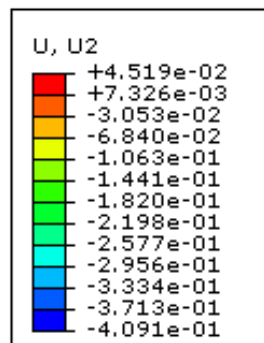


Obr. 56: Detail maximální hodnoty napětí [autor]

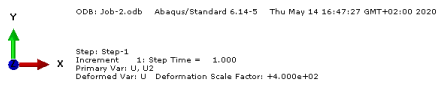
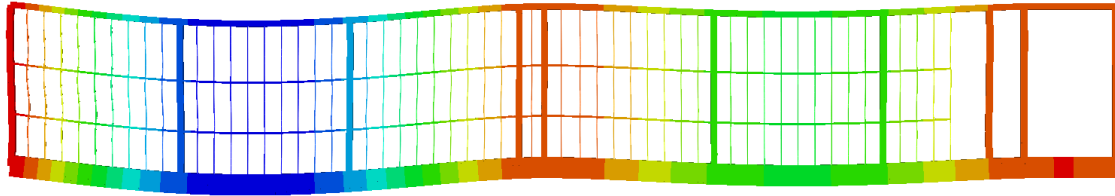
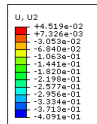


Obr. 57: Hodnoty napětí u brány se třemi kolečky [autor]

Při porovnání tohoto stavu a stavu ve kterém se nacházela brána bez koleček je zjevné, že se stav zlepšil. Také nastane i znatelná změna v deformaci brány. V tomto způsobu konstrukce se brána zdeformuje ve směru osy y maximálně o 0,409 mm. Tato hodnota je mnohonásobně menší než při prvním konstrukčním provedení. Na obrázku je vidět, že se část mezi prvními dvěma kolečky prohne o zmíněných 0,409 mm a část mezi kolečkem a pohonem se prohne o 0,219 mm. Pokud by bylo nutné řešit problém nerovnoměrné rozložení deformace, tak by bylo potřeba druhé kolečko připevnit blíže k prvnímu kolečku.



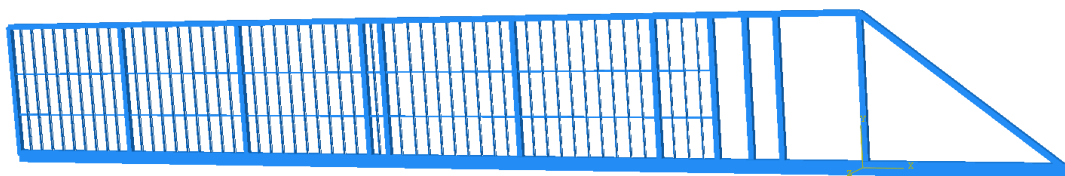
Obr. 58: Hodnoty deformace u brány se třemi kolečky [autor]



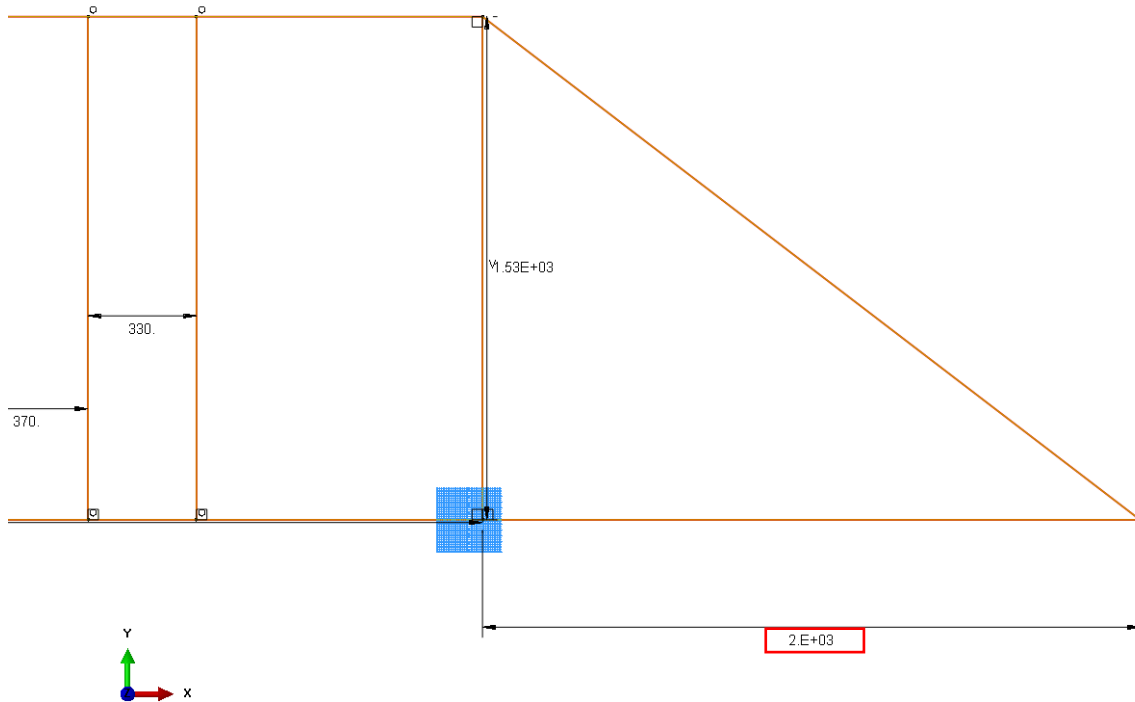
Obr. 59: Průběh deformace u brány se třemi kolečky [autor]

