

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA STROJNÍ**

**Studijní program:** N0715A270017 - Konstruování strojů a  
technických zařízení

**Studijní specializace:** Konstruování vozidel a manipulačních  
zařízení

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh rámu podvozku pro podvozek s vnitřním rámem typu Jakobs**

**Autor:** Bc. Pavel KARAS

**Vedoucí práce:** Ing. Václav KRAUS, Ph.D.

Akademický rok 2021/2022

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel KARAS**  
Osobní číslo: **S20N0057P**  
Studijní program: **N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení**  
Specializace: **Konstruování vozidel a manipulačních zařízení**  
Téma práce: **Návrh rámu podvozku pro podvozek s vnitřním rámem typu jakobs**  
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

## Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Návrh rámu podvozku pro podvozek s vnitřním rámem typu Jakobs (specifikace rozměrů, materiálů, svařování a obrábění). Pevnostní výpočet rámu podvozku dle EN 13 749, se zohledněním EN 12663-1, EN 15 085-3, DVS 1612.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání

Osnova práce:

1. Rešerše na téma „Podvozky elektrických jednotek“
2. Návrh rámu včetně výpočtu podle EN 13749 pro svislé a příčné výjimečné zatížení
3. 3D model rámu včetně svarových spojů
4. Výrobní výkres vybraného detailu
5. Sestavný výkres rámu podvozku
6. Ekonomické zhodnocení

Konzultant: Ing. Jiří Říha (ŠKODA TRANSPORTATION a.s.)

Rozsah diplomové práce: **40-60 stran**  
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**  
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

HELLER, Petr. *Kolejová vozidla I.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2017. ISBN 978-80-261-0693-7.  
HELLER, Petr. *Kolejová vozidla II.* Plzeň: Západočeská univerzita, 2017. ISBN 978-80-261-0773-6  
*Podkladové materiály, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.*

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Kraus, Ph.D.**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2022**

L.S.

---

**Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.**  
děkan

---

**Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne: .....

podpis autora.....

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Václavovi Krausovi, Ph.D za vedení mé diplomové práce. Děkuji za dobré připomínky, informace a vřelý přístup. Poděkování též patří Ing. Jiřímu Říhovi ze společnosti Škoda Transportation. Zde jsem mohl, pod jeho dohledem, pracovat na svoji práci.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Bc. Karas	<b>Jméno</b> Pavel	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	N0715A270017 Konstruování strojů a technických zařízení		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Kraus, Ph.D	<b>Jméno</b> Václav	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST – KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh rámu podvozku pro podvozek s vnitřním rámem typu Jakobs		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2022
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	94	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	53	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	41
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Návrh rámu s vnitřním rámem typu Jakobs. Návrh rámu obsahuje pevnostní výpočet dle EN 13 749 na svislé a příčné výjimečné zatížení. Návrh konstrukce je zohledněn dle EN 12 663-1, EN 15 085-3 a DVS 1612.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>  <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Jakobs, vnitřní rám, výpočet rámu, EN 13 749

**SUMMARY OF DIPLOMA SHEET**

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Bc. Karas	<b>Name</b> Pavel	
<b>FIELD OF STUDY</b>	N0715A270017 Design engineering of machines and technical devices		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Kraus, Ph.D	<b>Name</b> Václav	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST – KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of a bogie frame for Jakobs bogie with an inner frame		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2022
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

**NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)**

<b>TOTALLY</b>	94	<b>TEXT PART</b>	53	<b>GRAPHICAL PART</b>	41
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	Design of a bogie frame for Jakobs bogie with an inner frame. The frame design includes a strength calculation according to EN 13 749 for vertical and transverse exceptional loads case. The design is taken into account according to EN 12 663-1, EN 15 085-3 and DVS 1612.
<b>KEY WORDS</b>	Jakobs, inner frame, frame calculation, EN 13 749

## OBSAH

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....	10
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	11
SEZNAM TABULEK.....	12
1 ÚVOD .....	13
1.1 Upřesněné zadání od zadavatele.....	14
2 REŠERŠE PODVOZKŮ ELEKTRICKÝCH JEDNOTEK.....	17
2.1 Používané dvounápravové podvozky Jakobs .....	18
2.1.1 Podvozky s vnějším rámem a dvojitým sekundárním vypružením.....	18
2.1.2 Podvozky vnějším rámem a jedním sekundárním vypružením .....	20
2.1.3 Podvozky s vnitřním rámem .....	21
2.2 Shrnutí poznatků.....	22
2.2.1 Materiály používané na plechy .....	22
2.2.2 Materiály používané na odlitky.....	23
2.2.3 Materiály používané na výkovky .....	24
3 NÁVRH RÁMU VČETNĚ VÝPOČTU PODLE EN 13749 PRO SVISLÉ A PŘÍČNÉ VÝJIMEČNÉ ZATÍŽENÍ.....	25
3.1 Specifikace požadavků .....	25
3.2 Varianty rámu .....	26
3.3 Hodnocení variant.....	30
3.4 Konstrukční návrh rámu .....	31
3.4.1 Podélník.....	32
3.4.2 Sestava rámu v podvozku.....	33
3.5 Výpočet rámu dle EN 13 749 .....	34
3.5.1 Specifikace zatěžujících sil .....	35
3.5.2 Výpočet rámu metodou konečných prvků .....	38
3.5.3 Vyhodnocení výsledků.....	43
4 3D MODEL RÁMU VČETNĚ SVAROVÝCH SPOJŮ .....	45
4.1 Podélník.....	45
4.2 Rám podvozku.....	46
5 VÝROBNÍ VÝKRES VYBRANÉHO DETAILU .....	47
5.1 Odlitek .....	47
6 SESTAVNÝ VÝKRES RÁMU PODVOZKU .....	48



7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	49
7.1	Náklady vztažené na 0 až 50 kusů rámu.....	50
7.2	Náklady vztažené na 50 až 100 kusů rámu.....	50
7.3	Náklady vztažené na 100 až 500 kusů rámu.....	51
7.4	Náklady vztažené na 500 a více kusů rámu.....	51
8	ZÁVĚR.....	52
	ZDROJE.....	53
	PŘÍLOHY.....	53

**PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

NÁZEV VELIČINY	ZNAČKA VELIČINY	JEDNOTKY
Rychlost	v	km/h
Hmotnost	m	t, kg
Délka	l	mm
Napětí	$\sigma$	MPa
Síla	F	kN, N
Vrubová houževnatost	KV	J
Teplota	t	°C
Tíhové zrychlení	g (9,80665 m/s <sup>2</sup> )	m/s <sup>2</sup>

max. maximální

min. minimální

tl. tloušťka

poz. pozice

EL E prázdný vůz

EL O vůz v provozní hmotnosti

EL F plně ložený vůz

č. číslo

Kč Koruna česká

ks kusy

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1- 2-vozová jednotka jakobs [8] .....	13
Obrázek 2.1- Rozdíl uložení podvozků obvyklým způsobem a typu Jakobs [2].....	17
Obrázek 2.2- Podvozek SF4000 JLDG [1] .....	18
Obrázek 2.3- Podvozek SF4000 JLDG, náčrt [1] .....	18
Obrázek 2.4- Podvozek FlexCompact [1] .....	19
Obrázek 2.5- Podvozek FlexCompact, náčrt [1] .....	19
Obrázek 2.6- Vyvázaný podvozek vozidla RegioShark [1].....	20
Obrázek 2.7- Podvozek vozidla RegioShark [1].....	20
Obrázek 2.8- podvozek typu Jakobs s vnitřním rámem [3] .....	21
Obrázek 3.1- Návrh rámu varianty A .....	27
Obrázek 3.2- Návrh rámu varianty B a C.....	28
Obrázek 3.3- Návrh rámu varianty D, E a F .....	29
Obrázek 3.4- Konceptní návrh nejlépe hodnocené varianty.....	30
Obrázek 3.5- Konstrukční návrh rámu .....	31
Obrázek 3.6- Rozpad podélníku.....	32
Obrázek 3.7- Zastavěný prostor rámu .....	33
Obrázek 3.8- Průjezdny obrys.....	33
Obrázek 3.9- Souřadnicový systém.....	35
Obrázek 3.10- Rozložení svislých sil .....	36
Obrázek 3.11- Rozložení příčných sil .....	37
Obrázek 3.12- Odebrání stupňů volnosti.....	38
Obrázek 3.13 Zasít'ovaný model rámu.....	39
Obrázek 3.14 Výpočtový model od zatížení č.1 .....	39
Obrázek 3.15- Průběh napětí od zatížení č.1 .....	40
Obrázek 3.16- Průběh deformace od zatížení č.1.....	40
Obrázek 3.17- Výpočtový model od zatížení č.2 .....	41
Obrázek 3.18- Průběh napětí od zatížení č.2.....	41
Obrázek 3.19- Průběh deformace od zatížení č.2.....	42
Obrázek 3.20- Rozmístění odlitek a plechů na rámu .....	43
Obrázek 4.1- Sestava podélníku.....	45
Obrázek 4.2- Sestava rámu.....	46
Obrázek 5.1- Vedení dvojkolí .....	47
Obrázek 6.1- Sestava rámu.....	48

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1- Mechanické vlastnosti - mez kluzu a pevnosti [5].....	22
Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti plechů [5] .....	23
Tabulka 3- Mechanické vlastnosti odlitků - mez kluzu a pevnosti [5] .....	23
Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti odlitků [5].....	23
Tabulka 5 - Mechanické vlastnosti výkovků [5].....	24
Tabulka 6 - Specifikace požadavků .....	25
Tabulka 7 - Varianty řešení rámu.....	26
Tabulka 8 - Hodnocení variant [6] .....	30
Tabulka 9 - Klasifikace podvozků [7].....	34
Tabulka 10- Svislé síly na podélníky .....	36
Tabulka 11- Příčné síly na podvozky .....	37
Tabulka 12- Druh zatížení na rám.....	38
Tabulka 13 – Výsledné napětí.....	42
Tabulka 14 - Ceny materiálů dle množství .....	49
Tabulka 15 - Rozdělení hmotnosti na rám .....	50
Tabulka 16 - Cena rámu pro množství 0-50 kusů .....	51
Tabulka 17 - Cena rámu pro množství 50-100 kusů .....	51
Tabulka 18 - Cena rámu pro množství 100-500 kusů .....	53
Tabulka 19 - Cena rámu pro množství 500 a více kusů .....	53
Tabulka 20 - Úspora nákladů při výrobě 500 kusů rámu .....	53

# 1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je navrhnout rám podvozku typu Jakobs s vnitřním rámem. Podvozky s vnitřním rámem jsou hojně rozšířeny a jsou známi již od parních lokomotiv. Běžně jsou tyto podvozky používány i na tramvaje či metra. Pro úsporu hmotnosti, je snaha opět implementovat vnitřní rám i do podvozků železničních vozidel. Podvozek typu Jakobs je také využit pro snížení váhy celé soupravy. V následujících kapitolách bude popsán Jakobsův podvozek, jeho úpravy, výhody a nevýhody. Poté již bude zaměřena pozornost pouze na návrh rámu dle zadání. Navrhne se nejlepší varianta a ta se následně detailně zpracuje.

Při návrhu rámu je možno vycházet z mnoha možností, jak má rám vypadat. A však navrhování druhu vypružení, vedení dvojkolí nebo vedení vozu je spíše disciplína při navrhování podvozku. Z tohoto důvodu je vytvořeno upřesnění zadání. Toto upřesnění zmenší oblast navrhování typu podvozku a zaměří se na rám.

Tato práce se zaměřuje na rám, který je použit na podvozek pro regionální jednotku. Na regionální jednotky se používá několik typů Jakobsova podvozku. Tyto podvozky jsou popsány dále v této práci. Koncepce rámu bude tedy vycházet z těchto používaných variant. Návrh rámu bude implementován na 2-vozovou jednotku. Návrh, jak může vypadat tato jednotka, znázorňuje Obrázek 1.1.



Obrázek 1.1 – 2-vozová jednotka jakobs [8]

## 1.1 Upřesnění zadání od zadavatele

Toto upřesnění zadává jednotlivé parametry podvozku, kde bude rám použit. Z těchto parametrů bude pak vycházeno při návrhu rámu podvozku.

- **Podvozek běžný**
- **Podvozek Jakobs**
- **Rozchod:** 1 435 mm
- **Rozvor podvozku:** 2 750 mm
- **Průměr kol (Nové/Plně Opotřebené):** 850 / 770 mm
- **Šíře kol:** 135 mm
- **Profil kola:** EN 13715 - S1002/h28/e32,5/6,7%
- **Vedení dvojkolí:** Kyvné rameno  
390 mm (báze kyvného ramene)
- **Silentblok kyvného ramene:** 70 mm (průměr čepu polokulový)  
pro montáž do rámu podvozku  
500 Nmm/° (kardanická tuhost)  
175 Nmm/° (torzní tuhost)  
29 kN/mm (radiální tuhost)  
6,3 kN/mm (příčná tuhost)  
4 ks na podvozek
- **Primární pružina:** 290 mm (vnější průměr  
obalové plochy pružiny)  
260 mm (výška pružiny)  
750 N/mm (svislá tuhost)  
630 N/mm (příčná + podélná  
tuhost)  
4 ks na podvozek
- **Sekundární pružina:** 320 mm (dosedací průměr  
pružiny na rámu podvozku)  
650 mm (vnější průměr  
obalové plochy pružiny)  
340 mm (výška pružiny)  
6 000 N/mm (svislá tuhost)  
1 100 N/mm (příčná + podélná  
tuhost)  
4 ks na podvozek

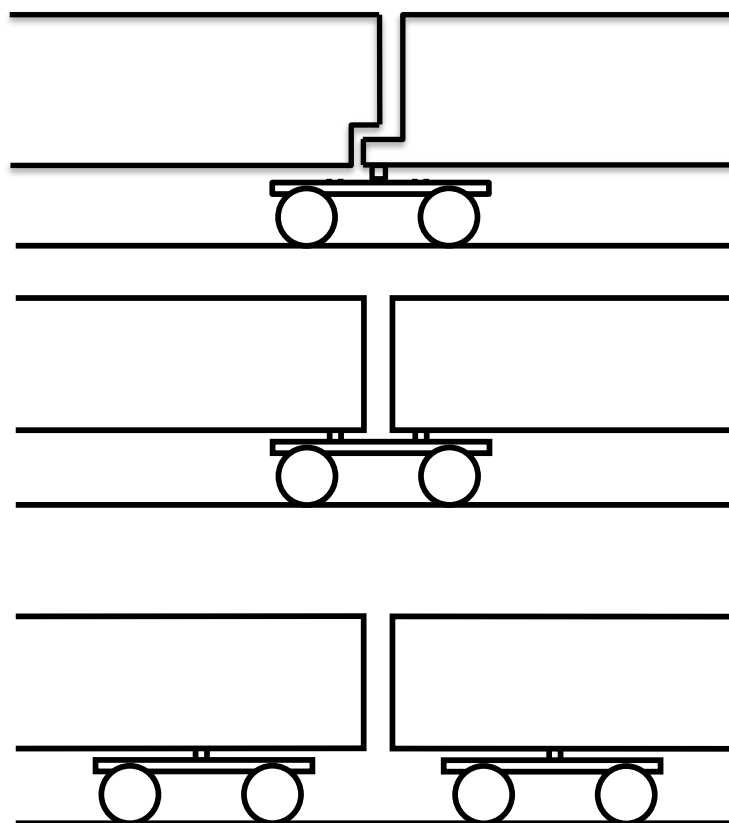
- **Příčné narážky:** 850 N/mm (tuhost)  
4 ks na podvozek
- **Podélné narážky (přenos sil):** 21 500 N/mm (tuhost)  
2 ks na podvozek
- **Torzni stabilizátor:** 2,2 mm/rad (globální tuhost)  
2 ks na podvozek
- **Podélný tlumič:** 1 450 N @ 0,05 m/s (tah / tlak)  
4 ks na podvozek
- **Svislý tlumič:** 2 130 N @ 0,05 m/s (tah / tlak)  
4 ks na podvozek
- **Příčný tlumič:** 1 170 N @ 0,05 m/s (tah / tlak)  
4 ks na podvozek
- **Brzdová jednotka:** 70 kN  
0,5 (součinitel tření třecí dvojice (staticky))  
0,35 (součinitel tření třecí dvojice (dynamicky))  
260 mm třecí poloměr  
2 ks na nápravě mezi koly  
BJ bez střadače
- **Kolejnicová brzda:** není instalována
- **Smetadla:** není instalováno
- **Nevypružené hmoty:** 2 750 kg
- **Dvojkolí:** 2 620 Kg
- **Jednou vypružené hmoty:** 2 650 Kg (včetně rámu podvozku - 1 875 kg)
- **Dvojnásobně vypružené hmoty:** 400 Kg (díly podvozku)
- **Zatížení na nápravu (EL E):** 14 500 kg / náprava
- **Zatížení na nápravu (EL O):** 16 250 kg / náprava
- **Zatížení na nápravu (EL F):** 18 000 kg / náprava

