

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Konstrukční řešení podvozku kolejového vozidla s využitím
optimalizačních metod

Autor: **Pavel Karas**
Vedoucí: **Ing. Karel Ráž, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Pavel KARAS**
Osobní číslo: **S17B0126P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Téma práce: **Konstrukční řešení podvozku kolejového vozidla s využitím optimalizačních metod**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Navrhňte na základě rešerše podvozek kolejového vozidla a vybraný díl podvozku podrobte optimalizaci.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod
2. Rešerše podvozků kolejových vozidel
3. Jednoduchý konstrukční návrh podvozku pro vybrané kolejové vozidlo
4. Optimalizace vybraného dílu podvozku
5. Výpočet vybraného dílu a závěr

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran A4**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Heller, P. *Kolejová vozidla 2*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2019.
Heller, P. . *Kolejová vozidla 1*. Plzeň : Západočeská univerzita v Plzni, 2017.
Hosnedl, S.;**Krátký, J.***Příručka strojního inženýra: obecné strojní části*. 1. Praha: Computer Press, 1999
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Karel Ráž, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Karel Ráž, Ph.D.**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

podpis autora.....

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Karas	Jméno Pavel	
STUDIJNÍ OBOR	B2301 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Ráž, Ph.D	Jméno Karel	
PRACOVISŤE	ZČU - FST – KKS- RTI		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Konstrukční řešení podvozku kolejového vozidla s využitím optimalizačních metod		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	64	TEXTOVÁ ČÁST	45	GRAFICKÁ ČÁST	19
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje konstrukční řešení kolejového podvozku s využitím optimalizační metody. Cíl této práce je optimalizovat řešení dílu, který má lepší mechanické vlastnosti. Grafické řešení a výpočty jsou řešeny pomocí programu NX 12.0 od Siemens.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Podvozek, optimalizace, MKP</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Karas	Name Pavel	
FIELD OF STUDY	B2301 “Transport and handling machinery“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Ráž, Ph.D	Name Karel	
INSTITUTION	ZČU - FST – KKS- RTI		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Structural design of a rail vehicle chassis using optimization methods		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	64	TEXT PART	45	GRAPHICAL PART	19
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor's thesis contains a design solution of a rail bogie using an optimization method. The aim of this work is to optimize the solution of a part that has better mechanical properties. Graphic solutions and calculations are solved using the program NX 12.0 from Siemens.
KEY WORDS	Bogie, optimalization, FEM

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Karlu Rážovi Ph.D za vedení práce, dobré připomínky a příjemný přístup.

OBSAH

1 ÚVOD	11
2 REŠERŠE PODVOZKŮ KOLEJOVÝCH VOZIDEL	12
2.1 Dělení kolejových vozidel podle jejich charakteru	12
2.2 Podvozky nákladních vozů.....	13
2.2.1 Vypružení pružnicemi	13
2.2.2 Vypružení šroubovitými pružinami.....	14
2.3 Podvozky osobních vozů.....	15
2.3.1 Podvozky jednonápravové	15
2.3.2 Podvozky dvounápravové	15
2.4 Podvozky elektrických jednotek.....	18
2.5 Podvozky motorových vozů	19
2.6 Podvozky regionálních vozidel	19
2.6.1 Podvozky jednonápravové	19
2.6.2 Podvozky dvounápravové	19
2.6.3 Běžné podvozky regionálních vozidel.....	19
2.6.4 Podvozky dvounápravového typu Jakobs	20
2.6.5 Vývojové podvozky.....	20
2.7 Podvozky elektrických a motorových lokomotiv	21
2.7.1 Podvozky dvounápravové	21
2.7.2 Podvozky třínápravové.....	21
2.7.3 Podvozky lokomotiv motorové trakce.....	21
2.8 Podvozky s vnitřním rámem.....	22
3 JEDNODUCHÝ KONSTRUKČNÍ NÁVRH PODVOZKU PRO VYBRANÉ KOLEJOVÉ VOZIDLO	24
3.1 Specifikace podvozku	24
3.2 Konstrukční návrh	26
3.3 Výběr dílu na optimalizaci	29
3.4 Výpočet dílu	30
3.4.1 Výpočet pomocí metodou konečných prvků.....	30
4 OPTIMALIZACE VYBRANÉHO DÍLU PODVOZKU	34
4.1 Použití optimalizace topologie [7]	35
4.2 Optimalizace dílů	35
4.2.1 Optimalizace konzole svislého tlumiče.....	35
5 VÝPOČET VYBRANÉHO DÍLU	38

5.1 Výpočet konzole svislého tlumiče.....	38
5.1.1 Deformace dílu.....	39
5.1.2 Uzlové napětí dílu	40
5.2 Porovnání výsledků.....	41
6 ZÁVĚR.....	42
SEZNAM OBRÁZK.....	43
SEZNAM TABULEK.....	44
ZDROJE.....	45
PŘÍLOHY.....	45

Použité zkratky a symboly

NÁZEV VELIČINY	ZNAČKA VELIČINY	JEDNOTKY
Rychlost	v	km/h
Hmotnost	M	t, kg
Délka	l	mm
Výkon	P	kW
Otáčky	n	ot/min
Napětí	σ	MPa
Síla	F	KN, N

max. maximální

poz. pozice

1 ÚVOD

V dnešní době je mnoho způsobů jak navrhnout vlakový podvozek a mnoho konceptů ze kterých je možno vycházet. Při konstruování jednotlivých dílů se klade důraz na redukci hmotnosti v závislosti na jejich mechanických vlastnostech. Účelem této bakalářské práce je konstrukční řešení vybraného podvozku s použitím optimalizačních metod. Řešení spočívá v rozdělení jednotlivých typů kolejových podvozků. Po výběru jednoho z typů podvozků se udělá konstrukční návrh tohoto podvozku a vytvoří se výkres sestavy a detailní výkres vybraného dílu. U dílu se určí zatížení, které na součást působí. Poté se zjistí napětí pomocí metody konečných prvků. Vybrané díl z podvozku se podrobí optimalizaci. Z výsledků optimalizace se navrhne díl, který lépe vyhovuje zatížení. Nakonec se porovná díl před a po optimalizaci a provede se závěrečné zhodnocení.