3.3.3.4. Průběh napětí a deformace u brány bez koleček s upravenou konstrukcí

Čtvrtá návrhová konstrukce je vymyšlena tak, že by část, která se nachází na pravé straně od pohonu, byla prodloužena a tím by se odstranil problém velkého průhybu na levé straně, který nastává při zavírání brány. V tomto návrhu byl navařen v pravé části jekl o rozměrech 60x60x4 mm (byl použit stejný jekl jako na zbytek brány) a brána byla v tomto směru prodloužena o 2 m (viz Obr. 54 a Obr. 55). Tato konstrukce by měla zmenšit deformaci, která se nachází na levé straně brány. Tato deformace nám ohýbá pravou stranu brány a důsledkem toho je, že hřeben brány se deformuje a přetěžuje tím motor, který není schopen bránu plně dovřít.

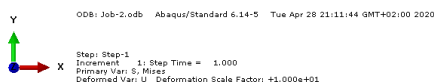
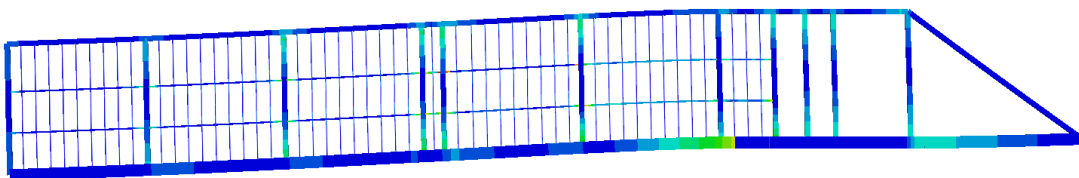
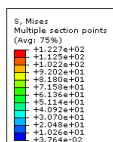


Obr. 60: Model upravené konstrukce brány [autor]

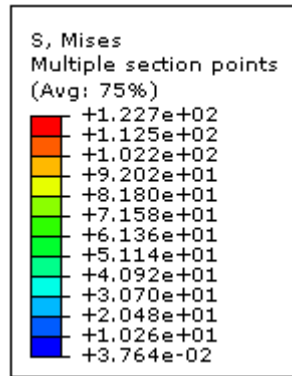


Obr. 61: Detail prodloužení brány [autor]

Díky prodloužení brány stoupla celková hmotnost konstrukce, a tím se i navýšilo napětí způsobené vlastní tíhou. Hodnoty tohoto napětí lze vyčíst na obrázku 48. Zde je vidět, že se napětí zvedlo na $122,7 \text{ N/mm}^2$, což je přibližně o 9 N/mm^2 více. Toto zvýšení je akceptovatelné a neměl by nastat žádný problém. Toto napětí se nachází ve stejném místě jako se nacházelo u brány bez koleček (viz Obr. 45), tudíž zde není vidět obrázek detailu největší hodnoty tohoto redukovaného napětí.

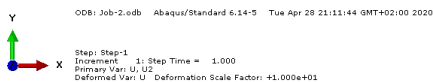
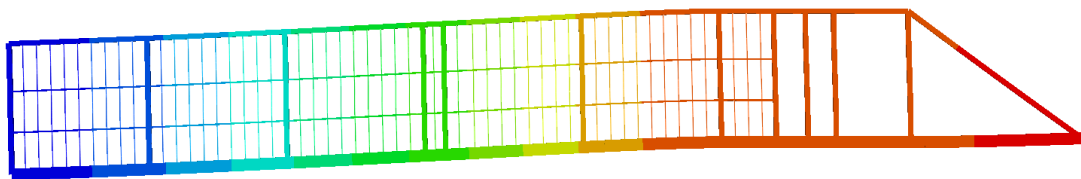
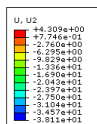


Obr. 62: Průběh napětí u upravené konstrukce brány [autor]