- **Těžiště Vozu:** 2 000 mm (EL E)  
1 850 mm (EL O)  
1 700 mm (EL F)
  
- **Doporučený materiál rámu podvozku:** Plechy – S355NL  
Odlitky – G20Mn5+N
  
- **Norma pro výpočet rámu podvozku:** EN 13 749  
DVS 1612



## 2 REŠERŠE PODVOZKŮ ELEKTRICKÝCH JEDNOTEK

Jak již bylo předesláno tato práce je zaměřena na podvozky typu Jakobs. Tento podvozek byl vynalezen německým strojním inženýrem Wilhelmem Jakobsem. Podvozek snižuje hmotnost celé soupravy tím, že je posazen mezi skříně vozidla na místo dvou podvozků. Hmotnost skříní se roznese na tento podvozek. Hlavními výhodami tohoto podvozku je snížená hmotnost a snazší konstrukce. Dále jsou tyto podvozky bezpečnější proti vykolejení, vytvářejí méně hluku při jízdě, zlepšuje se průchodnost mezi vozidly a je možná nižší výška podlahy od temene kolejnice. Naopak k nevýhodám patří větší zatížení na dvojkolí vlivem snížení počtu podvozků. Další nevýhoda vzniká při rozpřáhání vozů. To nelze udělat normálním způsobem ale lze je rozdělit pouze v dílně. Tento problém jde však vyřešit spojením dvou či více jednotek za sebou. Výhody, které má tento podvozek převyšují nevýhody, a proto se v dnešní době začínají hojně používat. Spojení podvozku typu Jakobs se skříní vozu je možno dvěma způsoby. První způsob používá pouze jeden pár sekundárního vypružení. Na něm je umístěna jedna skříň vozu. Druhá skříň je poté spojena s první skříní pomocí konzole. Druhý způsob uchycuje každou skříň na dvojici sekundárního vypružení. Druhy Jakobsova podvozku a rozdíl mezi běžnými podvozky znázorňuje Obrázek 2.1. [1][2]



Obrázek 2.1 - Rozdíl uložení podvozků obvyklým způsobem a typu Jakobs [2]

## 2.1 Používané dvounápravové podvozky Jakobs

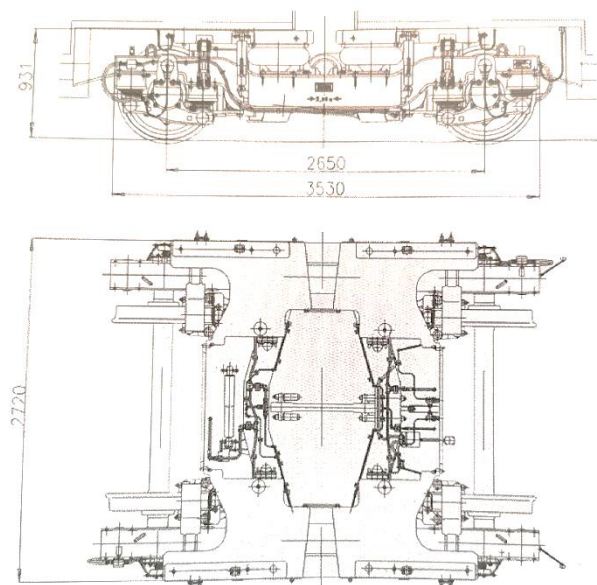
### 2.1.1 Podvozky s vnějším rámem a dvojitým sekundárním vypružením

- **Dvounápravový podvozek Jakobs typu SF 4000 JLDG, Siemens**

Podvozek tohoto typu konstrukčně vychází z trakčního podvozku SF 4000 TDG. Průměr dvojkolí je 770/710 mm, rozvor 2650 mm. Maximální hmotnost na jednu nápravu je 16000 kg, přičemž celý podvozek váží 6200 kg. Primární vypružení je tvořeno vynutími pružinami. Dvojkolí je vedeno pomocí čepů, které jsou upevněny v rámu. Otevřený rám je tvořen dvěma podélníky, které jsou svařeny s příčnickem. Sekundární vypružení obstarávají 4 vzduchové pružiny. Každá dvojice pružin nese jednu skříň vozu. Vzduchové pružiny snadno udržují výšku podlahy nad temenem kolejnice. Podélná síla je přenášena tažně-tlačnou tyčí. O brzdění se starají kotoučové brzdy, které jsou umístěné v kolech. [1]



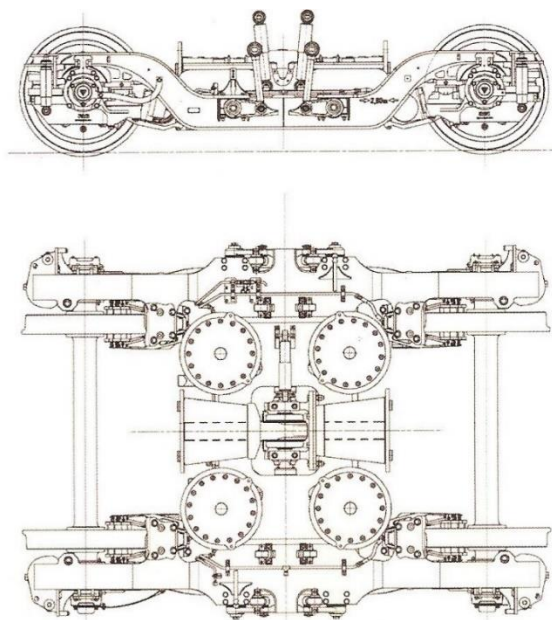
Obrázek 2.2 - Podvozek SF4000 JLDG [1]



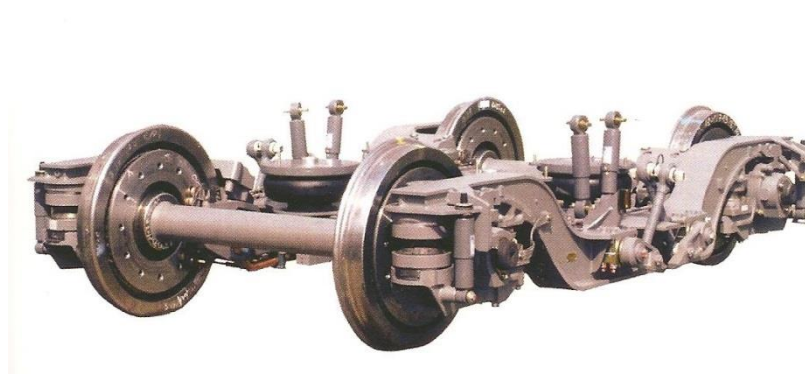
Obrázek 2.3 - Podvozek SF4000 JLDG, náčrt [1]

- **Podvozek FlexCompact firmy Bombardier**

Od roku 2010 je tento podvozek, Obrázek 2.4 a Obrázek 2.5, využíván pro novou generaci regionálních jednotek. Podvozek je tvořen rámem ve tvaru H. Konstrukce rámu je vytvořena s nízko položeným příčným příčným, což umožňuje nízko podlahu v oblasti podvozku. Rám je torzně pružný, a proto zvyšuje bezpečnost proti vykolejení. Dvojkolí je tvořeno monoblokovými koly s průměrem 840/770 mm. V kolech je zabudovaná kotoučová brzda. O vedení dvojkolí se starají pružné elastomerické prvky doplněné hydraulickými tlumiči. Sekundární vypružení je tvořeno čtyřmi pneumatickými pružinami. Tyto pružiny jsou také nízko položené (výška 615 mm od temene kolejnice). Ke každé dvojici pružin jsou přiřazeny hydraulické tlumiče a také torzní stabilizátory. Skříň vozů jsou spojeny snadným rozebíratelným spojem. Tento spoj je pomocí hydraulickým tlumičem tlumen v příčném směru vůči rámu. Tento podvozek má rozvor 2800 mm, hmotnost 5,3 t. Maximální rychlost pro tento podvozek je 160 km/h. [1]



Obrázek 2.5 - Podvozek FlexCompact, náčrt [1]



Obrázek 2.4 - Podvozek FlexCompact [1]

## 2.1.2 Podvozky vnějším rámem a jedním sekundárním vypružením

- **Podvozek regionálního vozidla RegioShark**

Trochu netradiční řešení přináší podvozek vozidla RegioShark (Obrázek 2.6 a Obrázek 2.7). Na první pohled je zde patrné, že podvozek má pouze jednu sadu vzduchového sekundárního vypružení. Je to z důvodu jinak uložení skříní vůči sobě. Na sekundární pružině leží pouze jedna skříň vozidla, zatímco druhá skříň je spojena s první pomocí konzole. Řešení je jednodušší ale přináší větší problémy při vyvážení vozidla. Musí se vždy zvednout dvě skříně najednou. Rám podvozku je otevřený a je tvořen s dvou příčnicí. Mezi těmito příčnicí je usazen lemniskátový mechanismus pro přenesení podélné síly mezi skříní a podvozkem. [1]



Obrázek 2.6 - Vyvážaný podvozek vozidla RegioShark [1]

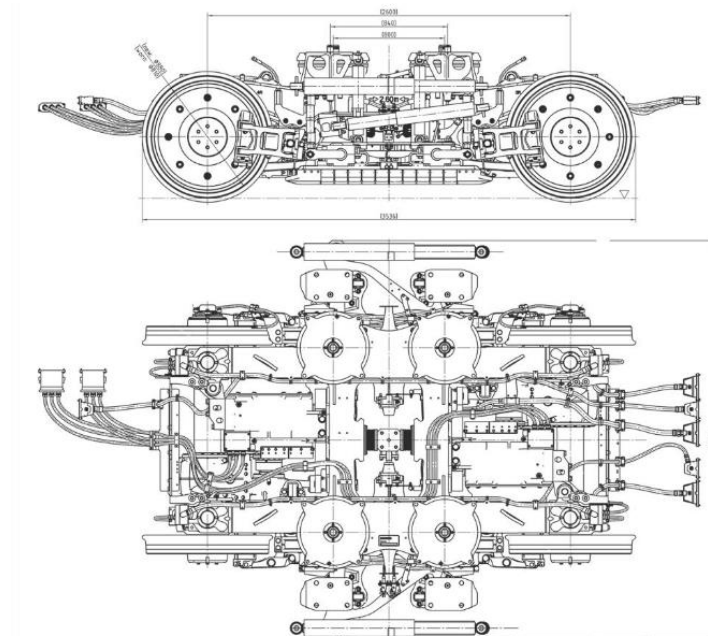


Obrázek 2.7 - Podvozek vozidla RegioShark [1]

### 2.1.3 Podvozky s vnitřním rámem

- **Podvozek SF 7500, Siemens**

Spojením koncepce podvozku s vnitřním rámem a rámem typu Jakobs multiplikuje jeho výhody. Dochází ke snížení hmotnosti nejen použitím vnitřního rámu, ale také zmenšení počtu podvozků na celé vozidlo. Úspora hmotnosti je přibližně 1000 kg. Tento podvozek byl vyvinut z podvozku s vnitřním rámem SF 7000. Tyto podvozky jsou použity v jednotkách Desiro City jezdících ve Velké Británii. Podvozek má rozvor 2600 mm. Průměr dvojkolí je 880/810 mm a minimální rádius, který zvládne na volné trati je 125 m. Vedení dvojkolí je mezi koly. Nápravová ložiska se tak dostávají do oblasti s největším ohybovým momentem, což má vliv na namáhání ložisek. Primární vypružení je tvořeno pryžovými silentbloky. Sekundární je pak tvořeno čtyřmi vzduchovými pružiny. [1][3]



Obrázek 2.8 - podvozek typu Jakobs s vnitřním rámem [3]

## 2.2 Shrnutí poznatků

Při návrhu rámu pro podvozek s vnitřním rámem typu Jakobs je možné vycházet z mnoha řešení a ty nadále kombinovat a vylepšovat.

V první řadě lze rozhodovat o tvaru rámu dle konstrukce. Lze se tedy rozhodovat mezi rámy uzavřenými, otevřenými nebo polouzavřenými. Poté je nutné se rozhodnout, zda rám bude svařovaný, odlitý nebo kombinovaný. Nejtypičtější používané rámy jsou vyrobené svařováním. Výhodou, proč je tato metoda tak oblíbená je, že lze spojit plechy různých tloušťek tak, aby byla dosažena nízká hmotnost, která se odráží v celkovém posouzení podvozku. U svařovaných rámu je také důležité volit správné napojení jednotlivých částí. Odlité rámy jsou používané převážně tam, kde se nehledí na hmotnost. Jsou tedy hojně využívány u nákladních vozů a u některých lokomotiv. Pokud jsou rámy tvořeny touto metodou, je výhodou velkosériovost, a také nižší pracnost na rámu. Kombinované rámy spojují vlastnosti svařovaných, tak odlévaných rámu. Hlavní použití této kombinace je ve spojení složitých tvarů a plechů. Složité tvary jsou odlévané a poté mohou vytvořit společně s plechy celý rám. Složité tvary se dají u kombinovaných podvozků vytvářet také pomocí kování. Pro návrh rámu podvozku je také důležitý výběr materiálu. Podle oblasti provozu musejí některé rámy vydržet namáhání na únavu až do  $-30^{\circ}\text{C}$ . Proto nesmí vrubová houževnatost klesnout pod 27 J. Pokud by tato vrubová houževnatost klesla pod danou hodnotu, mohlo by docházet ke vzniku křehkých lomů. Toto je nutné dodržet i u svarů. Při výběru materiálu je důležitá i jeho cena. Materiály, které mají různé technologické úpravy, zvyšují celkovou cenu. [1]

### 2.2.1 Materiály používané na plechy

Na výrobu rámu jsou vždy, až na výjimky, použity oceli. Pro použití v kolejové dopravě se používají nejčastěji konstrukční oceli s jemnozrnnou strukturou. Konstrukční oceli se zaručenou jemnozrnnou strukturou mají nízký uhlíkový ekvivalent. Jsou vhodné pro náročnější ocelové konstrukce. [4]

Tabulka 1- Mechanické vlastnosti - mez kluzu a pevnosti [5]

Materiál	Minimální mez kluzu $R_{eH}$ [MPa]								Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]		
	$\leq 16$	$>16$ $\leq 40$	$>40$ $\leq 63$	$>63$ $\leq 80$	$>80$ $\leq 100$	$>100$ $\leq 150$	$>150$ $\leq 200$	$>200$ $\leq 250$	$< 3$	$\geq 3$ $\leq 100$	$>100$ $\leq 250$
S355NL	355	345	335	325	315	295	285	275	470-630		450-600
S355J2+N	355	345	335	325	315	295	285	275	510 - 680	470- 630	450-600
S355NLH	355	345	335	-	-	-	-	-	470 - 630	470- 630	-

Tabulka 2 - Mechanické vlastnosti plechů [5]

Materiál	Zkouška rázem v ohybu [J]	
	KV (-50 °C)	KV (-30 °C)
S355NLH	27	-
S355J2+N	-	27
S355NL	27	-

### 2.2.2 Materiály používané na odlitky

Odlitky jsou používány především pro svoje dobré mechanické vlastnosti ve všech směrech. Další výhodou je minimální obrábění nebo následné svařování. Lze vytvořit složité tvary a tím dosáhnout optimalizované součásti. Tyto součásti mohou být například nosič pružin, vedení dvojkolí nebo různé konzole. Na odlitky je většinou používán materiál s označením G20Mn5. Materiál je dále rozdělen dle jeho tepelného zpracování. Tabulka 3 a Tabulka 4 popisuje mechanické vlastnosti materiálu s jeho tepelným zpracováním.