2 REŠERŠE PODVOZKŮ KOLEJOVÝCH VOZIDEL

2.1 Dělení kolejových vozidel podle jejich charakteru

2.1.1 Kolejová vozidla pro dálkovou železniční dopravu

Tyto vozidla odpovídají mezinárodním normám, požadavkům standardizace a unifikace svou celkovou koncepcí i hlavními konstrukčními díly. Rozdíl mezi konstrukcí kolejových vozidel pro mezinárodní a vnitrostátní dopravu je minimální.[1]

2.1.2 Kolejová vozidla pro regionální železniční dopravu

U osobních vozidel je nižší míra komfortu, u vedlejších tratích jsou kolejová vozidla lehké stavby. V regionální dopravě své výhody ukazují elektrické nebo motorové jednotky nebo lokomotivní vlaky s řídicím vozem na druhém konci soupravy. V regionální dopravě nákladní jde o konkurenci se silniční dopravou.[1]

2.1.3 Kolejová vozidla pro příměstskou dopravu

Jedná se o rychlou přepravu velkého množství cestujících v pravidelných intervalech, na kratší vzdálenost. Například doprava na trati Praha- Beroun. Těmto požadavkům nejvíce vyhovují elektrické jednotky jedno nebo dvojpodlažní, s nízkou podlahou.[1]

2.1.4 Kolejová vozidla pro městskou dopravu

Nejčastěji se jedná o dopravu osobní. Ta je vedena buďto v úrovni terénu nebo mimo úroveň terénu. Úrovňová doprava je zajišťována tramvajemi. Svým charakterem to jsou elektrické vozy nebo elektrické jednotky. Mimoúrovňová doprava je provozována také elektrickými jednotkami. Ty mohou být používány ve větších rychlostech, protože nebezpečí srážky se silniční dopravou. [1]

2.2 Podvozky nákladních vozů

Podle vývoje provozních podmínek v historii, lze rozdělit nákladní podvozky do dvou kategorií jejich vývoje.[2]

- Podvozky evropského typu
- Podvozky amerického typu

V současné době se trendy ve stavbě podvozků vyznačují dvěma směry. Jedná se o zvyšování nápravové hmotnosti na hodnotu 25 tun a zvyšování rychlosti na 120-160 km/h.[2]

2.2.1 Vypružení pružnicemi

- **Podvozek typu 26-2.8 (Obrázek 2.2)**

Pružnicemi vypružený typ podvozku. Obdélníkový rám je svařen ze dvou lisovaných podélníků, příčnicku, dvou čelníků a šikmých vzpěr. Rám je zavěšen na půl eliptických pružnicích pomocí závěsek. Podvozek může jet až 100 km/h.[2]

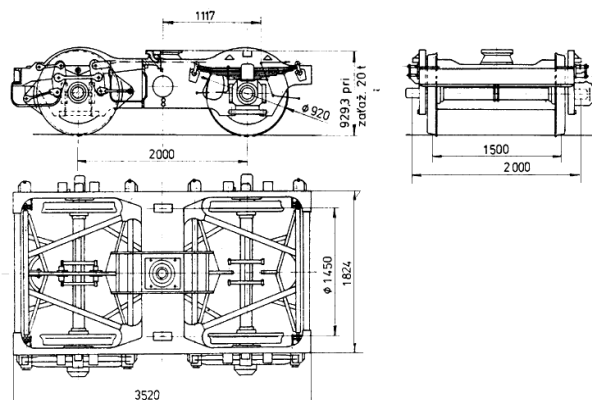
- **Podvozek typu UIC 30 (Obrázek 2.1)**

Mají dlouhé hraníky na pružinách. Mají rozvor 2000 mm. Podvozky byly odvozeny z německého provedení DB BA 931, které však byli s rozvorem 1800 mm. V ČD byl vývoj podvozku také zakončen typem 134.[2]

Z dvou nápravových podvozků vychází koncepce vícenápravových podvozků, například třínápravový podvozek DB BA715 (Obrázek 2.3) nebo pětinápravový podvozek.[2]



Obrázek 2.1- Podvozek UIC 30[9]



Obrázek 2.2- Podvozek 26-2.8[9]



Obrázek 2.3- Třínápravový podvozek[9]

2.2.2 Vypružení šroubovitými pružinami

- **Podvozky typu Y 25 (Obrázek 2.4)**

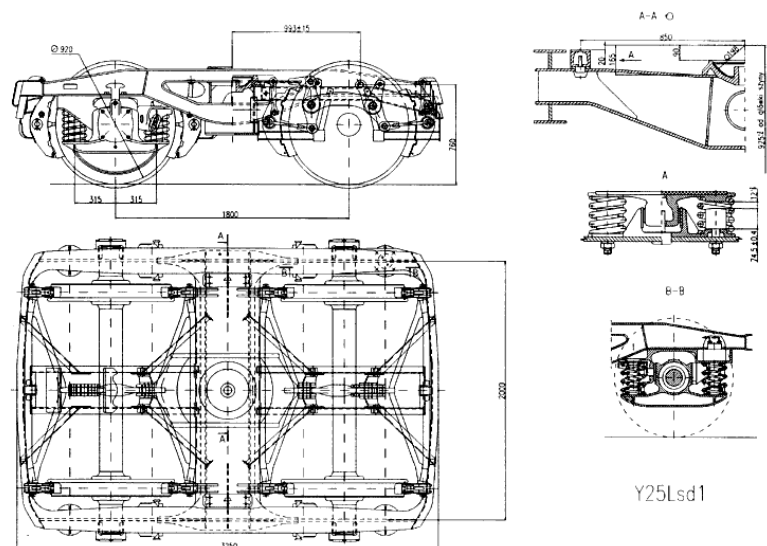
Podvozky mají unifikaci podle základního provedení, podle maximální hmotnosti na nápravu (např. Y 25C- max. hmotnost na nápravu 20 t) a následně na provedení podvozku. Další vlastnosti podvozku upřesňuje doplňkové značení písmeny malé abecedy a číslicemi.[2]

- **Podvozek Y 25 Lss [2] (Obrázek 2.6)**

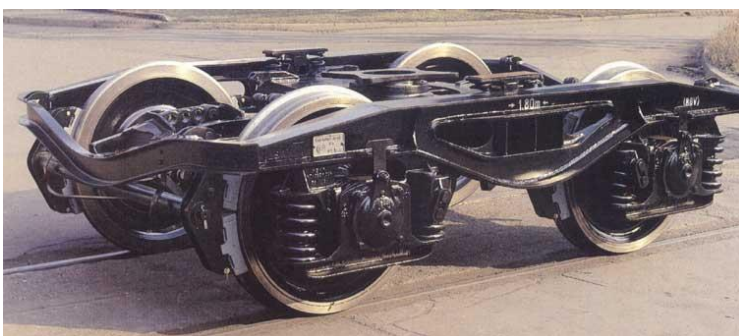
Max. hmotnost na nápravu při rychlosti 100 km/h je 22,5 t. Maximální rychlost prázdného vozu je 120 km/h. Průměr kol je 920 mm a rozvor 2000 mm.

- **Podvozek Y 25 Lls(s)d [2] (Obrázek 2.5)**

Max. hmotnost na nápravu při rychlosti 100 km/h je 25 t. Průměr kol je 920 mm a rozvor 1800 mm.