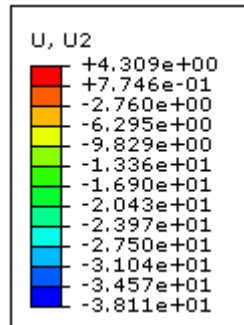


Obr. 63: Hodnoty napětí u brány s upravenou konstrukcí

Dále je zde uveden výpočet deformace upravené konstrukce brány. Na první pohled je patrné, že se brána deformuje jiným způsobem než v případě brány bez koleček. Tato upravená konstrukce se ve své levé části deformuje méně než původní konstrukce bez koleček. V levé části se brána zdeformuje v záporném směru osy y o 37,64 mm (dolu). Tato deformace je přibližně o 18,5 mm menší. V pravé části brány se konstrukce zdeformuje o 4,3 mm v kladném směru osy y (nahoru). Tato deformace platí pouze pro úplný konec brány, kde konstrukce není nijak uchycena. V části, kde hřeben brány dosedá na pastorek pohonu, se brána zdeformuje pouze o 0,775 mm, tudíž by brána měla být funkční a motor by se neměl přetěžovat.



Obr. 64: Průběh deformace u brány s upravenou konstrukcí



Obr. 65: Hodnoty deformace u brány s upravenou konstrukcí [autor]

3.3.4. Analýza a porovnání vypočtených údajů

Z numerický výpočtu je jasné, že nejlepší konstrukční řešení je číslo tři, tedy případ, že by na bránu byla namontována tři kolečka. Tato kolečka by zabránila větším deformacím ve směru osy y a tudíž by brána mohla teoreticky normálně fungovat. Samozřejmě ani u druhého řešení nevychází závratně špatné výsledky. Také by toto řešení mohlo být použito, jelikož zde se konstrukce na 10,32 metrech zdeformuje o pouhých 3,113 mm. Tato hodnota by také mohla vyhovovat a brána by mohla být v normálním provozu (viz tab.7).

Tab. 7.: Porovnání redukovaného napětí a deformace u jednotlivých konstrukcí [autor]

Typ konstrukce	v_{max} [mm]	Max. redukované napětí [$\frac{N}{mm^2}$]
Bez koleček	51,84	101,7
Se dvěma kolečky	3,113	50,08
Se třemi kolečky	0,4091	12,76
Prodloužená konstrukce	38,11	122,7

4. Optimalizace současné konstrukce

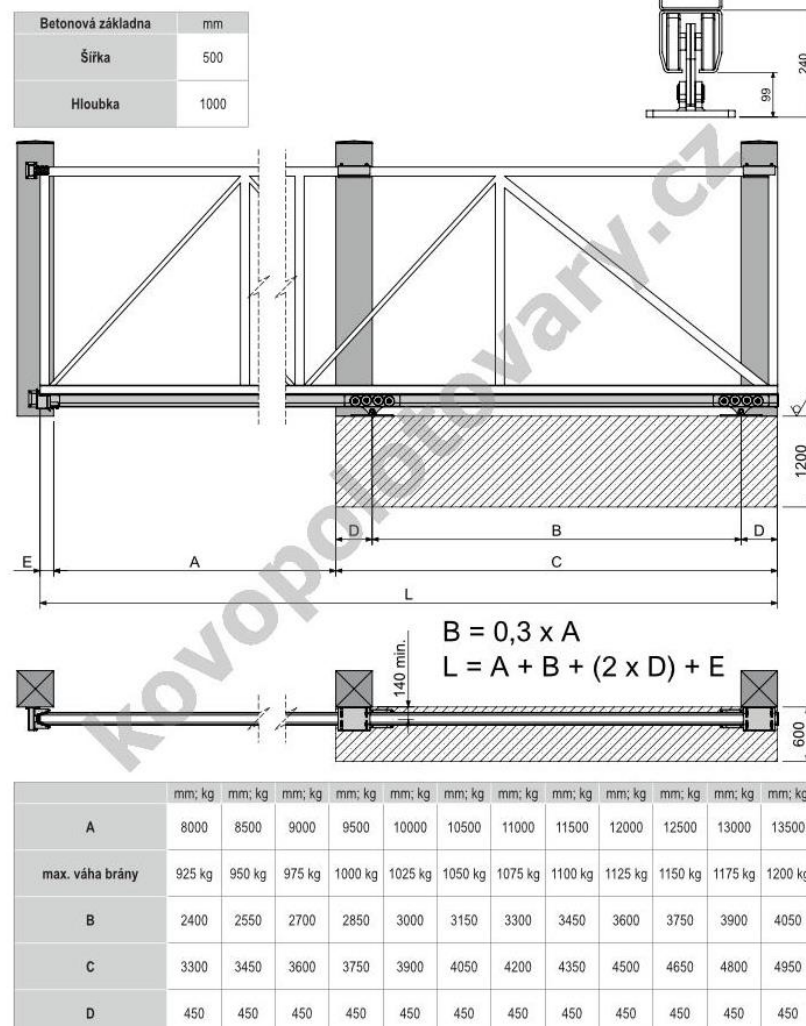
Tato kapitola pojednává o návrhu řešení problému, které se vyskytují u současné konstrukce, a také je zde přibližně vyčíslena cena opravy těchto problémů. Jedná se o atypickou konstrukci brány, kde nebyly dodrženy některé pracovní postupy, a to má za následek tyto komplikace.