Tabulka 3- Mechanické vlastnosti odlitků - mez kluzu a pevnosti [5]

Materiál	Rp 0,2 min [MPa]			Pevnost v tahu Rm [MPa]		
	tl. 0-30 [mm]	30-100 [mm]	100-200 [mm]	tl. 0-30 [mm]	30-100 [mm]	100-200 [mm]
G20Mn5 +N	300	270	255	500	450	425
G20Mn5 +QT	320	320	275	560	560	480
G20Mn5 +NT	300	270	255	500	450	425

Tabulka 4 - Mechanické vlastnosti odlitků [5]

Materiál	Zkouška rázem v ohybu [J]		Tažnost min. [%]	
	KV (-30 °C)	KV (-40 °C)	do 100 [mm]	nad 100 [mm]
G20Mn5 +N	27	-	20	18
G20Mn5 +QT	50	27	22	19
G20Mn5 +NT	-	27	20	17

### 2.2.3 Materiály používané na výkovky

Materiály používané na výkovky jsou stejné jako materiály použity na plechy. Rozdíl je poté ve zpracování těchto ocelí. Výsledné vlastnosti výkovku jsou odvozené například podle stupně prokování nebo velikosti zrn. Příklady použitých materiálů popisuje Tabulka 5.

Tabulka 5 - Mechanické vlastnosti výkovků [5]

Materiál	Minimální mez kluzu $R_{eH}$ [MPa]								Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]		
	$\leq 16$	$>16$ $\leq 40$	$>40$ $\leq 63$	$>63$ $\leq 80$	$>80$ $\leq 100$	$>100$ $\leq 150$	$>150$ $\leq 200$	$>200$ $\leq 250$	$< 3$	$\geq 3$ $\leq 100$	$>100$ $\leq 250$
S355NL	355	345	335	325	315	295	285	275	470-630		450-600
S355J2+N	355	345	335	325	315	295	285	275	510 - 680	470- 630	450-600

Konstrukce rámu může být inspirována z jednotlivých druhů podvozků typu Jakobs. K řešení této práce může být jako vhodná existující alternativa podvozek SF7500, který je popsán v kapitole 2.1.3. Konstruktivní řešení Jakobsova podvozku s vnitřním rámem je velice komplikované a přináší mnohé úskalí. Na tento podvozek působí velké síly, největší ohybový moment od dvojkolí působí v místě vedení dvojkolí, a také zde není mnoho zástavbového prostoru. Pokud se ale podaří najít řešení, přinese to mnoho benefitů, kde hlavní roli hraje snížení váhy podvozku ale také celé soupravy.



### 3 NÁVRH RÁMU VČETNĚ VÝPOČTU PODLE EN 13749 PRO SVISLÉ A PŘÍČNÉ VÝJIMEČNÉ ZATÍŽENÍ

#### 3.1 Specifikace požadavků

Při vytváření konstrukčního návrhu je potřeba vycházet z nejlepších vlastností, které by měl tento daný systém splňovat. Toto lze dosáhnout specifikováním požadavků. Při navrhování rámu je široký výběr variant, jak danou konstrukci vytvořit. Existuje mnoho kombinací jednotlivých komponent, které budou utvářet výsledný tvar rámu a podvozku. Ovšem určování mnoho typů komponent je spíše určeno pro vytváření konstrukce podvozku. Tato práce je zaměřena na konstrukci rámu podvozku. Tvar rámu bude vycházet z již existujících možností typu podvozku.

Požadavky na rám vycházejí hlavně z materiálu a typu rámu. Materiál při návrhu rámu má velký díl na výsledek. Spadá sem hlavně cena, váha nebo běžnost použití. Materiál také zasahuje do typu rámu. Jak již bylo popsáno, rám může být odlitý, svařovaný nebo kombinovaný. Svařované jsou vhodné při vytváření kusové výroby. Kombinované jsou vhodnější pro větší počet vyráběných kusů. Odlívané rámy jsou mohutné výrobky, které se hodí spíše pro rámy nákladních vozů. Kombinované rámy se mohou lišit v množství použití odlitků, výkovek a plechů. Do typu rámu je bráno i to, jestli bude rám vytvořen pro podvozek s jedním sekundárním vypružením, nebo pro podvozek se dvěma sekundárními vypruženími. Specifikaci jednotlivých požadavků popisuje Tabulka 6.

Tabulka 6 - Specifikace požadavků

Požadavky	Optimální hodnota
<b>Materiál</b>	
Odolnost proti mechanickému namáhání	Vysoká
Cena	Nízká
Svařitelnost	Zaručená
Hmotnost	Nízká
<b>Výroba</b>	
Cena svařování	Nízká
Cena obrábění	Nízká
Cena lakování	Nízká
Cena dodatečné operace	Nízká

### 3.2 Varianty rámu

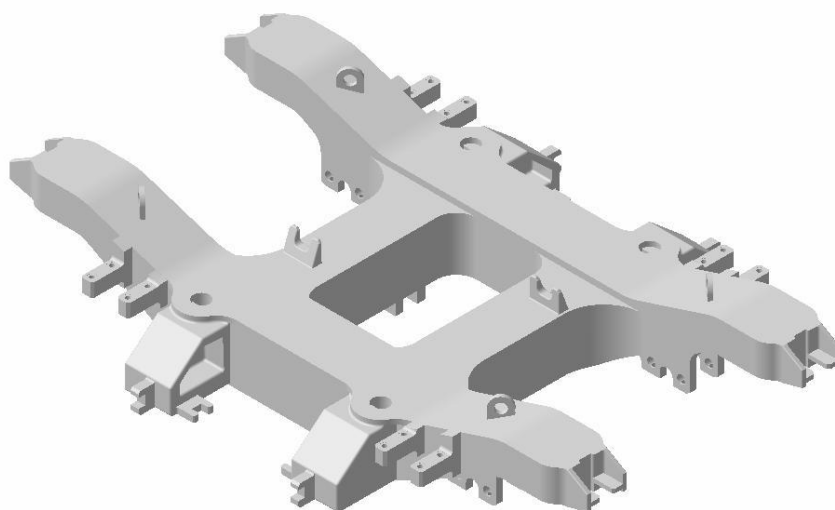
Varianty, které budou popsány a znázorněny jsou ukázkou, jak by daný rám mohl vypadat. Při volení výsledného rámu nehraje roli jeho tvar a prvky, které se zde vyskytnou. To je úlohou návrhu podvozku. Hlavním bodem variant rámu je dán požadavky, které jsou popsány výše. Z varianty budou následně hodnoceny a vybrána nejlepší z nich. Tato varianta rámu pak bude vstupovat do samotné konstrukce a výpočtu rámu. Jednotlivé varianty řešení ukazuje Tabulka 7.

Tabulka 7 - Varianty řešení rámu

	Varianty řešení					
	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D	Varianta E	Varianta F
Typ konstrukce	Dvě sekundární vypružení	Dvě sekundární vypružení	Dvě sekundární vypružení	Jedno sekundární vypružení	Jedno sekundární vypružení	Jedno sekundární vypružení
Typ rámu	Kombinace plechů, odlitek a výkovek	Pouze plechy	Kombinace plechů a odlitek	Kombinace plechů, odlitek a výkovek	Pouze plechy	Kombinace plechů a odlitek
Polotovar	Plech Odlitek	Plech	Plech Odlitek Výkovek	Plech Odlitek	Plech	Plech Odlitek Výkovek
Materiál	Plech: S355NL Odlitek: G20Mn5 +N Výkovek: S355NL	S355NL	Plech: S355NL Odlitek: G20Mn5 +N	Plech: S355NL Odlitek: G20Mn5 +N Výkovek: S355NL	S355NL	Plech: S355NL Odlitek: G20Mn5 +N

- **Varianta A**

Rám varianty A je vytvořen jako rám, který bude používat dvě sekundární vypružení. Celková konstrukce bude pak bude kombinovaná. Rám se bude vytvořen kombinací plechů, odlitek a výkovků. Pro plechy je vybrána ocel S355NL, která má mez kluzu okolo 355 MPa a její vrubová houževnatost je 27 J při teplotě -50 °C (viz Tabulka 2). Plechy budou tvořit převážnou část rámu. Jako odlitky budou vytvořeny vzpěry sekundárního vypružení, konzole tlumičů a vnější nosič pružin. Materiál odlitek je ocel na odlitky G20Mn5 +N. Tato ocel je tepelně zpracovaná normalizačním žiháním, je tak zaručená jemnozrná homogení struktura materiálu. Vrubová houževnatost je 27 J při -30 °C. Smluvní mez kluzu je pro výrobky s tloušťkou stěny do 30 mm přibližně 300 MPa (viz Tabulka 4). Materiál na výkovky je stejný jako materiál plechů. Důležité je ale specifikovat jeho stupeň prokování a velikost zrn, to totiž ovlivní jeho mechanické vlastnosti.



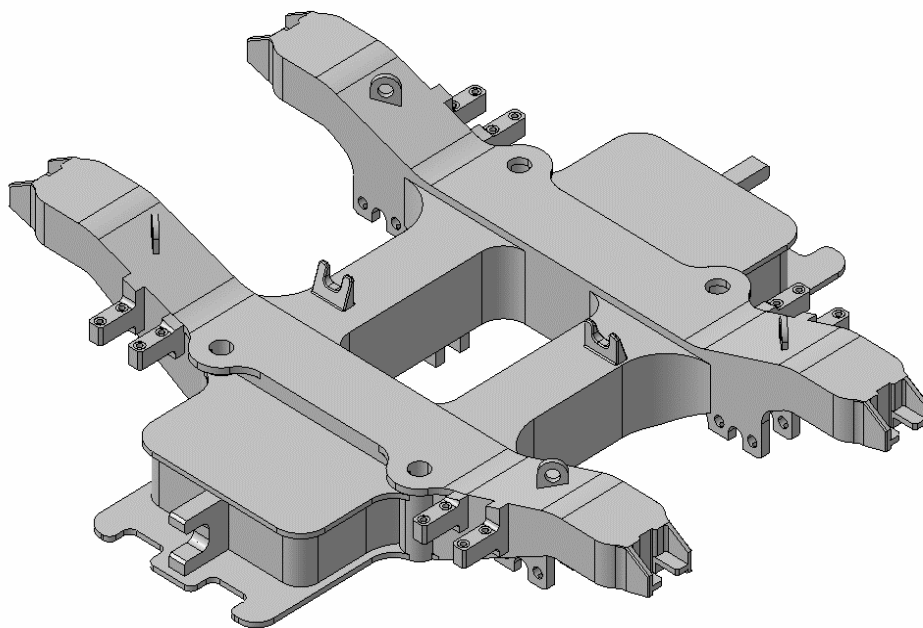
Obrázek 3.1 – Návrh rámu varianty A

- **Varianta B**

Varianta B používá stejně jako předchozí varianta dvojici sekundárního vypružení. Dále je však rozdílná. Hlavním znakem toho rámu je svařovaná konstrukce, která nemá žádné komponenty z odlitků či výkovek. Hlavní polotovar je plech z ocele S355NL.

- **Varianta C**

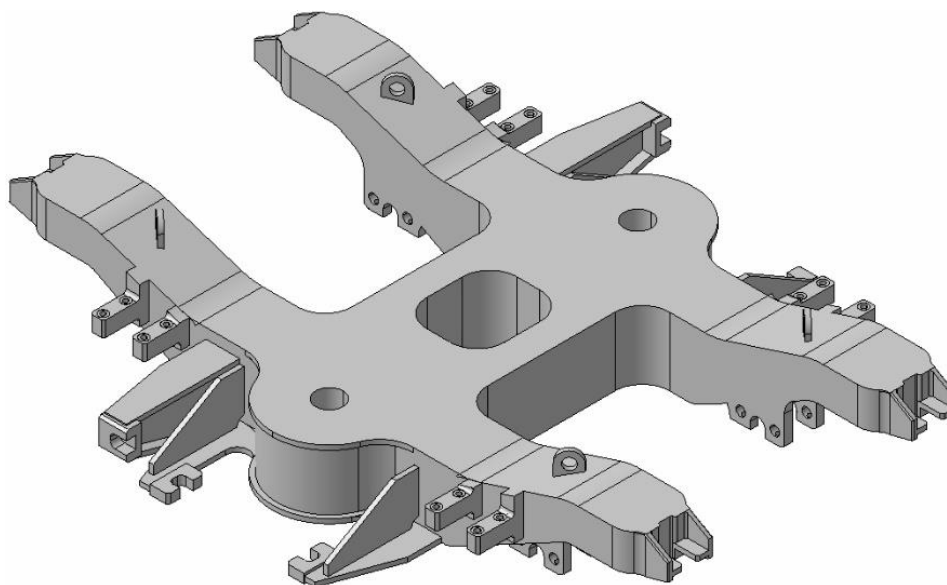
Tato varianta je navržena jako rám, na kterém budou ležet obě části skříně na sekundárních vypruženích. Celková konstrukce však bude kombinovaná. Hlavní části budou vytvořeny z plechů a odlitků. Materiál použit na plechy je ocel S355NL, která má dobré mechanické vlastnosti (viz Tabulka 1). Materiál na odlitek je ocel G20Mn5 +N. Tato ocel je tepelně zpracována normalizačním žíháním. Vrubová houževnatost je 27 J při -30 °C. Smluvní mez kluzu je pak okolo 300 MPa (viz Tabulka 4 a Tabulka 3).



Obrázek 3.2 - Návrh rámu varianty B a C

- **Varianta D, E a F**

Varianty D, E a F jsou rozdílné od předchozích variant typem konstrukce. Jedná se o rám, kde bude pouze jedno sekundární vypružení a na něm uložena jedna skříň vozu. Druhá skříň bude spojena s první skříní vozu. Jednotlivé varianty rámu jsou typem rámu stejné jako předchozí varianty. Jelikož tyto rámy budou mít jen jedno sekundární vypružení, rám podvozku má o jednu plochu na pružiny méně. Tím se redukuje hmotnost, zástavbový prostor a plochy na obrábění. Tento rám je díky jedním sekundárním pružinám jednodušší ale zároveň přináší složitost v zatížení rámu a další manipulace.