Obrázek 2.4-Podvozek typu Y25



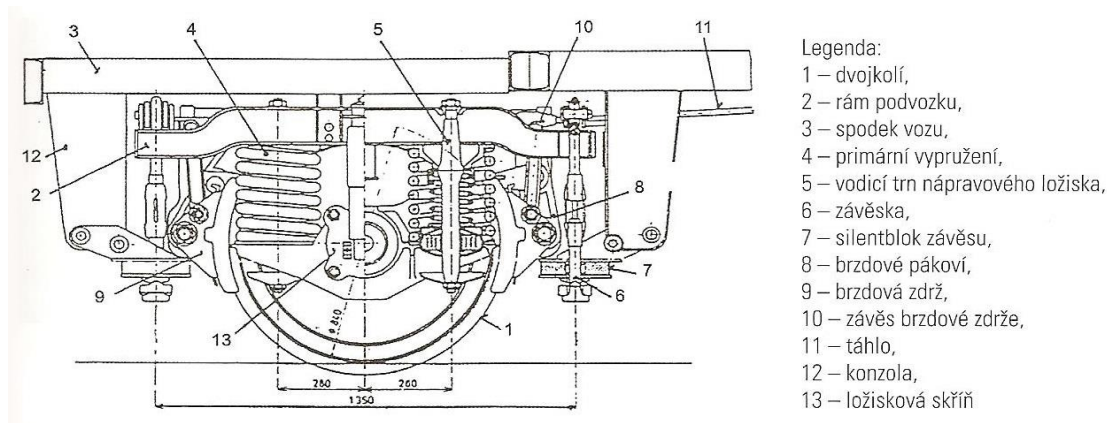
Obrázek 2.5- Podvozek Y 25 Lls(s)d[9]



Obrázek 2.6-Podvozek Y 25 Lss [9]

2.3 Podvozky osobních vozů

U osobních vozů existují dva typy podvozků. Jednonápravové, u vozidel krátkých, kde dvounápravový podvozek nepřichází v úvahu. Dvounápravové, s vnějším rámem, mají na rozdíl od nákladních podvozků dvojité vypružení. Podvozkové rámy jsou převážně otevřeného tvaru H, nebo uzavřené.[2]



Obrázek 2.7- Jednonápravový podvozek [2]

2.3.1 Podvozky jednonápravové

- **Jednonápravový podvozek motorových a přípojných vozů**

Tento podvozek byl například použit na motorových vozech řady 810. Stejný podvozek má jednotka Regionova řady 814-914.[2]

- **Jednonápravový podvozek Gearef**

Podvozek je vybaven dvojitým vypružením. Kuželové silentbloky jsou v primárním vypružení, sekundární vypružení je vzduchové.[2]

- **Jednonápravový podvozek motorového vozu 213M**

Vyznačuje se dvojitým vypružením, v primárním jsou pryžokovové pružiny megi, v sekundární vypružení je vzduchové. Maximální rychlost 100 km/h.[2]

- **Jednonápravový podvozek Talgo**

Pojezd vycházející z patentu Alejandra Goicoechea. Celek je tvořen mohutným jhem, na kterém jsou připevněna dvě volně otáčivá kola. [2]

2.3.2 Podvozky dvounápravové

Podvozky mají dvojité vypružení. Lze je dělit na podvozky kolébkové a bezkolébkové. [2]

- **Podvozky se jhy, Pensylvánský (Obrázek 2.9)**

Patří k nejdéle provozovaným podvozkům. Vzdálenost středů čepů je 1970 mm. Leží v ložiskové skříně pro ložiska vzor 49V. Obě ložiskové skříně jsou trvale spojeny se jhy. [2]

- **Podvozek vozů Balm 18,5m, později Btm (Obrázek 2.8)**

Konstrukce je tvořena z poddajného podvozkového rámu. Podvozek tvoří dvě dvojkolí, rám podvozku, čtyři ložiskové skříně a jeho vypružení, kolébky, brzdové ústrojí a vozové dynamo s kardanovým pohonem. Vzdálenost středů čepů je 1850 mm. [2]

- **Bezrozsochový podvozek vzor 801 VÚKV (Obrázek 2.10)**

Dvojkolí má průměr 920 mm. V ložiskových skříně jsou ložiska typu WJ a WJP. Rám podvozku je tvořen půlramy tvaru T, které jsou tvořeny z podélníku a příčnicku. Podvozek má špalíkovou brzdu. Podvozek má hmotnost 5700 kg. [2]

- **Podvozek GP 200 (Obrázek 2.11)**

Podvozky jsou dělány do rychlostí 200 km/h. Na nápravě s celistvými koly jsou brzdové kotouče. Primární vypružení je pomocí šroubovitých pružin. Sekundární pak zase tvoří kolébka, uložená na šroubovitých pružinách. [2]

- **Podvozek Minden Deutz**

Podvozky jsou označovány jako MD. Jsou stavěny až do rychlostí 200 km/h, pro zatížení 16 t a také 12,5 t. Podvozky tohoto typu mají rozvor 2500 mm. Výrobce je firma Bombardier. Základem je typ MD 50. Dále pak MD 36, MD 52 (Obrázek 2.12). A modifikace řady MD 52 je MD520 až MD 525. Například MD 523 (Obrázek 2.13). [2]

- **Podvozky Siemens, SGP SF 200(Obrázek 2.14)**

Jsou to bezkolébkové podvozky, které mají maximální zatížení 17 t a maximální rychlost 120 km/h. Primární vypružení je provedeno kyvnými rameny. Sekundární je provedeno pružinami. [2]

- **Podvozek SGP 300**

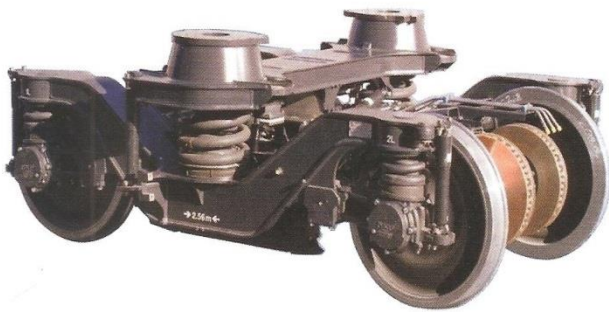
Lze jet bezpečnou jízdu až do 300 km/h, v přímé koleji i oblouku. Má jednoduchou konstrukci a optimální lehkou stavbu. Mají tři základní provedení. [2]

- **Podvozek SF 300**

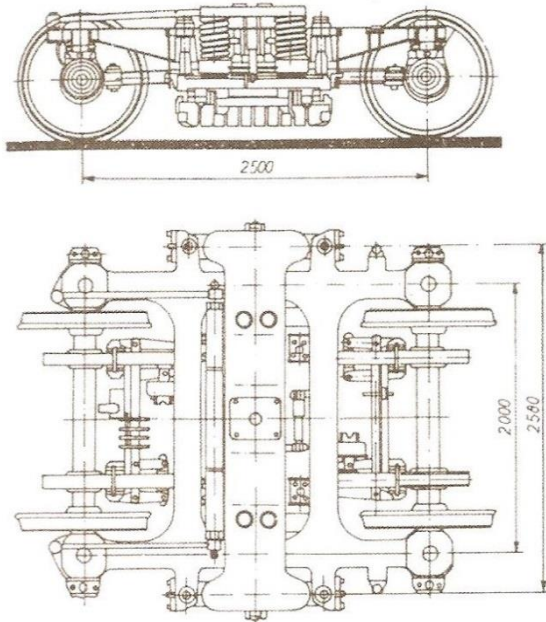
Mají tři brzdové kotouče. Ve dvojkolí jsou pouzdra, která zajišťují tuhé vedení v přímé koleji a měkké v oblouku. [2]