4.1. Nosné vozíky a C-profil

Tato samonosná brána je atypická tím, že rozteč nosných vozíku není dostatečně velká. Tento problém je způsoben tím, že na místě, kde je brána postavena, není dostatek stavebního prostoru, a tudíž tyto vozíky mají místo minimálně rozteče, která je 2,55 m, rozteč 1,5 m (viz Obr. 66). Tento problém je způsoben i tím, že se brána při zavírání prohýbá víc, než by měla a nemá takovou stabilitu. Navíc byly použity vozíky s menší únosností a menšími rozměry, než měly mít. Dále tyto vozíky nebyly umístěny ve stejné výšce, a tudíž se brána deformuje.

Stavební připravenost

pro samonosné posuvné brány
do 13,5 m průjezdné šířky



Obr. 66: Stavební připravenost s veškerými rozměry [31]

Další problém, který způsobuje, že je brána nestabilní, je špatný výběr C-profilu, který se nachází na spodní části brány. Minimální rozměry, který by tento C-profil měl mít pro zajištění stability, je 140x140x6 mm. Jedná se o vodící C-profil, který má mnohem větší pevnost a tuhost než současný C-profil. Rozměry současného C-profilu jsou 60x60x4 mm. Tyto rozměry jsou více jak dvakrát menší než doporučené rozměry vodícího C-profilu, který je přímo určen pro brány s výnosem do 10,5 m.



Obr. 67: Sada pro samonosné brány s výnosem do 10,5 m [31]

Na obrázku 67 je vidět sada pro samonosné brány s výjezdem do 10,5m. Tato sada by mohla vyřešit problém s prohýbáním brány a následnými komplikacemi s otevíráním a zavíráním. V sadě se nachází nosné vozíky, které mají správnou nosnost a nosný C-profil, který má požadované rozměry doporučené pro takovouto bránu.