Obrázek 3.3 - Návrh rámu varianty D, E a F

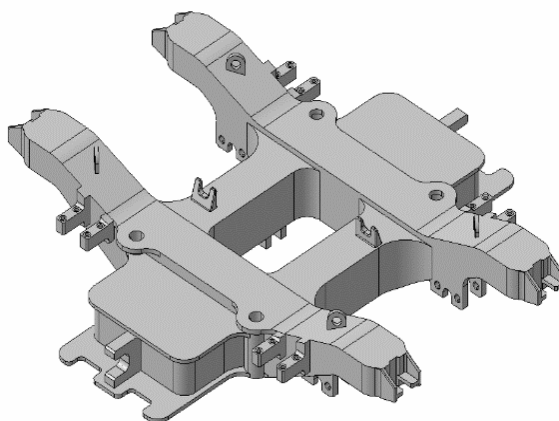
### 3.3 Hodnocení variant

Hodnocení jednotlivých variant je provedeno dle zvolených požadavků. Hodnocení je ve škále od 1 do 5, kde 5 je nejlepší hodnocení a 1 nejhorší. Po hodnocení každé specifikace je proveden součet hodnot. Varianta, která má největší počet bodů, je nejlepší.

Tabulka 8 - Hodnocení variant [6]

Požadavky	Hodnocení variant					
	A	B	C	D	E	F
Odolnost proti mechanickému namáhání	4	3	4	2	2	2
Cena materiálu	3	4	4	3	4	4
Svařitelnost	5	5	5	5	5	5
Hmotnost	3	3	4	4	4	5
Cena obrábění	4	3	4	4	4	5
Cena svařování	3	2	4	3	2	4
Cena dodatečné operace	4	3	4	4	3	4
Inovativní řešení	2	4	4	3	4	2
<b>Celkový počet bodů (max.40 bodů)</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>33</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>31</b>

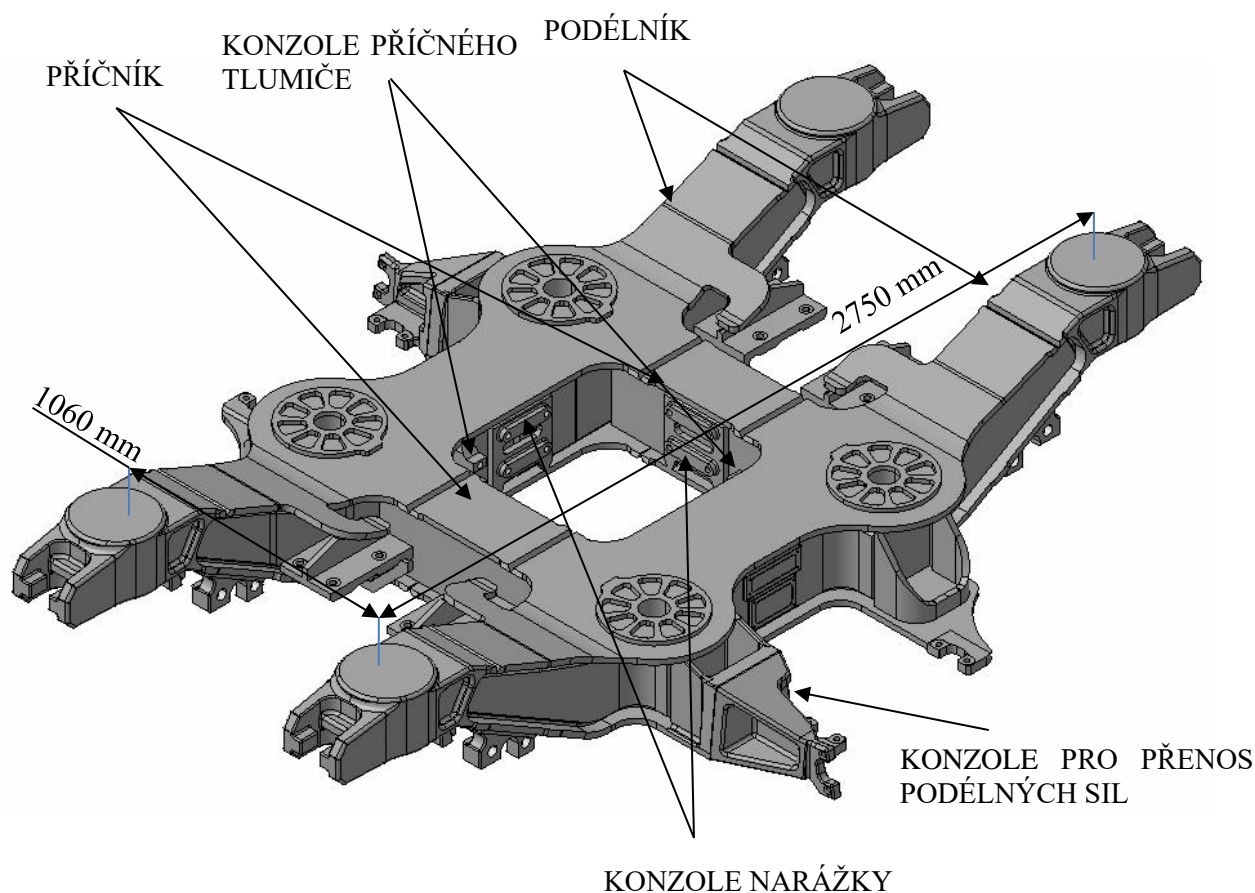
Při vyhodnocování variant byl kladen důraz na materiál a výrobu daného rámu. Tvar a koncepce vychází z používaných podvozků dle zadání. Varianta C vyšla z tohoto vyhodnocení nejlépe. Při vyhodnocování hráli roli nepatrné rozdíly. Jelikož je tato varianta tvořena kombinací odlitků a plechů, je možno předpokládat, že cena materiálu vzroste. Pokud je ale velké množství rámu, které se bude vyrábět, náklady se budou snižovat. Hmotnost podvozku bude nízká, a to díky tvarům, které lze dosáhnout. Lze tak vytvořit dobré využití materiálu. Rám bude také díky odlitkům dobře složitelný a tím se zredukuje i cena výroby. Z části odpadá svařování plechů do složitých součástí. Varianta C vstupuje dále do konstrukčního řešení a výpočtu rámu. Varianty D, E a F jsou nevyhovující. Je to dané tím, že pouze dvě sekundární pružiny by nesnesly takové zatížení, jaké bude předpokládáno.



Obrázek 3.4 - Koncepční návrh nejlépe hodnocené

### 3.4 Konstrukční návrh rámu

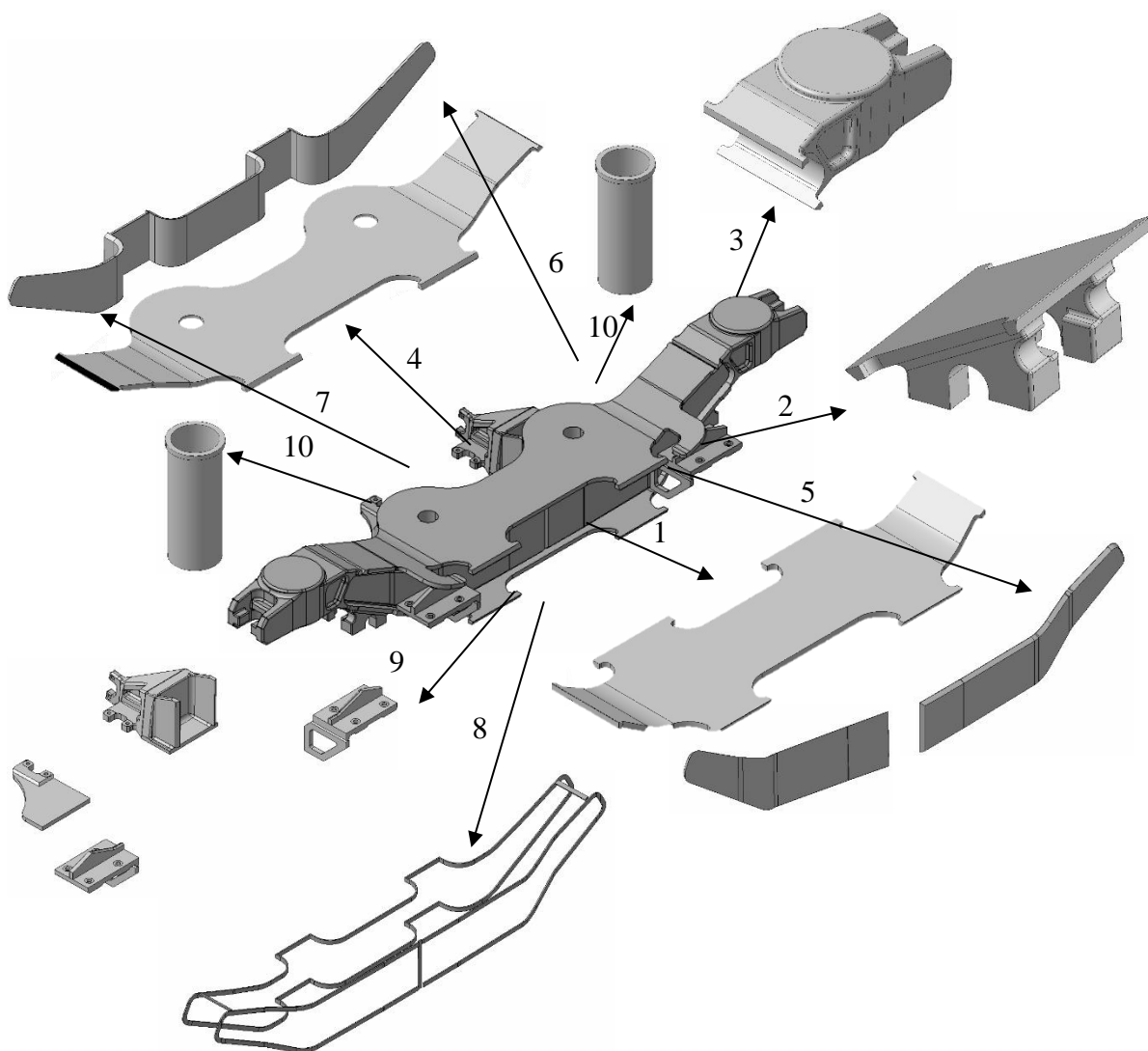
Konstrukce vnitřního rámu typu Jakobs se liší od konstrukce běžného rámu. Jedná se primárně o velikost rámu, počet komponent a jejich připevnění. Jelikož tento podvozek nahradí dva běžné, jsou na rámu vytvořené místa na dva páry sekundárních pružin a svislých tlumičů. Podvozek bude opatřen dvěma páry podélných tlumičů. Na rámu však budou připevněny jen dva tlumiče. Zbylé dva pak budou připevněny mezi vozy. Příčné tlumiče budou mít konzole připevněné na příčnících. Rám má rozvor 2750 mm. Rám je použit na dvojkolí s normálním rozchodem kol 1435 mm. Tento vnitřní rám má vzdálenost os pružiny tak, aby se vešel mezi toto dvojkolí. Hodnota je 1060 mm. Podélníky, které jsou popsány dále, jsou spojeny pomocí dvou příčníků. Příčník rámu je konstruován jako skříňový nosník. Je tvořen z plechů, které jsou svařeny dohromady s podélníky. Na příčnících jsou navařeny konzole příčných tlumičů a konzole pro přenos podélných sil.



Obrázek 3.5 - Konstrukční návrh rámu

### 3.4.1 Podélník

Podélník rámu je kombinovaná svařovaná konstrukce z plechů a odlitků. Podélník je tvořen jako nosník skříňového průřezu. Je tvořen z horní pásnice, dolní pásnice a stojin. Spodní pásnice je svařena ze spodního plechu (poz.1), konzole vedení dvojkolí (poz.2) a nosiče pružin (poz.3). Konzole vedení dvojkolí a nosič pružin je vytvořen jako odlitek. Celá spodní pásnice je svařená samostatně pomocí V svarů, které jsou podloženy svary. Na spodní straně bude působit tahové napětí, a proto je zde nutné dbát na kvalitu spojení jednotlivých dílů. Horní pásnice (poz.4) a stojiny (poz.5, 6, 7) jsou svařeny ke spodní pásnici pomocí svarových podložek (poz.8). Dále jsou na podélník navařeny konzole pro svislé, podélné tlumiče a brzdy (poz.9). Samostatná konzole pro svislý tlumič je vyztužena žebry. Na podélníku jsou také připevněné držáky brzd (poz.9). Na místech uložení sekundárního vypružení budou navařeny výztuhy (poz.10).

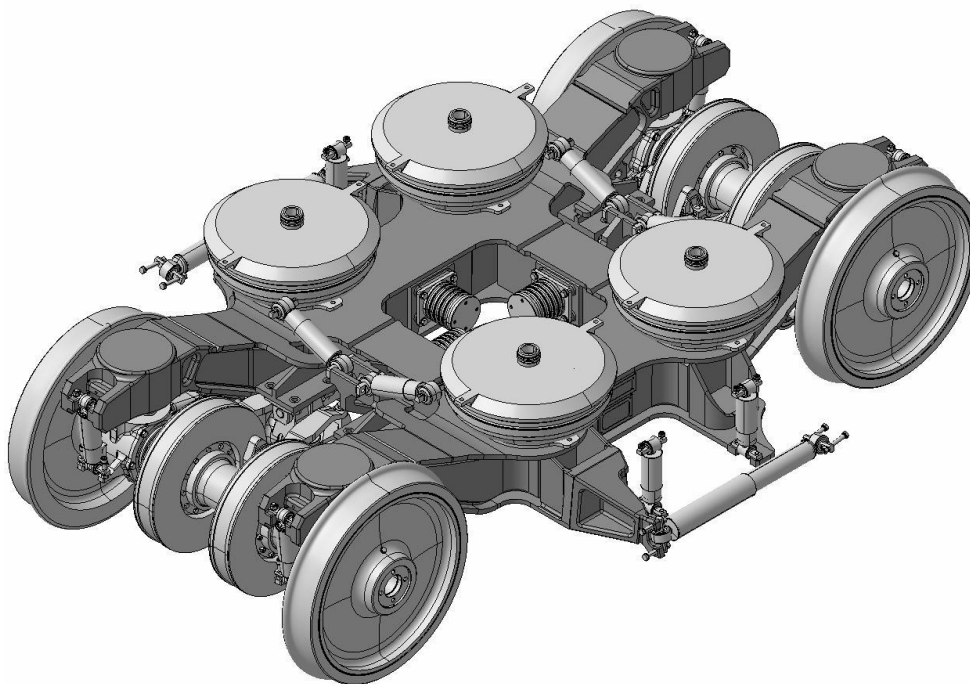


Obrázek 3.6 - Rozpad podélníku

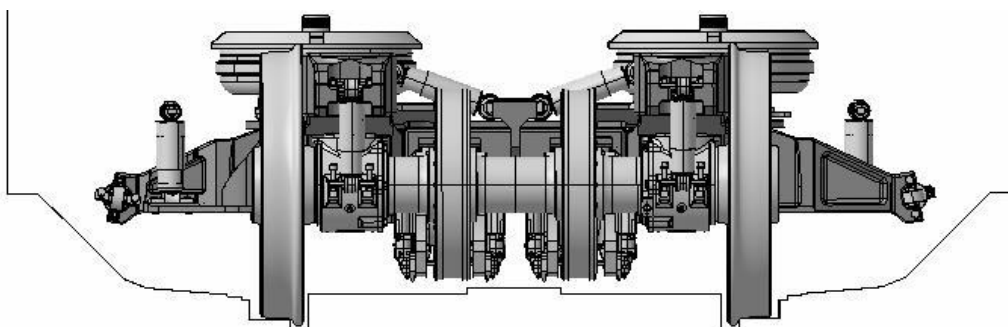


### 3.4.2 Sestava rámu v podvozku

Navržený rám podvozku musí splňovat všechny požadavky, které byly zadány. Je proto nutné výsledný rám konstruovat podle dílů, které budou na rám připevněny. Tyto díly nesmí být vzájemně v kolizi. Na následujícím obrázku je znázorněna sestava podvozku se základními díly. Dále je nutné při návrhu, aby se rám vešel do průjezdného obrysu. Prostor rámu v průjezdném prostoru je na Obrázku 3.8.