- **Podvozek SF 400**

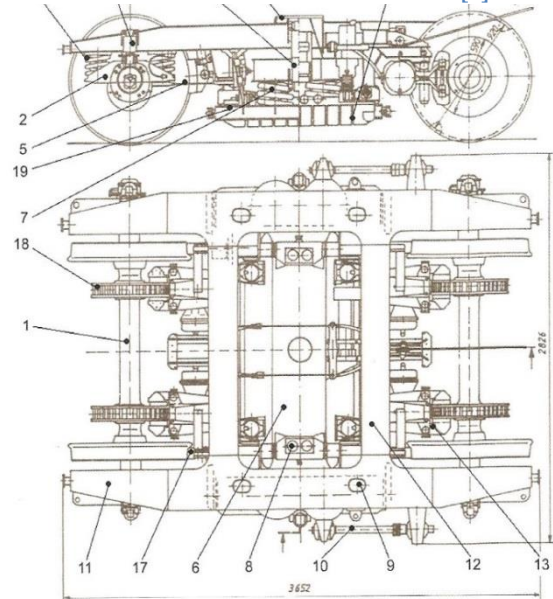
Vedení, které je prakticky bezúdržbové, je převzato z typu SF 300. Hmotnost celého podvozku dosahuje 7,1 t. Jeho maximální rychlost je 280 km/h. [2]



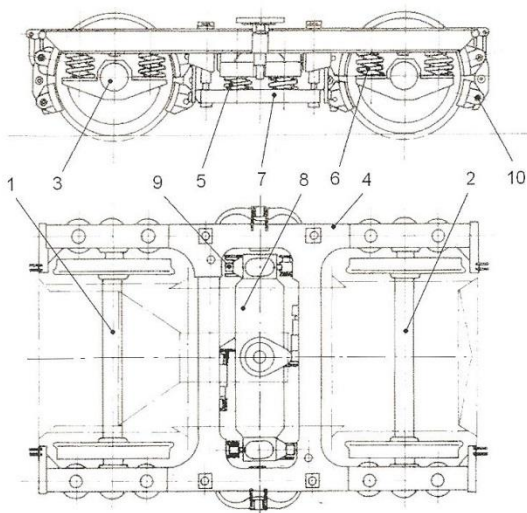
Obrázek 2.14- Podvozek SF 200 [2]



Obrázek 2.13- Podvozek MD 523 [2]



Obrázek 2.12- Podvozek MD 52 [2]

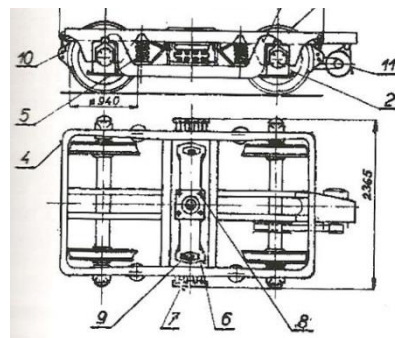


Obrázek 2.10- Podvozek vzor 801-1 [2]

Obrázek 2.11- Podvozek GP 200 [2]



Obrázek 2.8- Podvozek vozů Balm [2]



Obrázek 2.9- Podvozek Pensylvánský [2]

2.4 Podvozky elektrických jednotek

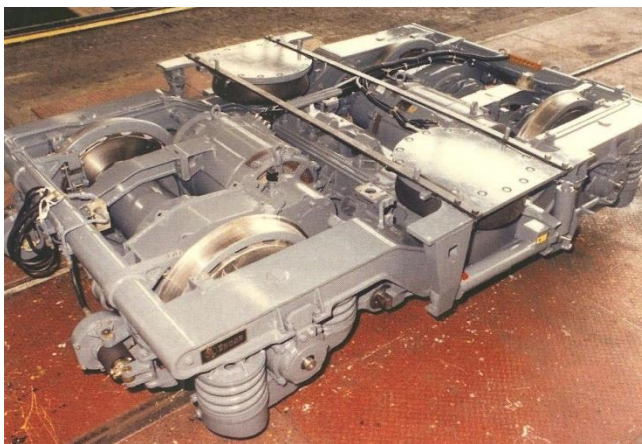
Elektrické jednotky mají trakční podvozky pod trakčním vozem. U vložených a řídicích vozů jsou podvozky běžné. [2]

- **Trakční podvozek elektrické jednotky řady 471 pro ČD (Obrázek 2.16, Obrázek 2.17)**

Je požadavek na maximální rychlost 140 km/h a kvalitní chod asynchronního motoru. Rám je svařovaná konstrukce. Asynchronní motory mají výkon 500 kW a mají vlastní chlazení. Dvojkolí s dutou nápravou, má kola s průměrem 920 mm. Rozvor je 2600 mm, hmotnost podvozku je 12800 kg. [2]

- **Běžný podvozek elektrické jednotky řady 471 pro vložené a řídicí vozy 071 a 971 (Obrázek 2.15)**

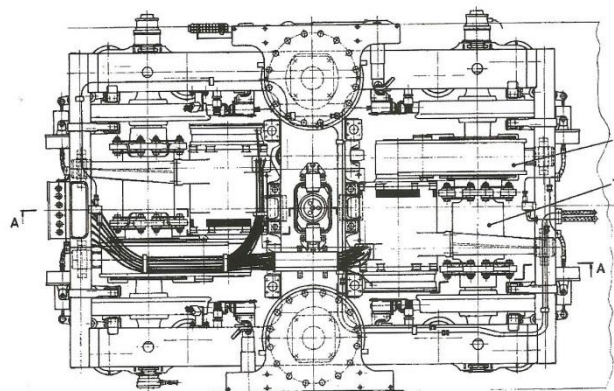
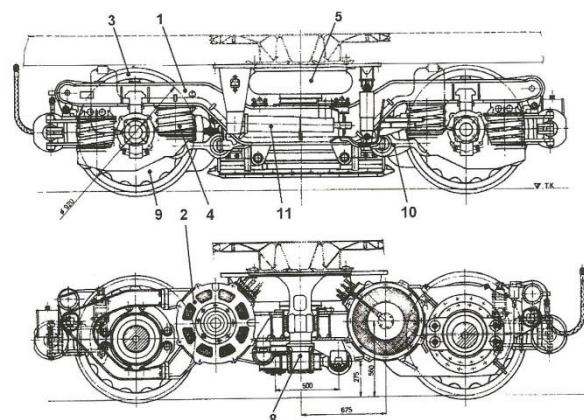
Podvozek, který má dvojkolí se třemi brzdovými kotouči, je primárně vypružen šroubovitou pružinou. Vedení dvojkolí je kývačkou. Podvozek má tvar H, se dvěma podélníky a příčnicí. Brzdové jednotky jsou na pomocných příčnicích. Sekundární vypružení je pneumatické. [2]



Obrázek 2.17- Podvozek elektrické jednotky 471 [2]



Obrázek 2.15- Podvozek vloženého vozu 071 a řídicího vozu 971 [2]



Obrázek 2.16- Schéma podvozku elektrické jednotky 471 [2]

2.5 Podvozky motorových vozů

- **Trakční podvozek motorového vozu 843 pro ČD**

Tento bezkolébkový podvozek je vhodný do rychlostí 120 km/h. O pohon se starají dva trakční motory, každý o výkonu 120 kW. Dvojkolí s průměrem 840 mm má diskovou brzdu. Primární vypružení obstarávají dvě ocelové pružiny. Svislé i sekundární vypružení obstarávají membránové vzduchové pružiny. Rozvor podvozku je 2300 mm. [2]