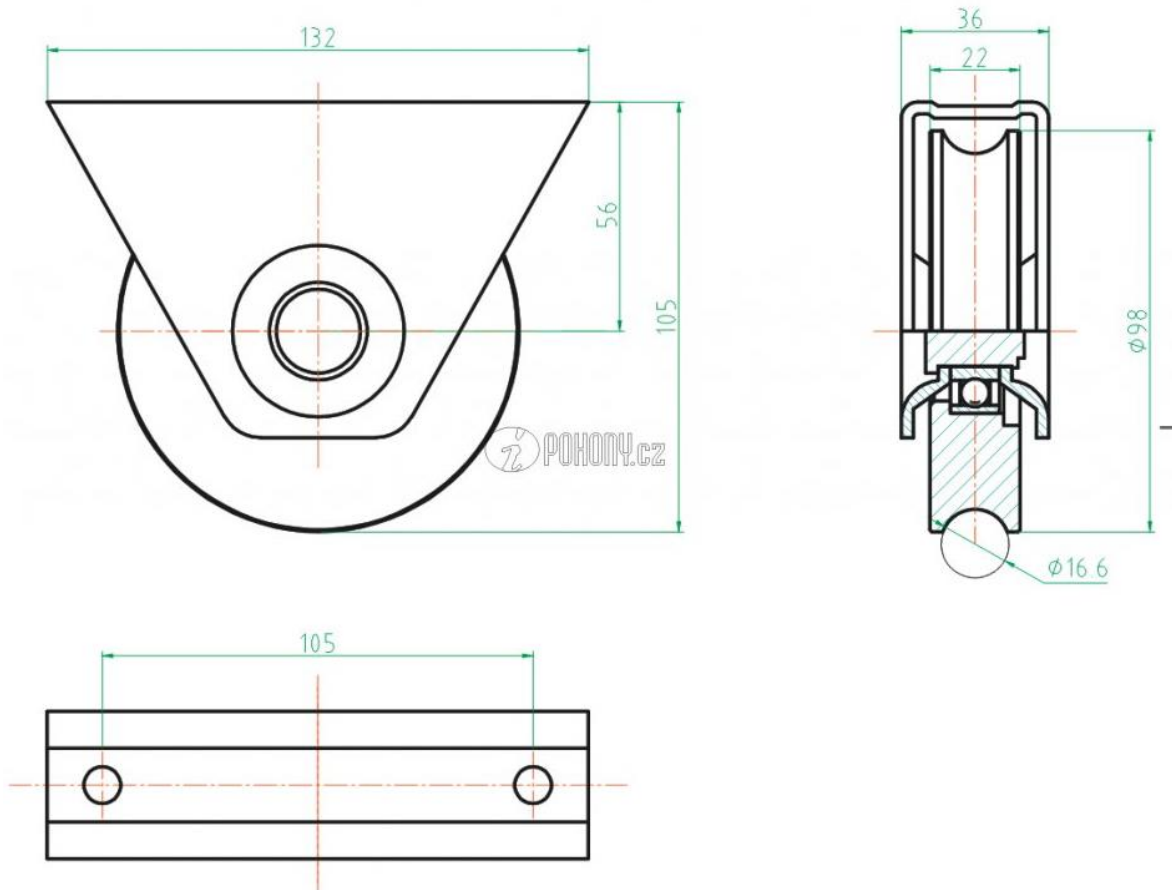
4.2. Kolečka a pojezdové lišty

Další možnost, která může být zkombinována s možností první, je ta, že na bránu budou přivařena pojezdová kolečka a na zem budou připevněny pojezdové lišty. Tato možnost řeší problém s nedostatečnou roztečí nosných vozíku a zajistí podporu pro bránu v koncových polohách. Pro toto řešení by musel být zajištěn betonový podklad, do kterého by následně byly pojezdové lišty přišroubovány. Zde také nastává problém tohoto řešení, jelikož na jednom konci brány se mimo asfaltového podkladu nachází i zámková dlažba (viz Obr. 68). Tento problém by mohl být odstraněn tím, že by se část dlažby rozebrala a tento prostor by byl vylit betonem.



Obr. 68: Zámková dlažba na druhém konci brány [autor]

Pro toto řešení byla vybrána pojezdová kolečka s U-drážkou, která mají mít nosnost 350 kg. Jelikož budou použita kolečka dvě, tak se tato nosnost roznese do obou koleček a neměl by zde nastat problém s únosností, jelikož brána má hmotnost okolo 525 kg. Tato kolečka by se dala přivařit na nosný C-profil, který je popsán v předešlé kapitole.



Obr. 70: Rozměry použitého kolečka [12]

Pokud by ovšem bylo nutné použít kolečka tři, bylo by třeba odstranit nosné vozíky. Brána by v tomto případě byla uložena jen na tato kolečka. Ovšem v tomto případě by musel být přidán jeden nosný sloup a současný sloup, na kterém je přimontován pohon, by musel být rovněž upraven, jelikož je v tuto chvíli usazen obráceně, a tudíž by zasahoval do dráhy těchto koleček (viz Obr. 70).



Obr. 69: Detail usazení nosného sloupu [autor]

Při vybrání těchto řešení by také musel být řešen problém s již položeným povrchem. Asfalt by musel být odfrézován a betonový povrch, který se nachází pod tímto asfaltem, by musel být upraven, aby byl vhodný pro našroubování pojezdových lišt pro tato kolečka.

4.3. Povrchová úprava

Předčasná koroze této konstrukce mohla nastat při špatně zvolené povrchové úpravě a také díky mnohem většímu namáhání součásti, než bylo předpokládáno. Toto zatížení mohlo porušit ochranou vrstvu kovu, a to zapříčinilo další korozi této brány.

Pro nejlepší ochranu by mělo být zvoleno žárové zinkování, díky kterému se brána může vykazovat menší deformace než při zinkování ponorem, ale tento problém by měl být vyřešen lepšími nosnými vozíky, kolečky a větším nosným C-profilem. Následně by měla být brána práškově nalakována (komaxit). Tato kombinace by měla zajistit, že by z žádný z dílců neměl začít předčasně korodovat.

4.4. Bezpečnostní prvky

V základu samonosná brána nebyla dodána s žádnými bezpečnostními prvky. Pro bezpečnější provoz je tedy nutné tyto prvky dokoupit. Aby nedošlo ke sevření osoby nebo nárazu brány do auta, je nutné nainstalovat buď bezpečnostní lištu nebo fotobuňku. Tato zařízení by měla zabránit jakémukoliv úrazu, který by mohl nastat při pohybu lidí a vozidel okolo této brány.

4.5. Kalkulace nákladů na optimalizaci

Zde lze nalézt výpočet veškerých nákladů na optimalizaci této konstrukce. V kalkulacích těchto nákladů je zahrnuto i frézování asfaltového povrchu a vylepšení bezpečnosti této brány.

Pro výpočet výsledné ceny pro žárové zinkování je potřeba znát celkovou hmotnost konstrukce brány. Hmotnost této konstrukce je 525 kg. Tato hmotnost byla určena pomocí programu „Inventor“. Na stránkách firmy „Kondor hutní materiály“ bylo zjištěno, že cena žárového zinkování u konstrukce, která váží 525 kg, je přibližně $22 \frac{Kč}{kg}$. Tudíž výsledná cena za žárové zinkování je 11 550 Kč.