Obrázek 3.7 - Zastavěný prostor rámu



Obrázek 3.8 - Průjezdný obrys

### 3.5 Výpočet rámu dle EN 13 749

Při navrhování rámu je důležité splnit všechny požadavky na výsledný podvozek. Pro stanovení metody, jak uspokojit konstrukční požadavky je použita norma EN 13 749. Norma popisuje, jak vytvořit výpočet a následnou zkoušku rámu. Ve spisu jsou uvedeny jednotlivé klasifikace podvozků od B-I do B-VII (viz Tabulka 9). Jednotlivé specifikace udávají, na jaký typ vozidla bude podvozek použit. Každá klasifikace je daná konstrukčními požadavky a podle nich jsou voleny zátěžné síly. [7]

Tabulka 9 - Klasifikace podvozků [7]

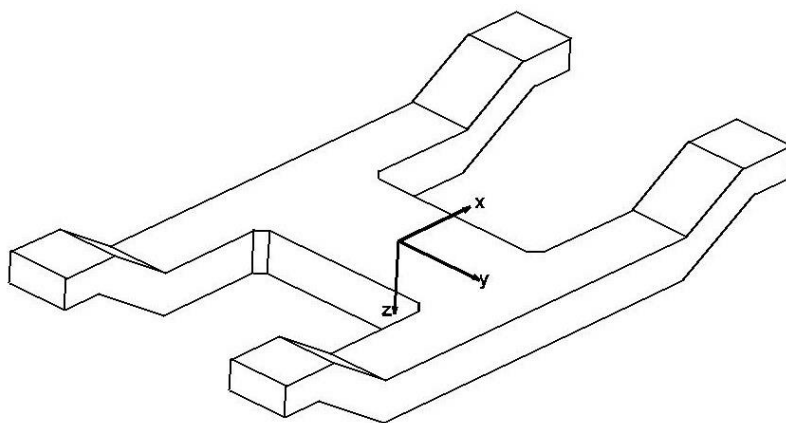
Klasifikace podvozku	
<b>Kategorie B-I</b>	Podvozky kolejových vozidel celostátních drah a meziměstské přepravy cestujících, včetně vysokorychlostních a velmi rychlých vozidel, motorových i bezmotorových
<b>Kategorie B-II</b>	Podvozky pro osobní vozy městské a předměstské dopravy, motorové i bezmotorové
<b>Kategorie B-III</b>	Podvozky motorových i bezmotorových kolejových vozidel metra a rychlodrah
<b>Kategorie B-IV</b>	Podvozky kolejových vozidel lehké stavby a tramvají
<b>Kategorie B-V</b>	Podvozky nákladních vozů s jednostupňovým vypružením
<b>Kategorie B-VI</b>	Podvozky nákladních vozů s dvojestupňovým vypružením
<b>Kategorie B-VII</b>	Podvozky lokomotiv

Při výpočtu je důležité si uvědomit jaký druh zatížení bude použit. Ve skutečnosti je mnoho druhů zatížení a jejich kombinace. Tyto zatížení jsou od: hmotnosti nesené skříň vozidla, zahrnujících všechny užitečné zatížení; změny užitečného zatížení; nepravidelnosti koleje; projíždění oblouky; zrychlování a brzdění; přerušování používání užitečného zatížení; menšího vykolejení; nárazů nárazníků; extrémních podmínek okolního prostředí; poruchových stavů; stavů při údržbě. Pro zjednodušení se zavádí dva hlavní typy zatížení, která popisují zjednodušeně účinky vyvolané při jízdě podvozku. Výsledné dva typy jsou pak popsány jako výjimečné nebo běžné zatížení. [7]

Tato práce pro výpočet uvažuje, že podvozek bude patřit do kategorie B-II. Dále je určen výjimečný druh zatížení. Do výpočtu bude dle specifikace vstupovat svislé a příčné výjimečné zatížení.

### 3.5.1 Specifikace zatěžujících sil

Při specifikaci jednotlivých zatěžujících sil je myšleno na daný souřadnicový systém (viz Obrázek 3.9). Dle tohoto souřadnicového systému se označují jednotlivé síly. Pro všechny svislé síly platí index  $z$ , a pro všechny příčné síly platí index  $y$ . Pro určení zátěžných sil je vycházeno z normy EN 13 749. Zde jsou předepsány jednotlivé výpočty, jak určit zatěžující síly. Jsou zde také dané jednotlivé hodnoty, jako je hmotnost vozidla v provozním stavu či výjimečné konstrukční zatížení. Tyto hodnoty nejsou známy. Avšak v zadání jsou dány hodnoty, které pro výpočet zatěžujících sil jsou přesnější. Ve výpočtu budou proto použity tyto hodnoty, které jsou v souladu s normou.



Obrázek 3.9 - Souřadnicový systém

- **Svislé zatěžující síly**

Svislé síly jsou počítané na každý podélník. Norma EN 13 749 udává výpočet pro dva běžné podvozky na jednu skříň vozidla. [7]

Nicméně pro výpočet svislé zatěžující síly pro Jakobsův podvozek bude muset být výpočet upraven. Následující výpočet je dělán vzhledem k normě EN 13 749 ale protože jsou v zadání jiné veličiny, musí být výpočet modifikován. Určení svislé zatěžující síly bude vycházet z vypružených a nevypružených hmot, a také ze zatížení na nápravu plně zatíženého vozu.

Zadané hodnoty:

Nevypružené hmoty –  $m_{hn} = 2\,750$  kg

Jednou vypružené hmoty –  $m_{hv} = 2\,650$  Kg (včetně rámu podvozku - 1 875 kg)

Zatížení na nápravu (EL F) –  $m_n = 18\,000$  kg / náprava

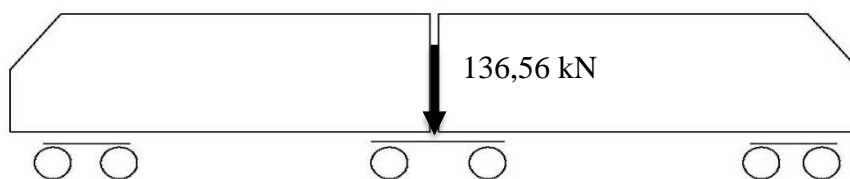
Svislá síla na podélník –  $F_{z1max} = F_{z2max}$  [kN]

$$F_{z1max} = F_{z2max} = \frac{F_{zmax}}{2} = \frac{g \cdot (2 \cdot m_n - m_{hv} - 2 \cdot m_{hn})}{2}$$

$$F_{z1max} = F_{z2max} = \frac{9,80665 \cdot (2 \cdot 18\,000 - 2\,650 - 2 \cdot 2\,750)}{2}$$

Tabulka 10- Svislé síly na podélníky

Zatížení rámu	Podvozek Jakobs
Zatížení na celý rám $F_{zmax}$ [kN]	273,12
Zatížení na jeden podélník $F_{z1max}=F_{z2max}$ [kN]	136,56



Obrázek 3.10 – Rozložení svislých sil

- **Příčné zatěžující síly**

Příčné zatěžující síly působí na příčné narážky, například při průjezdem zatáčkou. Příčné síly tedy působí v kladném směru  $y$  i v záporném směru  $y$ . Výpočet příčné zatěžující síly je počítán dle Prud'homovi mezní hodnoty. Ve výpočtu je zahrnuta hmotnost vystrojeného vozidla a mimořádné zatížení. [1]

Následující výpočet příčné síly je upravený dle zadaných hodnot. Ze zatížení na jednu nápravu při plně obsazeném voze lze odvodit hmotnost vozidla s mimořádným zatížením.

Zadané hodnoty:

Zatížení na nápravu (EL F) –  $m_n = 18\,000$  kg / náprava

Příčná síla působící na rám –  $F_{y\max}$  [kN]

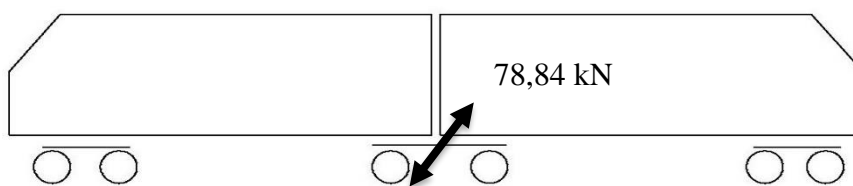
$$\frac{F_{y\max}}{2} = 10^4 + \frac{(2 \cdot m_n) \cdot g}{12}$$

$$F_{y\max} = 2 \cdot 10^4 + \frac{(2 \cdot m_n) \cdot g}{6}$$

$$F_{y\max} = 2 \cdot 10^4 + \frac{(2 \cdot 18\,000) \cdot 9,80665}{6}$$

Tabulka 11- Příčné síly na podvozky

Zatížení rámu	Podvozek Jakobs
Zatížení na celý rám $F_{y\max}$ [kN]	78,84



Obrázek 3.11 - Rozložení podélných sil

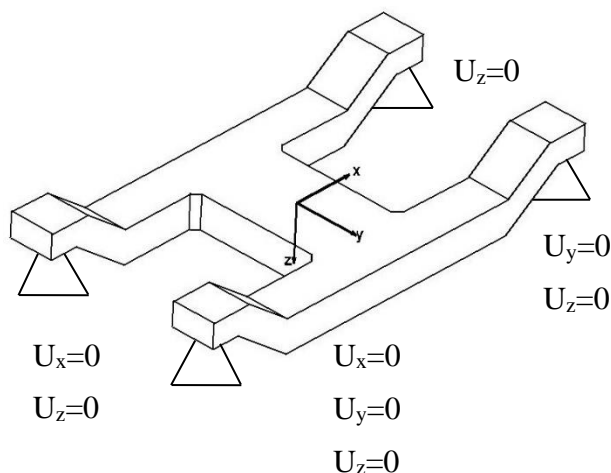
### 3.5.2 Výpočet rámu metodou konečných prvků

Při výpočtu je důležité určit vazby, jak bude rám upevněn. Dle zvyklostí je rám vazben v místě dosedání primární pružiny. Vazby tedy připadnu na vnitřní stranu nosiče pružin. Pomocí vazeb jsou odstraněny stupně volnosti ve směru x, y a z. Ve směru z jsou vazbeny všechny plochy dosednutí pružin. Ve směru y jsou vazbeny čepy pružiny, a to pouze jeden pár pružin na delší straně rámu. Směr x je zavazben také na čepch jednoho páru pružin ale na kratší straně rámu. Odebrání stupňů volnosti ukazuje Obrázek 3.12. Dále je nutné určit působení sil na rám. Příčné a svislé síly bodu působit na jiných místech.

V praxi bývá obvyklé počítat více kombinací zatěžovacích stavů. Tyto stavy jsou většinou počítané zvlášť. Poté jsou určeny jednotlivé tenzory napětí a ty jsou sečteny. Z těchto součtu je pak určeno výsledné napětí. Tato práce se omezuje právě na dva stavy. V tomto případě se jedná jen o dvě možné kombinace. První kombinace je zatížení svislého a příčného v kladném směru y. Druhá kombinace je zatížení svislého a příčného v záporném směru y. Druh zatížení ukazuje Tabulka 12. Pro tuto práci budou kombinace sil počítané v jednom výpočtovém modelu. Výsledné napětí je také korektní.

Tabulka 12- Druh zatížení na rám

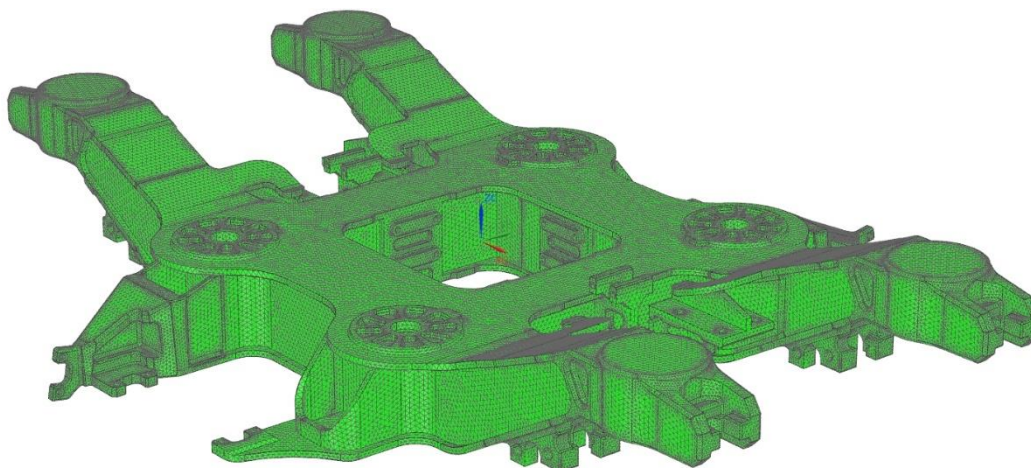
Druh zatížení	$F_z$	$F_y$
1	$F_{zmax}$	$+F_{ymax}$
2	$F_{zmax}$	$-F_{ymax}$



Obrázek 3.12 - Odebrání stupňů volnosti

- **Výpočtový model**

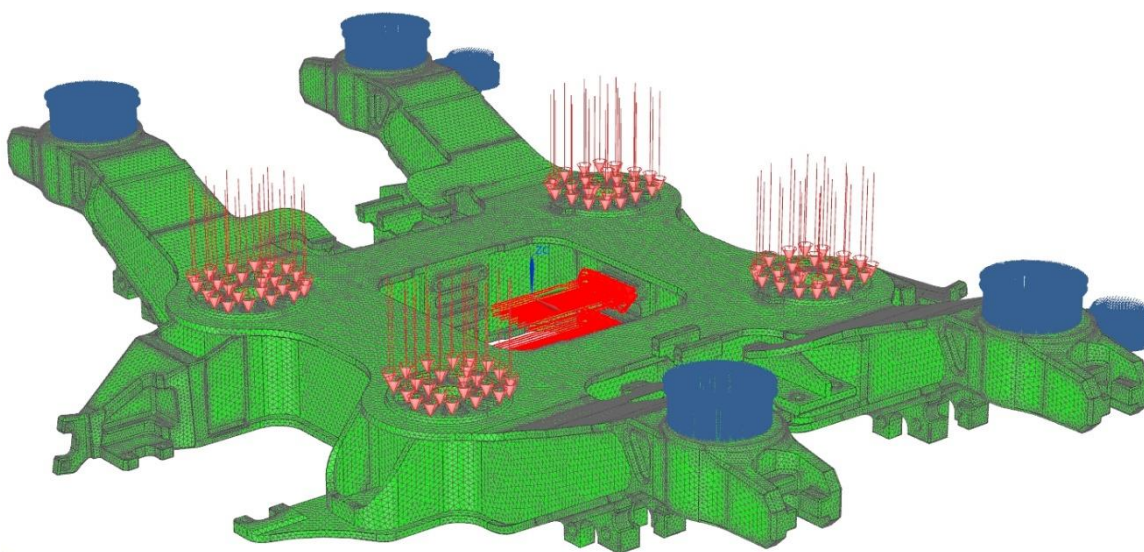
Pro výpočet rámu je použit program Siemens NX 12.0. Zde je model zasít'ovaný a následně i vypočítaný. Model rámu byl zbaven základních částí, které neovlivňují výpočet. Jedná se například o nosiče štítků. Dále byl rám upraven tak, aby proběhlo korektní zasít'ování. Pro tvorbu sítě byli použity prvky typu CTETRA(10).