- **Trakční podvozek motorového vozu 842 pro ČD**

Bezkolébkový podvozek má pohon jen jednoho dvojkolí. Na obou dvojkolích jsou brzdové kotouče. Primární vypružení je uskutečňováno šroubovitými pružinami. Sekundární je pneumatické s nouzovou kluznicí a svislým tlumičem. [2]

- **Trakční podvozek motorového vozu HD1 (Hyundai Rotem) (Obrázek 2.21)**

Mimoevropský podvozek, s rozvorem 2500 mm a maximální rychlostí 160 km/h, má podobné vlastnosti jako evropské podvozky. [2]

2.6 Podvozky regionálních vozidel

Tato kategorie vozidel se vyvinula z motorových, eventuálně z elektrických vozů (mají nízkou podlahu) a souběžně s tím i trakční a běžné podvozky. Průměry dvojkolí jsou většinou pod 840 mm, nejčastěji 770 mm, kvůli snaze po nízké podlaze i v oblasti podvozku. [2]

2.6.1 Podvozky jednonápravové

Vyskytují se u regionálních vozidel ojediněle. Lze je však najít u rekonstruovaných vozidel Regionova. Navazují na koncepci celého vozidla, která nebývá u jednonápravových podvozků obvyklá. Například podvozek regionálního vozidla Alstom Coradia. [2]

2.6.2 Podvozky dvounápravové

- **Trakční dvounápravový podvozek SF 4000 TDG, Siemens (Obrázek 2.20)**

Podvozek je určen pro regionální vozidla LVT 642. Podvozek má rozvor 1900 mm, hmotnost 6,8 t a maximální rychlost 120 km/h. [2]

- **Trakční dvounápravový podvozek 7Ev, ŠKODA**

Rám je ve tvaru H. K němu jsou pomocí šroubů připevněny pomocné čelníky pro další příslušenství. Rozvor podvozku je 2400 mm, rozchod 1435 mm, maximální rychlost 160 km/h. Výkon trakčního motoru je 340 kW. Podvozek váží 10,4 t. [2]

2.6.3 Běžné podvozky regionálních vozidel

Podvozek má rozvor 2400 mm, rozchod 1435 mm, hmotnost 7,7 t a maximální rychlost do 160 km/h. [2]

2.6.4 Podvozky dvounápravového typu Jakobs

- **Běžný dvounápravový podvozek Jakobs, typu SF 4000 JLDG, Siemens**

Podvozek má průměr dvojkolí 770/710 mm, rozvor 2650 mm, hmotnost 6,2 t, maximální hmotnost na nápravu je 16 t. [2]

- **Podvozek FlexCompact firmy Bombardier (Obrázek 2.19)**

Dvojkolí má průměr 871/ 770 mm, rozvor 2800 mm, hmotnost 5,3 t a maximální hmotnost na nápravu 19,1 t. Torzně pružný rám má nízko položený příčník, proto může být nízká podlaha i v oblasti podvozku. [2]

- **Podvozek regionálního vozidla RegioShark (Obrázek 2.18)**

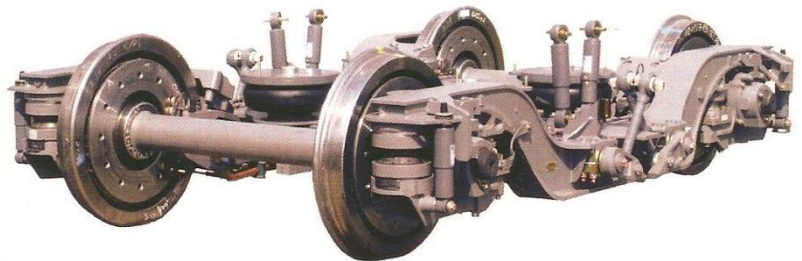
2.6.5 Vývojové podvozky

Hlavním cílem vývojových podvozků je dosažení vysokých technických kvalit. Tyto kvality jsou hlavně úspory hmotnosti, zachování a zlepšení kvality jízdních vlastností. [2]

- **Podvozek efWING firmy Kawasaki[2]**
- **Podvozky s kompozitním rámem[2]**



Obrázek 2.21- Podvozek HD1 [2]



Obrázek 2.19- Podvozek Jakobs typu FlexCompact [2]



Obrázek 2.20- Podvozek typu SF 4000 TDG [2]



Obrázek 2.18- Jakobsův podvozek z motorové jednotky RegioShark [2]

2.7 Podvozky elektrických a motorových lokomotiv

Tyto podvozky lze charakterizovat jako trakční, které jsou s individuálním pohonem nebo skupinovým. Podvozky mají většinou dvojité vypružení. [2]

2.7.1 Podvozky dvounápravové

- **Unifikovaný podvozek lokomotiv ČD řad 363, 163, 372, 371 (ŠKODA), (Obrázek 2.26)**

Podvozek má rozvor 3200 mm a hmotnost 20,1 t. Pohon vytváří stejnosměrný trakční motor s výkonem 870 kW. [2]

- **Podvozek elektrické lokomotivy BR 101 (Bombardier)**

Podvozek pro lokomotivy s výkonem kolem 6MW a rychlosti 220 km/h. Podvozky mají rozvor 2650 mm a průměr kol 1250 mm. [2]

- **Další typy dvounápravových podvozků: [2]**

- Podvozek elektrických lokomotiv TRAXX BR 146, 185 (Bombardier)
- Podvozek typu SF 1 pro elektrické lokomotivy (SIEMENS)
- Dvounápravový podvozek pro elektrické lokomotivy typu SF 2 (SIEMENS), (Obrázek 2.27)
- Podvozek elektrické lokomotivy ES 64 U4 (SIEMENS)
- Podvozek elektrické lokomotivy řady 380 pro ČD (ŠKODA), (Obrázek 2.29)
- Podvozek elektrické lokomotivy LB1 (Hyundai Rotem), (Obrázek 2.25)

2.7.2 Podvozky třínápravové

Třínápravové podvozky jsou používány při dopravě těžkých nákladních vlaků. Důvod pro použití je přenos velké tažné síly, aniž by byla dosažena jízda na mezi adheze. Mají větší opotřebení kol než podvozky dvounápravové. V praxi je dán přednost spíše dvěma lokomotivám nebo dvoudílným lokomotivám. [2]

- **Třínápravový podvozek elektrické lokomotivy LKAB (Obrázek 2.28)**
- **Třínápravový podvozek elektrické lokomotivy, typu SF 6, Siemens**
- **Třínápravový podvozek lokomotivy LC1 (Hyundai Rotem)**

2.7.3 Podvozky lokomotiv motorové trakce

Tyto podvozky patří do kategorie lokomotiv motorových, přenáší se elektricky nebo hydraulicky. [2]

- **Podvozky ČKD (nyní CZ LOKO) dieselelektrické lokomotivy řady 724**

Podvozek má otevřený podvozkový rám. Rozvor je 2400 mm a hmotnost podvozku je přibližně 11,3 t. [2]

- **Podvozky dieselelektrických lokomotiv SF 3 Siemens (Obrázek 2.23)**

Maximální rychlost podvozku je 140 km/h. Duté dvojkolí má průměr 1100 mm. Rozvor je 2700 mm a hmotnost 14 t. Maximální výkon motoru je 750 kW. [2]