Dále je potřeba bránu práškově lakovat. Cena této operace se většinou odvíjí od složitosti konstrukce, hmotnosti, velikosti dílu a tloušťce materiálu. Přibližná cena u této konstrukce byla zjištěna na stránkách firmy „Prášková lakovna Baumruk“ a je $255 \frac{Kč}{m^2}$. Povrch brány byl opět zjištěn v programu „Inventor“. Celková plocha brány je $33,58 m^2$. Po vypočtení bylo zjištěno, že celková cena za práškové lakování (komaxit) je 8 563 Kč.

Do celkových nákladů bylo také nutno započítat i frézování asfaltové plochy. Tuto úpravu by bylo nutno provést, pokud by se instalovala pojezdová kolečka. Bylo by nutné odfrézovat asfaltovou plochu, která se nachází těsně pod bránou. Tato plocha byla odhadnuta na $3,1 \text{ m}^2$. Cena pro frézování asfaltového povrchu byla nalezena na stránkách firmy „Pozkom“ a je odhadnuta na $29 \frac{\text{Kč}}{\text{m}^2}$. Celková cena by tedy byla 89,9 Kč. Do této ceny by jistě ještě byly přidány další poplatky. Ty však nejsou na stránkách firmy dostupné.

Jako další je potřeba do těchto nákladů zařadit koupi bezpečnostních prvků, kolečka a set pro samonosné brány s výnosem do 10,5 m. Tento set byl již zmíněn v kapitole 4.1. a nachází se na obrázku 67. Tento set zahrnuje nosné vozíky, nosný C-profil, najížděcí kolečko a další prvky potřebné k bezchybnému provozu této brány. Tento set byl pořízen od firmy „Kovopolotovary“ a stojí 49 843 Kč. Jako bezpečnostní prvek v tomto případě byla zvolena bezpečnostní strunová lišta od firmy „AZ pohony“ s délkou 1,7 m. Cena této lišty je 1 381 Kč. Kolečka byla vybrána od firmy „i Pohony“. Tato kolečka mají nosnost 350 kg a jedno stojí 266 Kč. Pokud by byla pořízena kolečka tři, tak je celková cena 798 Kč.

Tab. 8.: Rozpočítané náklady [autor]

Optimalizace	Cena [Kč]
Žárové zinkování	11 550
Komaxit	8 563
Frézování asfaltu	89,9
Set pro brány s výnosem do 10,5 m	49 843
Bezpečnostní strunová lišta	1 381
Kolečka	798
Celková Cena	72 224,9

V tabulce 8 je vidět, že celková cena, pokud by byly použity veškeré návrhy s optimalizacemi, je 72 224,9 Kč. Tato cena není zrovna nízká a největší podíl na ní má set pro brány s výnosem do 10,5 m.

5. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukcí a optimalizací dlouhých samonosných a posuvných bran. V první části bakalářské práce byla zpracována rešerše na samonosné, posuvné a křídlové brány, na jejich výrobu, pohony, povrchové ochrany, údržbu, využití a na jejich prvky.

V praktické části byly nejdříve provedeny analytické výpočty různých výpočtových konstrukcí, aby bylo ukázáno, jak se jednodušší rámové konstrukce počítají. Výpočty byly dále porovnány mezi sebou. Po tomto porovnání bylo zjištěno, který z těchto výpočtů je pro tuto konstrukci výhodnější.

Dále byly provedeny výpočty metodou MKP jednotlivých konstrukčních návrhů brány v programu „Abaqus“. Tyto výpočty byly dále využity k volbě nejlepší optimalizace současné konstrukce. Jako nejvhodnější se ukázalo, že je nutné vyměnit nosný C-profil na spodní částí brány, který nemá dostatečnou únosnost pro danou bránu a namontování dvou koleček, která budou bránu podpírat. S nimi byly namontovány pojezdové lišty. K tomu byly ještě vyměněny nosné vozíky. Současné vozíky totiž také neměly dostatečnou nosnost.

Jelikož základní konstrukce brány nepočítala s žádnými bezpečnostními prvky, byla vzhledem k větší bezpečnosti vybrána bezpečnostní strunová lišta, která dokáže zabránit sevření osoby či automobilu při zavírání brány.

V poslední kapitole byly provedeny kalkulace veškerých nákladů pro jednotlivé konstrukční návrhy brány. Celkové náklady pro zvolenou nejvýhodnější variantu jsou 72 224,9 Kč.