Obrázek 3.13 - Zasít'ovaný model rámu

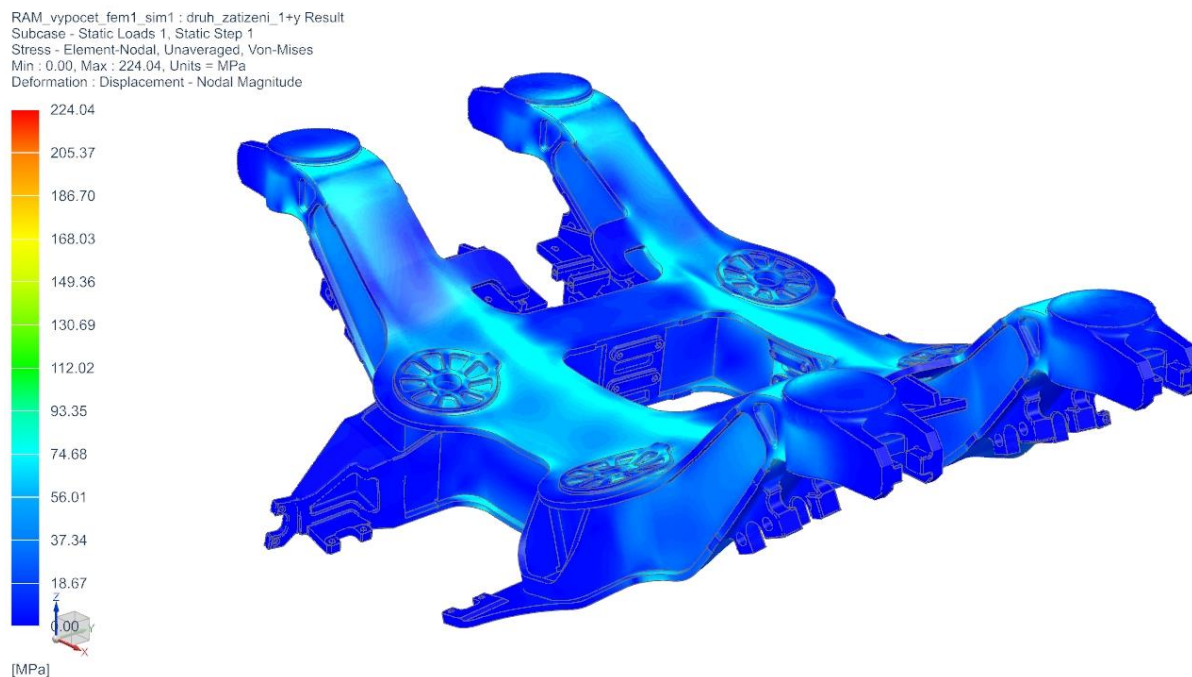
- **Zatížení č.1**

Svislé zatížení působí na každý podélník. Působíště je na dosedacích místech sekundárních pružin. Síla, která bude působit na každý nosník vychází z předchozího výpočtu pro svislé zatížení. Příčná síla působí na konzoli příčné narážky v kladném směru y. Nastavení výpočtu znázorňuje Obrázek 3.14.



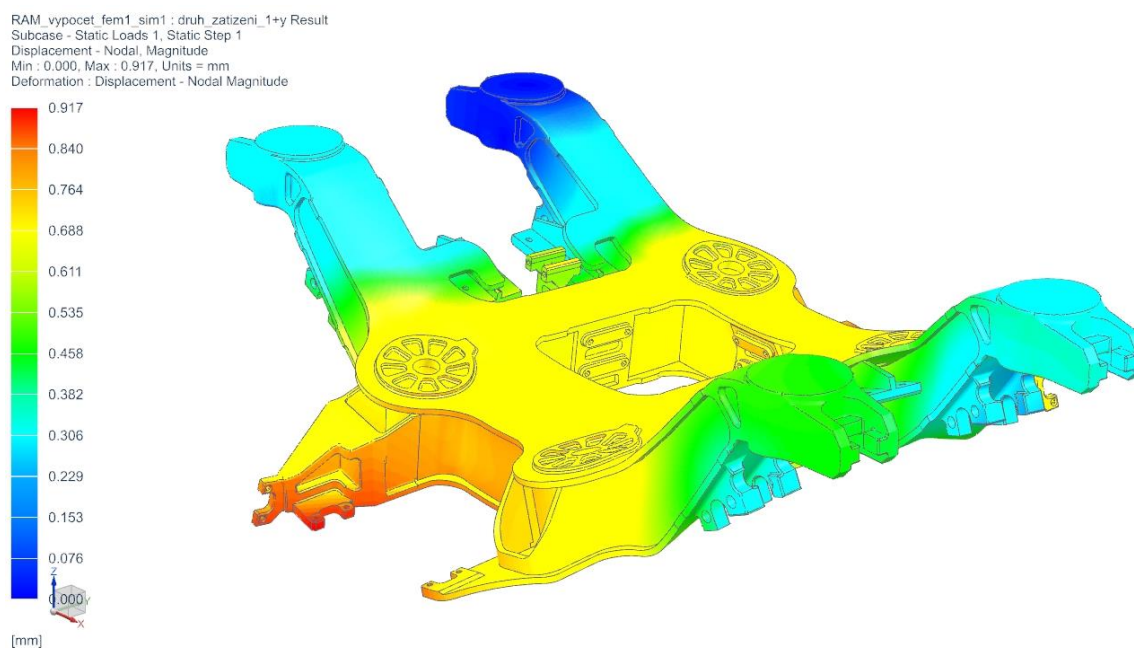
Obrázek 3.14 - Výpočtový model od zatížení č.1

Výsledky výpočtu jsou znázorněny pomocí napětí a deformace rámu. Výsledné maximální napětí, které se vyskytne na modelu rámu při zatížení č.1 je rovno 224,04 MPa viz Obrázek 3.15.



Obrázek 3.15 - Průběh napětí od zatížení č.1

Maximální deformace, která je zde naměřena, je rovna 0,917 mm. Průběh deformace rámu je znázorňuje Obrázek 3.16.

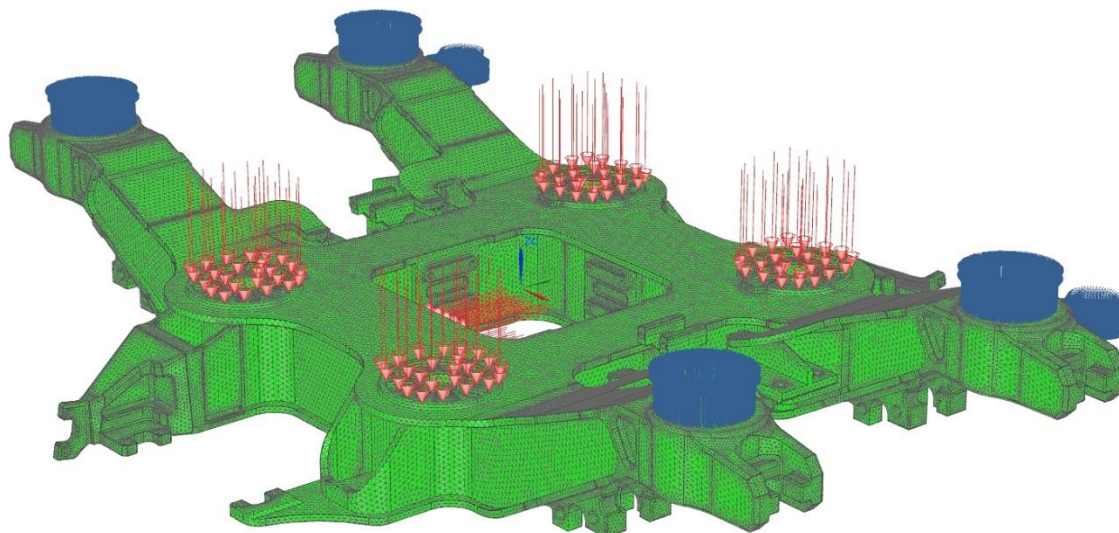


Obrázek 3.16 - Průběh deformace od zatížení č.1



- **Zatížení č.2**

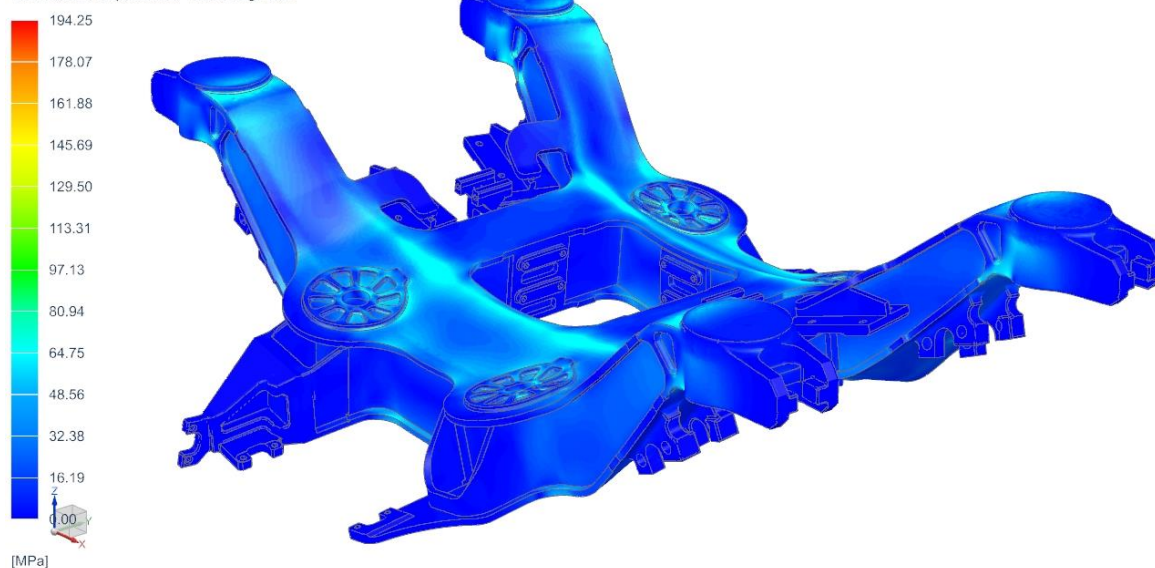
Zatížení č.2 je od prvního zatížení rozdílné ve směru, kde působí příčná síla. Ta působí na konzoli příčné narážky na druhé straně rámu. Svislá síla působí na stejném místě jako v předchozím případě. Nastavení výpočtu viz Obrázek 3.17.



Obrázek 3.17 - Výpočtový model od zatížení č.2

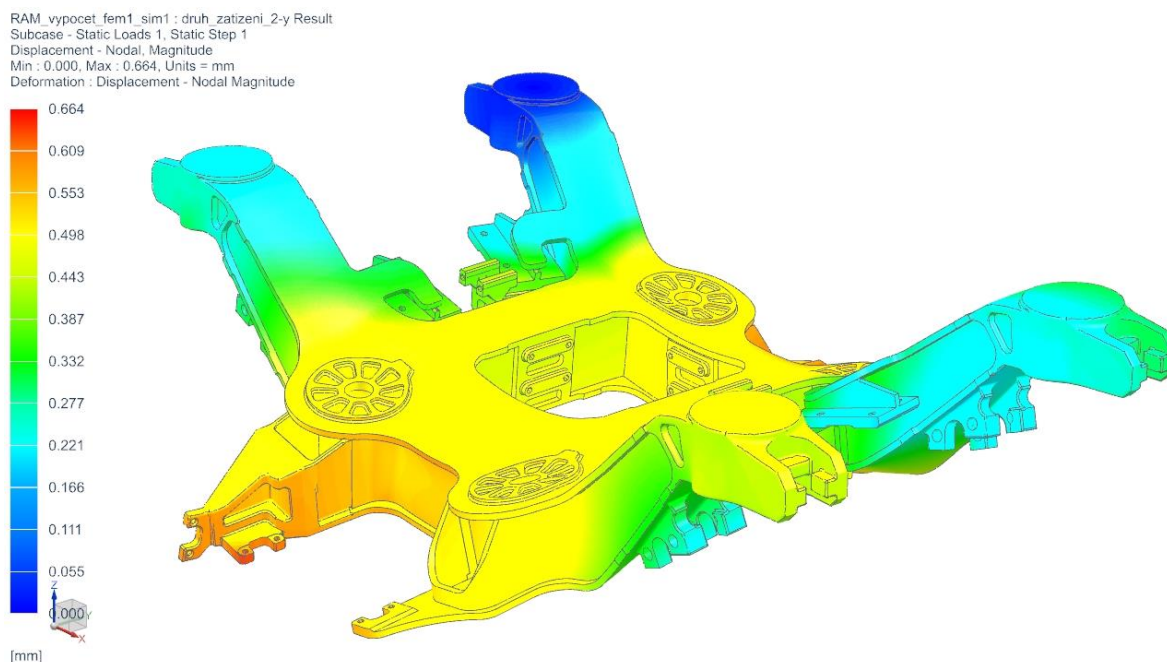
Pro toto zatížení je výsledné maximální napětí rovno 194,25 MPa. Toto napětí je menší než při zatížení č.1. Tento rozdíl způsobuje, jak je rám zavazben. Průběh napětí znázorňuje Obrázek 3.18.

RAM\_vypocet\_fem1\_sim1 : druh\_zatizeni\_2-y Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 194.25, Units = MPa  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 3.18 - Průběh napětí od zatížení č.2

Průběh deformace od této síly ukazuje pak Obrázek 3.19. Maximální hodnota deformace je 0,664 mm. Deformace je též nižší než v předchozím případě.



Obrázek 3.19 - Průběh deformace od zatížení č.2

Při vyhodnocení zátěžných stavů lze posuzovat maximální deformaci a napětí. Tabulka 13 shrnuje výsledky výpočtů. Větší napětí i deformace je v zatížení č.1. Tento rozdíl je vyvolaný nesymetrickým zavazbením rámu. Právě větší napětí bude následně vstupovat do kontroly vhodnosti rámu.

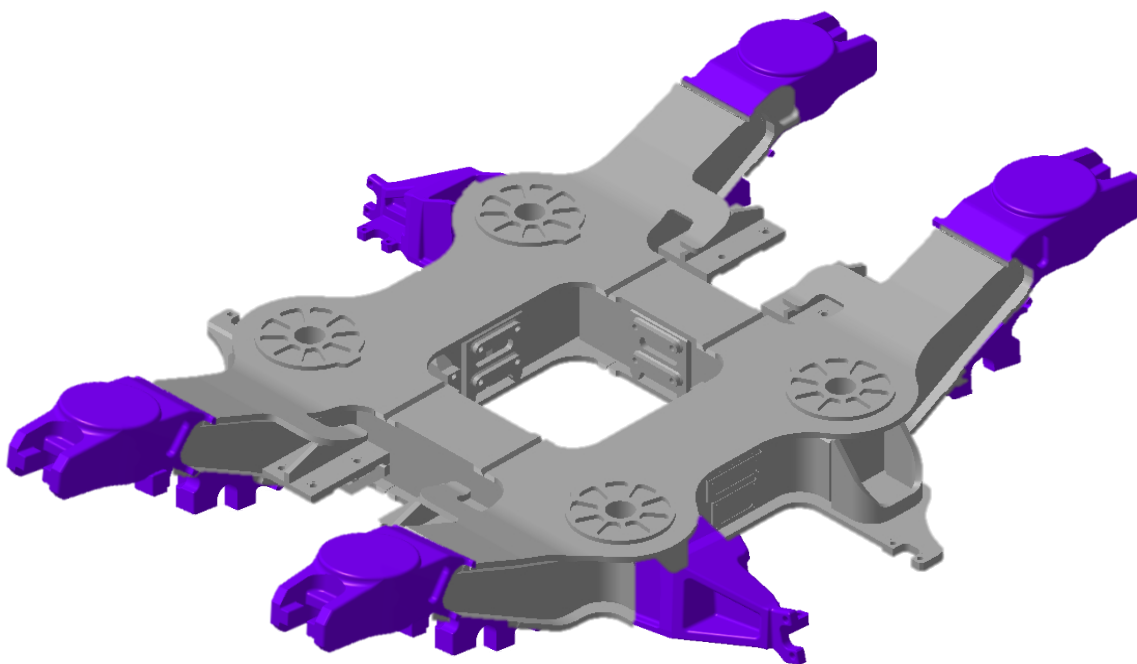
Tabulka 13 – Výsledné napětí

	Napětí $\sigma_c$ [MPa]	Deformace l [mm]
Zatížení č.1	224,04	0,917
Zatížení č.2	194,25	0,664
Rozdíl	29,79	0,273

### 3.5.3 Vyhodnocení výsledků

Rám kolejového vozidla musí vydržet maximální zatížení v souladu s provozními požadavky. Tato práce se zabývá výjimečnými stavy, proto se musejí zohlednit požadavky na statickou pevnost. Je to stav, kdy musí rám zůstat plně funkční i při výjimečném zatížení. Je nutné určit, že při výjimečném zatížení rámu nedojde k trvalé deformaci, nestabilitě nebo lomu konstrukce. [7]

Při vyhodnocení potřeba zohlednit jaký polotovár je na určitých místech rámu použit. Druhem polotovaru budou rozlišné mechanické vlastnosti. Na Obrázku 3.20 jsou fialovou barvou zvýrazněny použité odlitky. Šedivá barva je barva, kde budou použity na díly plechy.