- **Podvozek dieselelektrické lokomotivy řady 744 (CZ LOKO), (Obrázek 2.24)**

Podvozek má rozvor 2400 mm, průměr kol 1100 mm, hmotnost podvozku je 13,6 tun. Výkon motoru je 366 kW. [2]

- **Třínápravový podvozek dieselelektrické lokomotivy 3LP120A, CZ LOKO**

- **Podvozky dieselhydraulických lokomotiv (Vossloh)**

2.8 Podvozky s vnitřním rámem

Tyto podvozky spoří hmotnost. V minulosti byli běžné u parních lokomotiv. V dnešní době mají podvozky jiné vypružení. Někdy je použita i špalíková brzda aby se uspořila hmotnost.[2]

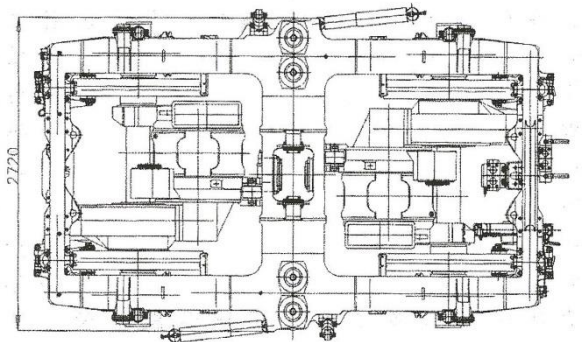
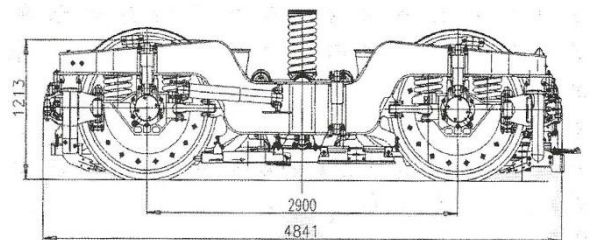
- **Podvozek regionálního vozidla SF 7000 Siemens**

- **Podvozek FLEXX Eco (Bombardier), (Obrázek 2.22)**

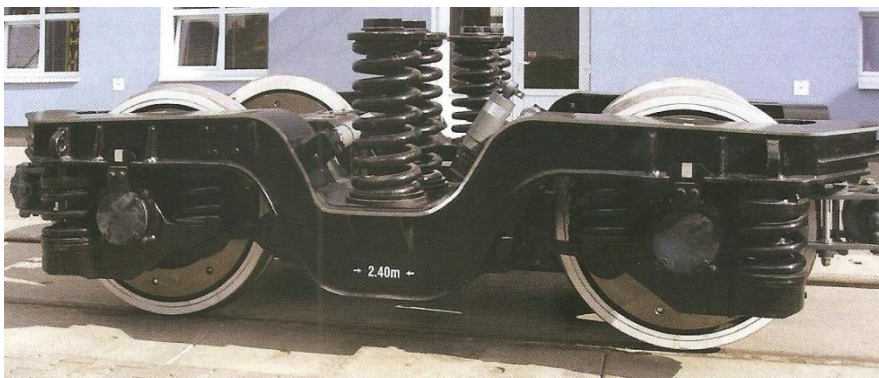
- **Podvozek SF 7500 (SIEMENS)**



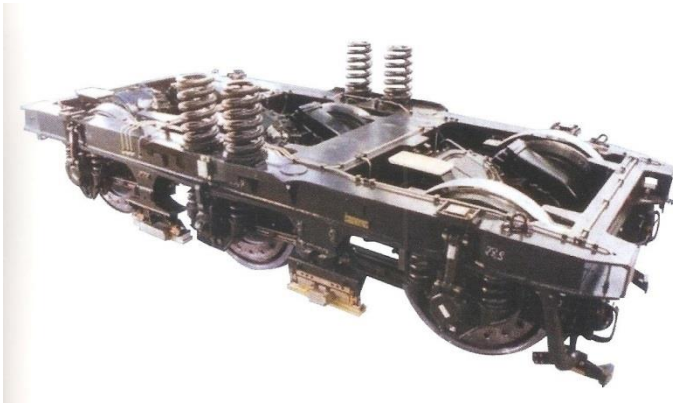
Obrázek 2.22- Podvozek FLEXX Eco [2]



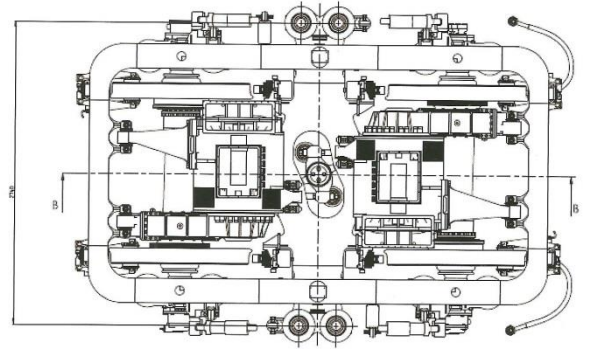
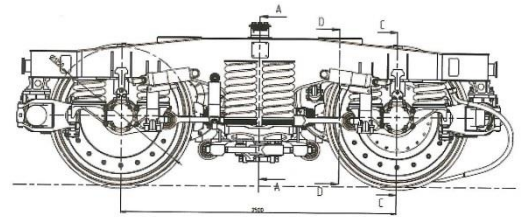
Obrázek 2.23-Podvozek typu SF 3 [2]



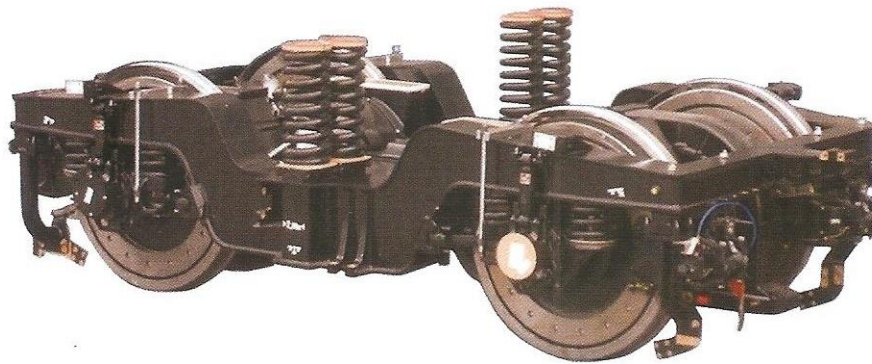
Obrázek 2.24- Podvozek dieselelektrické lokomotivy řady 744 [2]