Použité zdroje

- [1] Bubík vrata [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.bubik-vrata.cz/>
- [2] Plastové ploty [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: http://plastove-ploty.com/vjezdove-brany-posuvne-samonosne/vjezdova-samonosna-brana-s-pohonem_privat1/
- [3] Vrata Janda [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.vratajanda.cz/>
- [4] BRANY.NET [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://brany.net/teleskopicka-brana/brany/posuvna-brana-po-kolejnici>
- [5] Ploty Skočík [online]. Dostupné z: <https://brany.net/teleskopicka-brana/brany/posuvna-brana-po-kolejnici>
- [6] Feromat [online]. Dostupné z: http://www.feromat.cz/jakosti_oceli
- [7] Přehled vlastností oceli S235JR [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>
- [8] NOVOTNÝ, ŠANOVEC, BEDNÁŘ a KREIBICH. Technologie I. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006.
- [9] AQUA S.P.P [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.aqua-spp.cz/zarovy-nastrik.html>
- [10] InColour [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://www.incolour.cz/magazin-co-je-to-komaxit-detail-18>
- [11] Ivrata [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.ivrata.cz/1134,pohon-posuvne-brany-hormann-lineamatic-akku%E2%80%91solar.html>
- [12] *I Pohony.cz* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.i-pohony.cz/posuvne-brany/robus400-rb400-nahradni-dily/>
- [13] Ozubené hřebeny [online]. [cit. 2020-05-12]. dostupné z: <http://www.ozubene-hrebeny.cz/>



- [14] Apex dynamic czech s.r.o. [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://www.apexdynaczech.cz/produkty/hrebeny-sikme-ozubeni/>
- [15] Plotycz [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://plotycz.cz/kolecka/2334-pojezdova-kladka-s-drzakem-typ-u-zn-d60mm-h31u-60.html>
- [16] Montego [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://eshop.montego.cz/p/Pojezdova-kladka-WV-820-kolecko-posuvne-kolejnicove-brany>
- [17] ZABi [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://www.zabi.cz/teploodolny-vozicek-5mm-50e>
- [18] TECHNOPARK [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://eshop.technopark.cz/z3542-3091-16-6-pojezdova-draha-brany-u-profil-r8-zn>
- [19] Montego [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://www.montego.cz/jednokridlova-brana-s-pohonem-nice-toona-to5016-na-dalkove-ovladani/>
- [20] EPOHONY [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.epohony.cz/be20-210-kit-pohony-kridlovych-bran-do-2-2m-jednoho-kridla-d-u>
- [21] Ivrata [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://www.ivrata.cz/jak-pecovat-o-garazova-vrata-a-pohony-,153.html>
- [22] Návod pro pohon posuvné brány CAME-BX74-78 [online] Dostupné z:
<https://www.kovopolotovary.cz/ImgGalery/Img1/FilesPohoda/navod-pro-pohon-posuvne-brany-CAME-BX74-78.pdf>
- [23] Brany.imaxi [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<http://www.brany.imaxi.cz/fotobunky-ir30.html>
- [24] Fabera systems s.r.o. [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://www.faberasystems.com/cs/posuvne-brany-a-jejich-jistici-prvky>
- [25] Janů a syn dveřní a vratové systémy [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://shop.januasyn.cz/20771-mechanicka-bezpecnostni-lista/>



- [26] AZ pohony [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: http://azpohony.cz/page_3.html
- [27] Automatizace.hw [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
<https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/test-bezpecnostni-svetelne-zavory-leuze-mld-s-funkci-muting.html>
- [28] Ovladace-branyvrata [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.ovladace-branyavrata.cz/GATE-420-220V-LED-majak-vystrazna-lampa-pro-vsechny-pohony-bran-a-vrat-d16.htm>
- [29] DEK [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z:
https://www.dek.cz/produkty/detail/3630355240-profil-cw-100-50-0-6-3m?gclid=Cj0KCQiAm4TyBRDgARIsAOU75soYs81yRzJawjmszCBCmAOPuiE60gdpXSz8uSFdwpWJR5HtttdPr30oaArFnEALw_wcB&tab_id=popis
- [30] ŘEZNÍČEK, Jan. *Pružnost a pevnost II příklady*. 2. opravené. Praha, 2019.
- [31] Kovopolotovary [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z:
<https://www.kovopolotovary.cz/>
- [32] ONDRÁČEK, Miroslav. *Modelování a simulace - pohony*. České vysoké učení technické v Praze, 2013.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Samonosná brána s dřevěnou výplní [1]	11
Obr. 2: Rám připravený na výplň [2]	11
Obr. 3: Samonosná brána s kovovou výplní [3]	11
Obr. 4: Posuvná brána po kolejnici [4]	12
Obr. 5: Dvoukřídlá brána s pohonem [5].....	12
Obr. 6: Motor samonosné brány druhý typ 1 [11]	15
Obr. 7: Pohon samonosné brány typ 2 [12]	15
Obr. 8: Hřeben s přímými zuby [13]	16
Obr. 9: Hřeben se šikmým ozubením [14]	16
Obr. 10: Schéma pojízdného kolečka s U drážkou [15].....	17
Obr. 11: Schéma pojízdného kolečka s V drážkou [16].....	18
Obr. 12: Nosný vozík [17]	18
Obr. 13: Schéma nosného vozíku [17].....	19
Obr. 14: Obrázek a schéma lišty s U-drážkou [18].....	19
Obr. 15: Jednokřídlá brána s pohonem [19].....	20
Obr. 16: Pohon křídlové brány [20]	21
Obr. 17: Detail závitového mechanismu [20]	22
Obr. 18: Místa nutná pro mazání [22].....	23
Obr. 19: Fotobuňka IR30 [23].....	24
Obr. 20: Mechanická bezpečnostní lišta [25]	25
Obr. 21: Profil bezpečnostní lišty [25]	26
Obr. 22: Příklad optické brány u dopravníku [27].....	27
Obr. 23: Příklad LED majáku [28]	27
Obr. 24: Příklad C-profilu [29]	28
Obr. 25: Schéma modelu pro analytický výpočet [autor]	29
Obr. 26: Naznačená osa symetrie [autor]	29
Obr. 27: Schéma modelu [autor]	30
Obr. 28: Vnitřní účinky [autor]	31
Obr. 29: Naznačené souřadnice [autor]	32
Obr. 30: Jednotková síla a moment [autor].....	33
Obr. 31: Jednotková síla pro výpočet vA [autor].....	36
Obr. 32: Vnitřní reakce [autor].....	37
Obr. 33: Průběh momentů [autor]	39
Obr. 34: Schéma nosníku na dvou podpěrách [autor].....	39
Obr. 35: Schéma pro výpočet reakcí [autor]	40
Obr. 36: Schéma pro výpočet kvadratického momentu [autor]	40
Obr. 37 Naznačené souřadnice[autor]	41