Obrázek 3.20 - Rozmístění odlitků a plechů na rámu

- **Trvalá deformace**

Kritérium pro tuto pevnost je, že nedochází k trvalé deformaci. Pro stanovení statického napětí, které se nemá překročit je dán vzorec, který je popsán níže. Vychází se z meze kluzu materiálu, zjištěného napětí a bezpečnostního součinitele. Tento součinitel by neměl být menší než 1. [1]

Do výpočtu bude vstupovat napětí, které vyšlo větší. V tomto případě se jedná o napětí od zatížení č.1 viz Tabulka 13. Ve výpočtu je dále specifikována mez kluzu nebo smluvní mez kluzu materiálu. Ta je volena podle materiálu, který bude použit na rám. Z materiálů, které budou použity, má menší mez kluzu, respektive smluvní mez kluzu, materiál G20Mn5+N. Při výpočtu bude uvažováno využití prvku rovné 1. Proběhne kontrola, zda je bezpečnostní součinitel větší než 1.

Zadané hodnoty:

Zjištěné napětí –  $\sigma_c = 224,04$  MPa

Smluvní mez kluzu materiálu –  $R_{p0,2} = 300$  MPa

Bezpečnostní součinitel –  $S_1$

Využití prvku –  $U$

$$U = \frac{\sigma_c \cdot S_1}{R_{p0,2}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_c \cdot S_1}{R_{p0,2}} = 1$$

$$S_1 = \frac{R_{p0,2}}{\sigma_c} \geq 1$$

$$S_1 = \frac{300}{224,04} = 1,34 \geq 1$$

Výsledek výpočtu ukazuje, že výsledná bezpečnost je větší než jedna. Splňuje tak požadavky na vytvoření rámu dle normy EN 13 749 vzhledem trvalé deformaci.

- **Mez pevnosti a stability**

Dalším kritériem, pro stanovení vhodnosti rámu vzhledem statické pevnosti, je mez pevnosti a stability. Musí se zjistit míra bezpečnosti mezi maximálním zjištěným napětím a mezí pevností materiálu. Bezpečnostní součinitel zde nesmí být menší než hodnota 1,5. [1]

Do výpočtu bude opět vstupovat materiál G20Mn5+N. Tentokrát se jedná o jeho mez pevnosti. Dále zde bude maximální napětí ze zatížení č.1. Využití prvku je nastaven opět na 1 a je počítána hodnota bezpečnostního součinitele.

Zadané hodnoty:

Zjištěné napětí –  $\sigma_c = 224,04$  MPa

Mez pevnosti materiálu –  $R_m = 500$  MPa

Bezpečnostní součinitel –  $S_2$

Využití prvku –  $U$

$$U = \frac{\sigma_c \cdot S_2}{R_m} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_c \cdot S_2}{R_m} = 1$$

$$S_2 = \frac{R_m}{\sigma_c} \geq 1,5$$

$$S_2 = \frac{500}{224,04} = 2,23 \geq 1,5$$

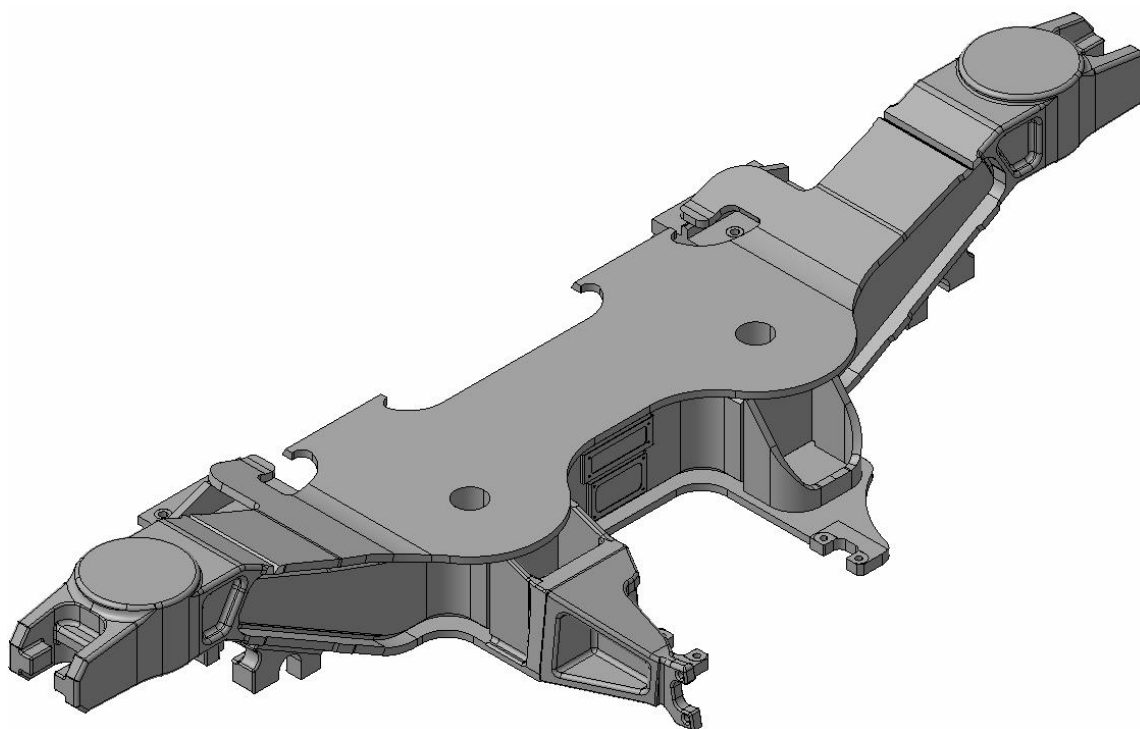
Výsledek výpočtu i v tomto případě vyhovuje. Splňuje tak požadavky na mez pevnosti a stability. Materiál též splňuje požadavky na statickou pevnost dle normy EN 13 749. [7]

## 4 3D MODEL RÁMU VČETNĚ SVAROVÝCH SPOJŮ

Jednotlivé díly rámu jsou k sobě svařeny. Jednotlivé komponenty jsou svařeny zvlášť z jednotlivých dílů a následně jsou kompletovány do celkového rámu. Po každém zavaření dílu je potřeba tento díl rovnat a obrábět tak, aby byl výsledný tvar mohl být použit do další sestavy.

### 4.1 Podélník

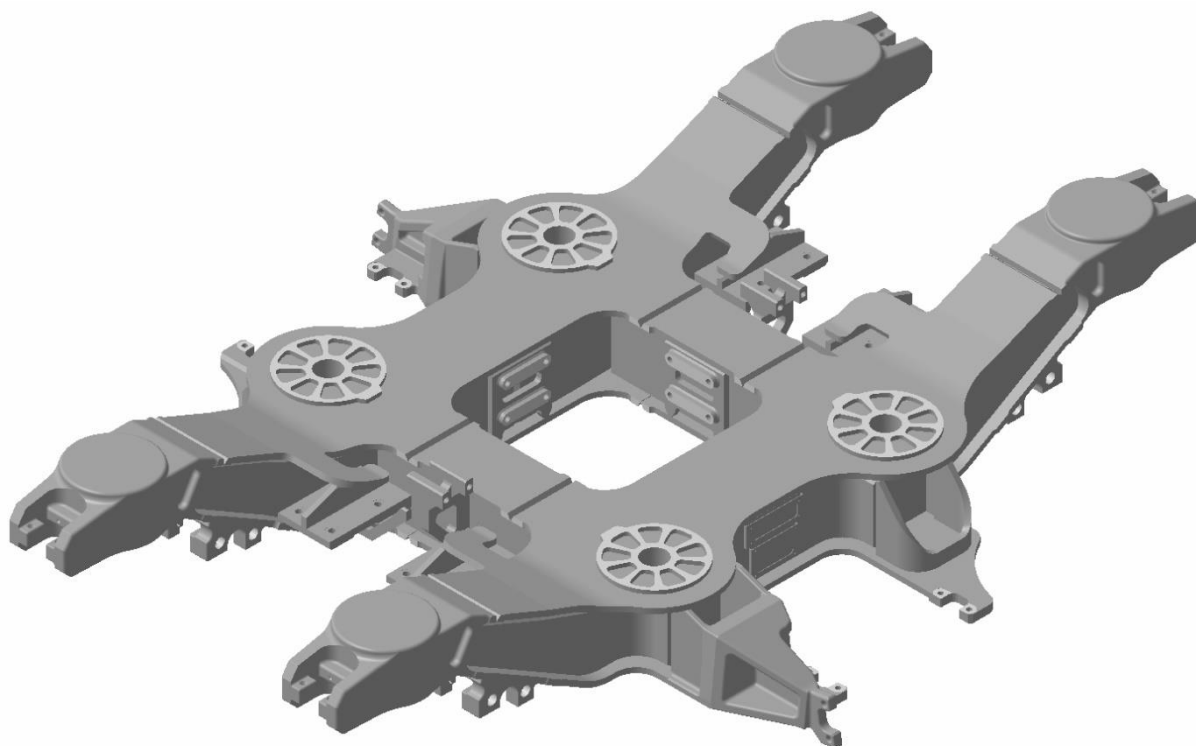
Podélník je sestaven z několika částí. Některé jsou předem svařeny a připraveny na sestavení. Hlavní díly podélníku jsou dolní pásnice, horní pásnice, levá a pravá bočnice, konzoly tlumičů a brzd, a v neposlední řadě svarové podložky. Dolní pásnice je svařenec tvořen z dolního pásu, konzole vedení dvojkolí a nosiče pružin. Zde jsou vidět úspory, jak na svařování, tak na obrábění a sestavení při využívání odlitek. Ostatní hlavní díly jsou již kompletované do sestavy podélníku. Základem podélníku je tedy spodní pásnice, na kterou působí při zatížení tahové napětí. To je z hlediska únavy markantnější než tlakové namáhání, které působí na horní straně podélníku. Na dolní pásnici jsou pak navařeny svarové podložky, které budou působit jako opěra pro svar typu V s podložkou překrytým koutovým svarem. Takto vytvořeným svarem jsou připevněny bočnice podélníku. Následně již mohou být navařena horní pásnice a další komponenty. Jak tento podélník má být sestaven zobrazuje Obrázek 4.1.



Obrázek 4.1 - Sestava podélníku

## 4.2 Rám podvozku

Jak již bylo zmíněno při sestavě rámu je potřeba předchozí kusy připravit na tuto sestavu. Při sestavě rámu mají díly svarovou přípravu. Tato příprava umožňuje provést svary dostatečné kvality přesně tam, kde je potřeba. Celkový rám je pak složen se sestavy podélníku, plechů příčnicku, svarových podložek, podložek vypružení a konzol. Po svaření celého rámu je zapotřebí opět rovnat a obrábět funkční plochy. Tyto plochy jsou například plochy na dosednutí sekundárních pružin, díry na čepy ve vedení dvojkolí, dosedací plochy konzol a další. Také je zapotřebí žihání na snížení pnutí vyvolané hlavně svařováním. Složení rámu ukazuje Obrázek 4.2 a příloha č.1. Obráběné plochy pak příloha č.3.



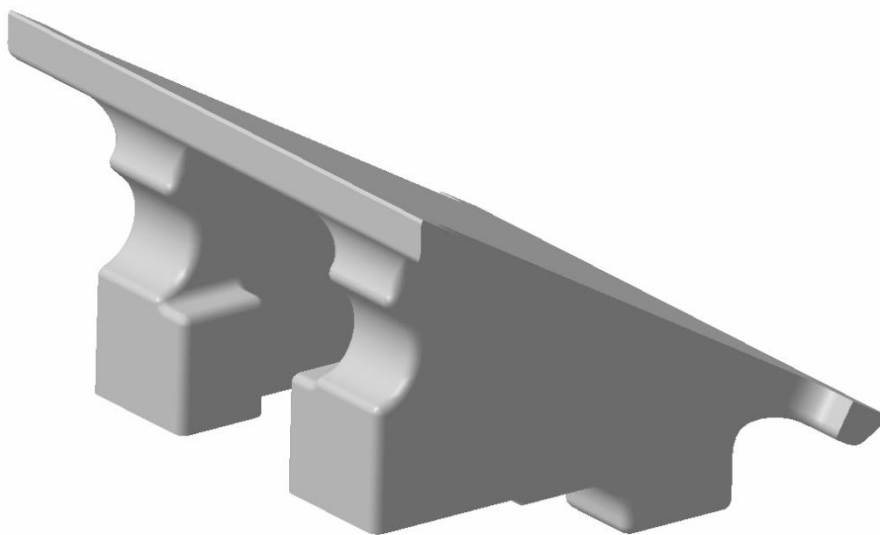
Obrázek 4.2 - Sestava rámu

## 5 VÝROBNÍ VÝKRES VYBRANÉHO DETAILU

Rám podvozku je komplexní díl, který je složen z mnoha dílů. Rám v této práci je složen z dílů rozdílného materiálu s rozdílným typem technologie. V převážné většině jsou zde použity plechy jednoduché geometrie. Dalším zástupcem dílů rámu jsou odlitky. Odlitky jsou umístěné na místech působení větších napětí. Jedná se o odlitky nosiče pružin a vedení dvojkolí. Právě odlitky jsou významným ušetřením práce při výrobě, pokud se jedná o výrobu většího počtu kusů. Pro vytvoření výrobního výkresu byl vybrán odlitek.