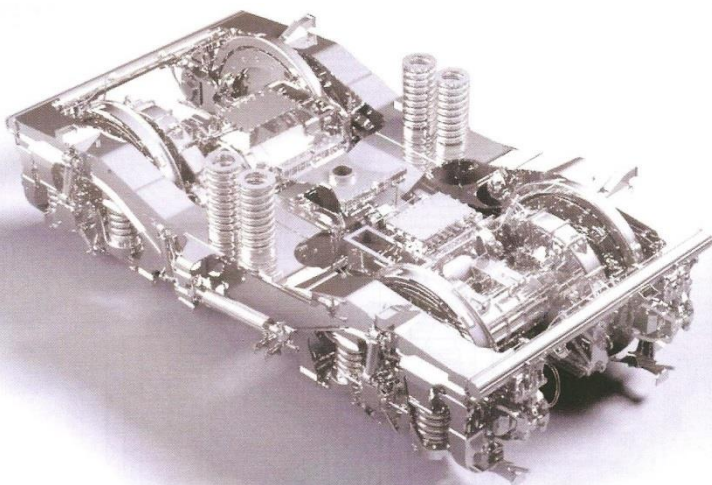
Obrázek 2.28- Třinápravový podvozek LKAB [2]



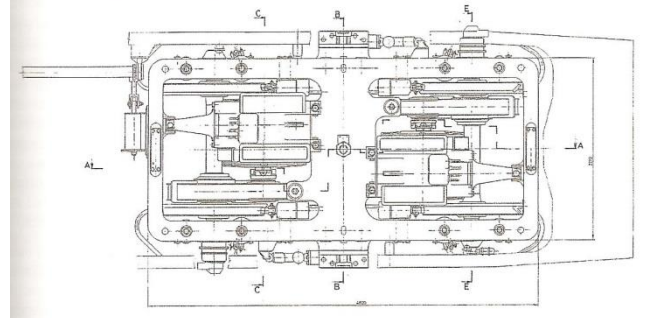
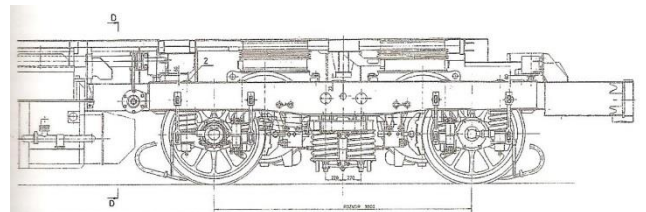
Obrázek 2.29-Podvozek ŠKODA 109 E [2]



Obrázek 2.27- Podvozek typu SF 2 [2]



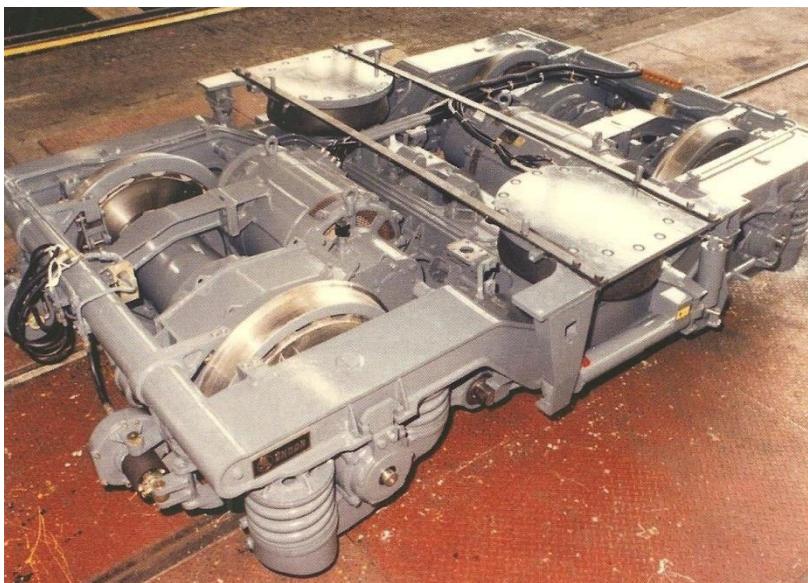
Obrázek 2.25- Podvozek lokomotivy LB1 [2]



Obrázek 2.26-Podvozek lokomotiv ČD, řady 363 [2]

3 JEDNODUCHÝ KONSTRUKČNÍ NÁVRH PODVOZKU PRO VYBRANÉ KOLEJOVÉ VOZIDLO

Hlavním bodem této práce je optimalizace součástí na podvozku, proto konstrukce podvozku není detailně zpracovaná. Jedná se pouze o koncepční návrh podvozku s důležitými prvky a prvky které se budou optimalizovat. Při konstrukci podvozku bylo vycházeno z tvaru, rozměrů a účelové použitelnosti z jednoho vybraného podvozku. Pro konstrukční návrh byl jako předloha vybrán podvozek, ze skupiny pojezdy elektrických jednotek, trakční podvozek elektrické jednotky řady 471 pro ČD (Obrázek 3.1). [2]



Obrázek 3.1- Podvozek elektrické jednotky 471 [2]

3.1 Specifikace podvozku

Tento podvozek je hlavně tvořen z rámu, dvojkolí, dvou trakčních motorů, primárního a sekundárního vypružení a dvojestupňové převodovky. Celková hmotnost podvozku je 12800 kg a rozvor tohoto podvozku je 2600 mm.

Na podvozku leží skříň hnacího vozu řady 471, která je samonosnou konstrukcí z hliníkových profilů. Tento hnací vůz řady 471 má délku přes nárazníky 26 400 mm a hmotnost 62,7 t. [3]

- **Rám**

Rám je svařovaná konstrukce, která se skládá ze dvou podélníků, které jsou ve střední části snižené. Mezi podélníky je hlavní příčník. Příčník má uprostřed díru, ve které bude dále procházet čep od skříně trakčního vozu. Dále se zde nachází čelníky, kde jsou přivařeny komponenty pro držení trakčního motoru a převodovky. Z toho vyplývá, že zde bude krutové namáhání, proto čelníky mají trubkový průřez. Rám je doplněn konzolami, které jsou důležité pro funkci podvozku. Rám je tuhý a splňuje podmínku pro přenos co možná nejmenších pružných deformací. [2]

- **Dvojkolí**

Dvojkolí je tvořeno koly o průměru 920 mm a dutou nápravou. Dvojkolí je uloženo v ložiskové skříně, u které je primární vypružení a vedení. Vedení je uskutečněno ojníčkou, spojující ložiskovou skříně a podélník. V ojničce jsou vytvořené oka, v kterých jsou vloženy silentbloky. Primární vypružení je tvořeno dvěma pružinami, které mají efekt flexi-coil¹, a tlumičem. U ložiskové skříně je ještě připevněná podchytka, ta zajišťuje dvojkolí při nadzvednutí podvozku. [2]

O přenos výkonu se stará dutá kloubová hřídel objímající nápravu. Je výhodná nejen pro vozidla s vysokou rychlostí. Je to tím, že má nízkou hmotnost nevypružených hmot. Přenos kroutícího momentu od motoru na dvojkolí je realizováno pomocí ojníčkového mechanismu, který je jak na jedné straně duté kloubové hřídele, tak i na druhé straně. Na druhé straně duté hřídele je přes tento mechanismus přenesen výkon na unašeč, který je pevně spojen s dvojkolím. [2]

- **Trakční motor**

Asynchronní trakční motor se zapojením statorového vynutí do dvojité hvězdy má výkon 500 kW. Maximální otáčky tohoto motoru jsou 4120 ot/min Tyto motory mají vlastní chlazení. [2]