Obr. 38: Schéma pro jednotkové reakce [autor]	42
Obr. 39: Vlastnosti a složení materiálu ČSN 11 375 (S235JR) [8]	44
Obr. 40: Model brány v programu „Abaqus“ [autor].....	45
Obr. 41: Okrajové podmínky [autor]	46
Obr. 42: Detail usazení brány na pastorek a nosné vozíky [autor]	46
Obr. 43: Okrajové podmínky v místě koleček [autor].....	47
Obr. 44: Fotka brány se dvěma namontovanými kolečky [autor].....	47
Obr. 45: Průběh redukováného napětí [autor].....	48
Obr. 46: Hodnoty redukováného napětí [autor]	48
Obr. 47: Detail průběhu napětí [autor]	49
Obr. 48: Průběh deformace v ose y [autor].....	49
Obr. 49: Hodnoty deformace v ose y [autor]	50
Obr. 50: Průběh napětí u brány se dvěma kolečky [autor]	50
Obr. 51: Detail průběhu napětí [autor]	51
Obr. 52: Hodnoty průběhu napětí [autor].....	51
Obr. 53: Hodnoty průběhu deformace v ose y [autor]	51
Obr. 54: Deformace v ose y u brány se dvěma kolečky [autor]	52
Obr. 55: Průběh napětí u brány se třemi kolečky [autor]	52
Obr. 56: Detail maximální hodnoty napětí [autor]	53
Obr. 57: Hodnoty napětí u brány se třemi kolečky [autor].....	53
Obr. 58: Hodnoty deformace u brány se třemi kolečky [autor].....	53
Obr. 59: Průběh deformace u brány se třemi kolečky [autor]	54
Obr. 60: Model upravené konstrukce brány [autor]	54
Obr. 61: Detail prodloužení brány [autor]	55
Obr. 62: Průběh napětí u upravené konstrukce brány [autor]	55
Obr. 63: Hodnoty napětí u brány s upravenou konstrukcí	56
Obr. 64: Průběh deformace u brány s upravenou konstrukcí [autor].....	56
Obr. 65: Hodnoty deformace u brány s upravenou konstrukcí [autor]....	57
Obr. 66: Stavební připravenost s veškerými rozměry [31]	58
Obr. 67: Sada pro samonosné brány s výnosem do 10,5 m [31]	59
Obr. 68: Zámková dlažba na druhém konci brány [autor]	60
Obr. 69: Detail usazení nosného sloupu [autor].....	61
Obr. 70: Rozměry použitého kolečka [12]	61

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.: Minimální mez kluzu R_{eH} v závislosti na jmenovité tloušťce [8]

Tab. 2.: Pevnost v tahu R_m [8]

Tab. 3.: Složení oceli S235JR (dle ČSN 11375) [8]

Tab. 4.: Obsah C v závislosti na tloušťce oceli S235JR [8]

Tab. 5.: Výpočtové parametry [autor]

Tab. 6.: Vypočtené reakce a deformace [autor]

Tab. 7.: Porovnání redukovaného napětí a deformace u jednotlivých konstrukcí [autor]

Tab. 8.: Rozpočítané náklady [autor]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Návod pro pohon Nice Robus 1000 [31]

Příloha 2 Obrázek modelu optimalizované brány (bez koleček) [autor]

Příloha 3 Výkres sestavy optimalizované brány (bez koleček) [autor]