### 5.1 Odlitek

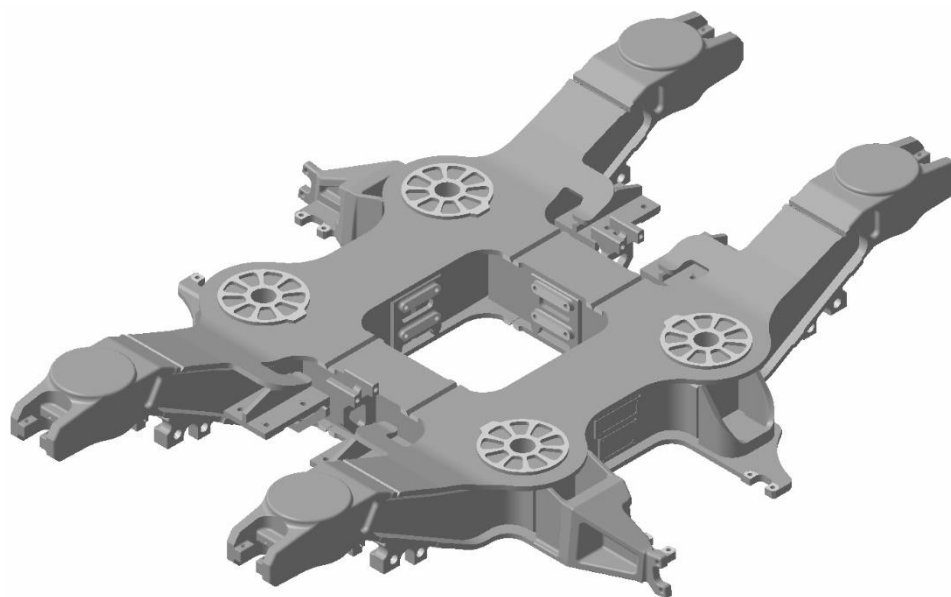
Pro výkres odlitku byl vybrán díl pro vedení dvojkolí. Tento díl bude vytvořen jako odlitek a následně obráběním připraven na zakomponování do sestavy podélníku. Pro tento díl je důležité, aby byl v určitých místech připraven na svařování. Jsou proto vytvořena místa svarových příprav (MSP). Ty budou obráběné a mají předepsané požadavky na kvalitu povrchu. Jelikož díl bude značně namáhán je zde žádoucí, aby vytvořené díly byli ověřeny defektoskopickými zkouškami. Jedná se o rentgenovou zkoušku a ultrazvukovou zkoušku. Některá místa musí být pod větší kontrolou než ostatní, například z důvodu možné koncentrace napětí. Na výkrese jsou tyto místa označeny jako kritické zóny (KZ). Jak se mají tyto zóny kontrolovat a jak má být díl upraven je detailně popsáno v poznámkách na výkresu viz příloha č.4.



Obrázek 5.1 - Vedení dvojkolí

## 6 SESTAVNÝ VÝKRES RÁMU PODVOZKU

Výsledná sestava rámu se skládá z podsestav a jednotlivých dílů. Části sestavy jsou sestava podélníku, příčník, příčník čelní, konzola narážky, podložka svarová, podložka svarová boční, podložka sekundárního vypružení a konzole příčná. Kusovník sestavy rámu je na příloze č.2. Jednotlivé díly a podsestavy rámu podvozku jsou k sobě připevněny pomocí svařování. Svařování jednotlivých dílů je rozděleno podle třídy provedení svaru. Na třídě provedení svaru záleží i jakost svaru a jeho následná kontrola. Rozhodnutí, kde je vyšší třída provedení svarů, rozhoduje umístění a druh svaru. Lepší třída provedení svarů bude použita pro svary, které jsou podložené svarem. Jedná se o místa svarů, kde se připojují podélníky na příčník. Tyto svary jsou v dolní větvi příčníku, jelikož zde bude působit tahové napětí. Toto napětí je z hlediska lomové mechaniky markantnější než tlakové napětí. Nižší třídy svarů jsou použity na ostatní svary, jako jsou svary s podložkou nebo svary koutové. Poznámky nad razítkem dále popisují, dle jaké normy a čím se rám bude svařovat. Dále poznámky předepisují zpracování svarových ploch viz příloha č.1.



Obrázek 6.1- Sestava rámu



## 7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Navržený rám je zaměřen na zvolení polotovaru, který bude použit. Bude záležet kolik daného polotovaru bude rám obsahovat. Jako polotovary jsou uvažovány plechy a odlitky. Polotovar je hlavním ukazatelem, jaký rám je možno použít. Rozhodovat bude hlavně množství vyráběných kusů. Další ekonomická hlediska mohou být ceny svařování, obrábění, lakování a dodatečných operací. Požadavek od zadavatele je výroba 500 kusů. Dle toho budou počítané náklady na výrobu. Jednotlivé náklady, které budou použité v následujících tabulkách, jsou zadané od zadavatele a jsou pouze orientační. Porovnávány jsou dva rámy. Navržený rám, který je kombinací odlitků a plechů (Varianta č.1). Druhý je rám, který je vytvořený kombinací plechů a výkovků (Varianta č.2). Následující tabulky ukazují srovnání základních nákladů na výrobu rámu dle vyráběného množství.

Tabulka 14 popisuje jednotlivé ceny polotovarů v závislosti na počtech vyráběných kusů. Tabulka je rozdělena do jednotlivých rozmezí kusů. Váhová cena odlitků klesá v závislosti na vyráběném množství. Ceny plechů a výkovků nejsou na množství závislé. Tabulka 15 ukazuje, jak je rozdělena hmotnost jednotlivých polotovarů ve variantách. Varianta číslo 1 vychází z konstrukce navrženého rámu. U varianty číslo 2 jsou stejné díly vytvářené kováním. Výpočet ceny polotovarů pak bude rozdělen dle hmotnosti.

Dalšími kritérii pro stanovení ceny rámu jsou již zmíněné náklady na svařování, obrábění, lakování a dodatečných operací. Protože díly, které budou použity na sestavu rámu, jsou rozdílné, budou i náklady některých operací rozdílné. Jedná se o náklady spojené se svařováním. Následující tabulky uvažují náklady vztažené na výrobu jednoho kusu rámu.

Tabulka 14 - Ceny materiálů dle množství

Cena materiálů dle množství [ks]	0-50	50-100	100-500	500-více
Cena odlitků [Kč/kg]	350	290	255	240
Cena výkovků [Kč/kg]	305	305	305	305
Cena plechů [Kč/kg]	80	80	80	80

Tabulka 15 - Rozdělení hmotnosti na rámu

Hmotnost materiálů na rámu	Varianta č.1	Varianta č.2
Odlitky [kg]	520	0
Výkovky [kg]	0	520
Plechů [kg]	1400	1400

## 7.1 Náklady vztažené na 0 až 50 kusů rámu

Při výpočtu nákladů pro 0 až 50 kusů rámu je cena odlitků vysoká. Bude tím zvedat i celkové náklady na výrobu jednoho rámu. Pokud by byl požadavek na výrobu do 50 kusů rámu, bylo by výhodnější použít na výrobu dílů výkovky. Cena jednoho rámu při výrobě do 50 kusů ukazuje Tabulka 16.

Tabulka 16 - Cena rámu pro množství 0-50 kusů

Kritéria pro 0-50 rámu	Varianta č.1	Varianta č.2
Cena plechů [Kč]	112 000	112 000
Cena výkovků [Kč]	0	158 600
Cena odlitků [Kč]	182 000	0
Cena svařování [Kč]	140 000	156 000
Cena obrábění [Kč]	84 500	84 500
Cena lakování [Kč]	45 000	45 000
Cena dodatečných operací [Kč]	37 500	37 500
Celková cena 1 rámu [Kč]	601 000	593 600

## 7.2 Náklady vztažené na 50 až 100 kusů rámu

Při výrobě více kusů rámu jde cena odlitků dolů ale ceny výkovků a plechů zůstávají stejné. Již zde přichází úspora nákladů při použití odlitků na rámu viz Tabulka 17.

Tabulka 17 - Cena rámu pro množství 50-100 kusů

Kritéria pro 50-100 rámu	Varianta č.1	Varianta č.2
Cena plechů [Kč]	112 000	112 000
Cena výkovků [Kč]	0	158 600
Cena odlitků [Kč]	150 800	0
Cena svařování [Kč]	140 000	156 000
Cena obrábění [Kč]	84 500	84 500
Cena lakování [Kč]	45 000	45 000
Cena dodatečných operací [Kč]	37 500	37 500
Celková cena 1 rámu [Kč]	569800	593600

### 7.3 Náklady vztažené na 100 až 500 kusů rámu

Náklady varianty číslo 1, které budou potřeba na výrobu jednoho rámu při objednávce 100 až 500 kusů, dále klesají. Náklady pro variantu číslo 2 jsou stále stejné. Tabulka 18 ukazuje výpočet nákladů jednoho rámu.

Tabulka 18 - Cena rámu pro množství 100-500 kusů

Kritéria pro 100-500 rámu	Varianta č.1	Varianta č.2
Cena plechů [Kč]	112 000	112 000
Cena výkovků [Kč]	0	158 600
Cena odlitků [Kč]	132 600	0
Cena svařování [Kč]	140 000	156 000
Cena obrábění [Kč]	84 500	84 500
Cena lakování [Kč]	45 000	45 000
Cena dodatečných operací [Kč]	37 500	37 500
Celková cena 1 rámu [Kč]	551600	593600

### 7.4 Náklady vztažené na 500 a více kusů rámu

Náklady pro tuto variantu jsou klíčové z hlediska požadavku od zadavatele. Tyto náklady ukazují, kolik budou výsledné úspory, když byl zavolen rám kombinací plechů a odlitků. Opět je stěžejní cena odlitků. Ta se odvíjí od množství viz Tabulka 14 a Tabulka 15. Kritéria pro 500 a více rámu ukazuje Tabulka 19. Tabulka 20 ukazuje, jaké jsou úspory nákladů na jeden rám a poté celková úspora při výrobě 500 kusů rámu. Úspora nákladu na jeden rám je 49 800 Kč. Úspora nákladů na 500 kusů je pak 24 900 000 Kč.

Tabulka 19 - Cena rámu pro množství 500 a více kusů

Kritéria pro 500 a více rámu	Varianta č.1	Varianta č.2
Cena plechů [Kč]	112 000	112 000
Cena výkovků [Kč]	0	158 600
Cena odlitků [Kč]	124 800	0
Cena svařování [Kč]	140 000	156 000
Cena obrábění [Kč]	84 500	84 500
Cena lakování [Kč]	45 000	45 000
Cena dodatečných operací [Kč]	37 500	37 500
Celková cena 1 rámu [Kč]	543800	593600

Tabulka 20 - Úspora nákladů při výrobě 500 kusů rámu

Náklady na rám při výrobě 500 ks	1 ks [Kč]	500 ks [Kč]
Varianta č.1	543 800	271 900 000
Varianta č.2	593 600	296 800 000
Úspora nákladů	49 800	24 900 000

## 8 ZÁVĚR

Úkolem této práce bylo vytvořit konstrukční návrh vnitřního rámu typu Jakobs. Detailní specifikace zadání určila, že rám bude použit na podvozek pro 2-vozou jednotku. Specifikace podvozku byla zadána konkrétními hodnotami. Konstrukce rámu proto vycházela z používaných polotovarů. Dále bylo vycházeno z již vytvořených vnitřních podvozků typu Jakobs. Ty byly rozděleny v rešerši do jednotlivých skupin. Rešerše též poukazovala na jednotlivé příklady materiálů. Z nich následně vycházeli jednotlivé varianty rámu.

Pro vyhodnocení nejlepší varianty druhu rámu byly sledovány daná specifika. Dle jednoduchého posouzení vyšla nejlepší varianta pro konstrukční návrh rámu. Rám je vytvářen tak, aby následoval upřesněné zadání od zadavatele. Bylo proto nutné dodržet základní rozměry. Jedná se hlavně o rozchod, rozvor, průměr dosednutí primárních i sekundárních pružin, bázi kyvného ramena nebo průměr čepu kyvného ramene. Rám je též osazen konzolami tak, aby mohli být připevněny všechny požadované prvky podvozku. Při konstrukci rámu bylo dbáno na technologičnost a vyrobiteľnost jednotlivých dílů i celého rámu. Sestavení rámu je navrženo dle zásad svařování a sestavování dílů rámu s ohledem na normy EN 15 085-3 a DVS 1612.

Po vytvoření konstrukčního návrhu je v práci přistoupeno k ověření pevnosti. Dle zadání je rám kontrolován pouze ve svislém a příčném směru. Také je uvažováno pouze výjimečné zatížení. Po stanovení jednotlivých zátěžných stavů, je vytvořen kontrolní výpočet pomocí metody konečných prvků. Výsledky, které vyjdou v tomto výpočtu, následně vstupují do ověření statické pevnosti. Ta je rozdělena do trvalé deformace a meze pevnosti a stability. V obou případech je rám vyhovující. Lze tedy stanovit, že výsledný návrh rámu splňuje požadavky normy EN 13 749 pro výjimečné zatížení, dané v zadaných směrech.

Závěr této práce je již zaměřen na technickou a ekonomickou část. V technické části jsou popsány díly sestavy rámu a k nim jsou příslušné výkresy. Ekonomická část pak porovnává výhodnost navrženého typu rámu oproti rámu jiné varianty. Dle tohoto hlediska zvolený typ konstrukce také vyhovuje a dochází k úspoře nákladů oproti jiné variantě rámu.

Pokud by mělo dojít k následnému použití do praxe, muselo by se udělat několik operací navíc. Především by se jednalo o detailní výpočet rámu. Rám by měl být vypočítán ve všech směrech zatížení a všech jejich kombinací. Dále by měl být proveden výpočet nejen pro výjimečné stavy ale i pro běžné stavy. Také by byla počítána únava materiálu vzhledem k místu svaru, kritických zón a dalších míst. Poté by již mohla být vytvořena kompletní dokumentace rámu a rám by splňoval všechny požadavky dané normou EN 13 749.

## ZDROJE

- [1] **Heller, Petr.** *Kolejová vozidla 2*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2019. ISBN 978-80-261-0773-6.
- [2] **Wikipedia contributors.** *Jacobs bogie*. [Online] Wikipedia, The Free Encyclopedia., 24. Zář 2021. [Citace: 1. Říjen 2021.] Dostupný na: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Jacobs\\_bogie&oldid=1046114602](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Jacobs_bogie&oldid=1046114602).
- [3] **SIEMENS Mobility GmbH.** *SF 7500: Drehgestellplattform für Triebzüge*. [Online] Květen 2020. [Citace: 1. Říjen 2021.] Dostupný na : [https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:51408790-52f1-4d85-a5a2-de2467ba3d85/mors-b10033-00-datasheet-bogies-sf7500-de-144\\_original.pdf](https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:51408790-52f1-4d85-a5a2-de2467ba3d85/mors-b10033-00-datasheet-bogies-sf7500-de-144_original.pdf).
- [4] **EVRAZ VÍTKOVICE STEEL, a.s.** Produktový katalog: Plechy. *vitkovicesteel.com*. [Online] Zář 2009. [Citace: 4. Květen 2022.] Dostupný na: <http://www.vitkovicesteel.com/data/soubory/plechy/katalog-plechy-2009-cz.pdf>.
- [5] **Forschungskuratorium Maschinenbau.** *Analytical strenght assesment of components. Made of Steel, Cast Iron and Aluminium Materials in Mechanical Engineering*. Frankfurt am Main e.V. : Forschungskuratorium Maschinenbau, 2012. ISBN 978-3-8163-0649-8.
- [6] **Kotál, Petr.** *Podvozek Jacobs*. [Diplomová práce (Ing.)] Plzeň : ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI. Fakulta strojn, 2011. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Heller, CSc.
- [7] **ČSN EN 13749.** *Železniční aplikace - Dvojkolí a podvozky - Metoda specifikování konstrukčních požadavků na rámy podvozků*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. 60 s. 28 0505.
- [8] **Railvolution.** LINK For RegioJet? *Railvolution*. [Online] Railway Public s.r.o, 17. Říjen 2012. [Citace: 12. Duben 2022.] Dostupný na: <https://www.railvolution.net/news/link-for-regiojet>.

## Software:

Siemens NX 12.0

Catia V5

MS Word 2019

MS Excel 2019

## PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Výkres sestavy

Příloha č. 2: Kusovník sestavy

Příloha č. 3: Výkres obrábění sestavy

Příloha č. 4: Výrobní výkres odlitku