- **Sekundární vypružení**

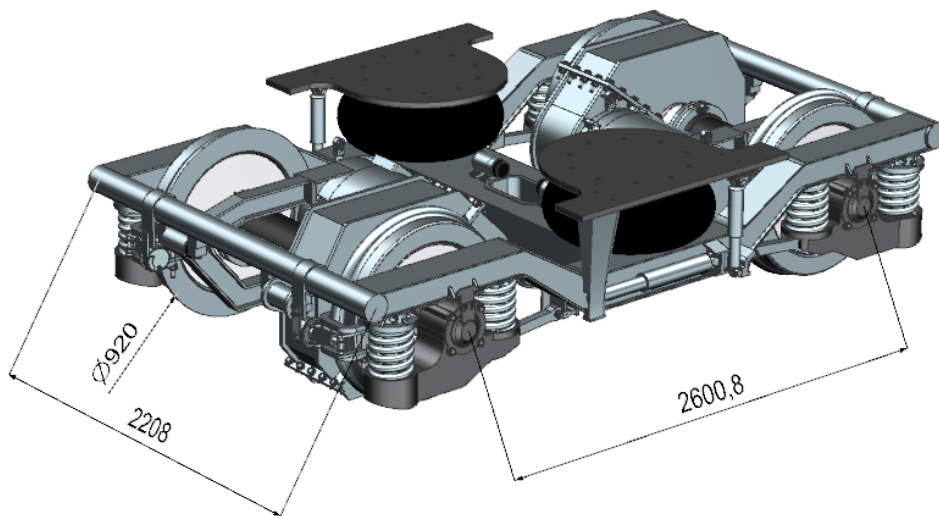
Sekundární vypružení je pneumatické, které umožňuje naklánět podvozek v oblouku, bez použití kolébky. Další funkce pneumatického vypružení je konstantní změna výšky podlahy od temene kolejnice, což je důležité u dvojpodlažních vozidel. [2]

Skříně je položena na horní desce pružiny. Uvnitř pružiny je silentblok s kluznou deskou, který slouží jako pojistka při ztrátě vzduchu v měchu pružiny. Dále je zde podélný hydraulický tlumič, který tlumí vrtivý pohyb podvozku, svislý tlumič a příčný tlumič. [2]

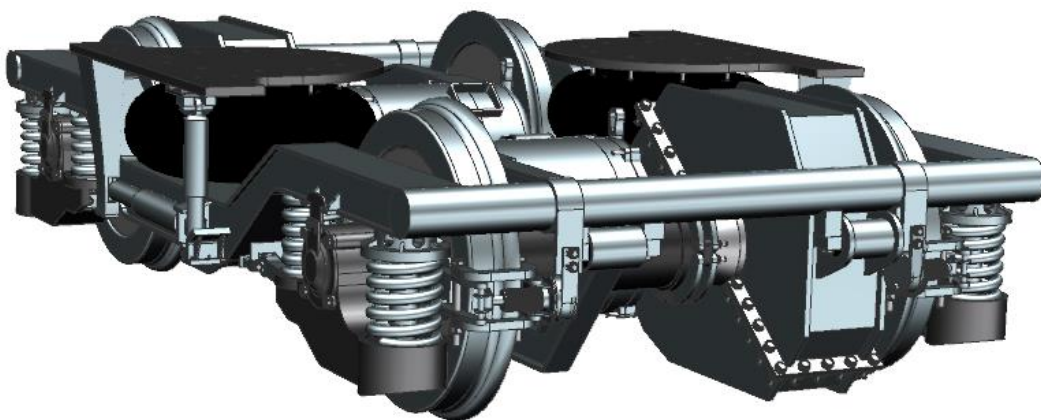
¹ Lze přenášet osově i příčné zatížení [10]

3.2 Konstrukční návrh

V konstruování se vycházelo z výše uvedených informací. Jednotlivé díly sestavy nejsou konstruované do detailu. Jedná se pouze o návrh konstrukčního řešení. Prvky byly vytvářeny tak, aby si vzájemně nepřekážely, a při příležitostném detailním dopracování splnily svojí funkci. Při konstruování se dodrželi rozměry rozchodu a rozvoru podvozku. Kola mají stejný průměr jako podvozek, ze kterého se vycházelo. Ostatní rozměry byly voleny podle toho, aby díly svou velikostí a tvarem přibližně odpovídaly předloze. Tento způsob konstrukčního návrhu byl zvolen, protože jiné rozměry než základní nebyly známy. Tento podvozek obsahuje základní díly podvozku viz příloha 1: Výkres sestavy.



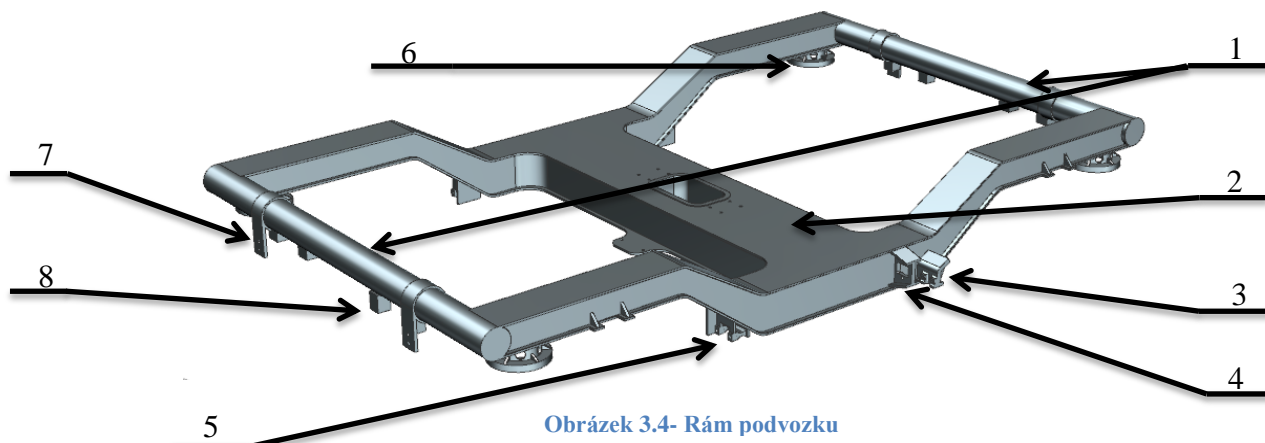
Obrázek 3.2- Konstrukční návrh podvozku



Obrázek 3.3- Konstrukční návrh podvozku

- **Rám**

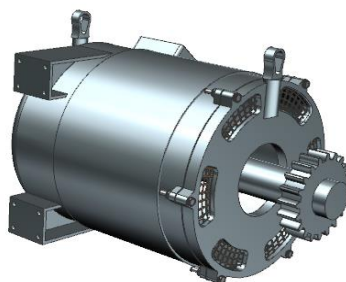
Rám je navržen jako dutá svařovaná konstrukce. Dva krajní příčnický (poz.1) mají průřez mezikruží a příčnick uprostřed (poz.2) je vyztužen žebry. Na rámu jsou dále pevně připevněny konzole pro tlumiče (poz.3 a 4), konzole pro ojníčkový mechanismus (poz.5), dosedací plochy pro pružiny primárního vypružení (poz.6), držáky brzdy a převodové skříně s motorem (poz.7 a 8).



Obrázek 3.4- Rám podvozku

- **Trakční motor**

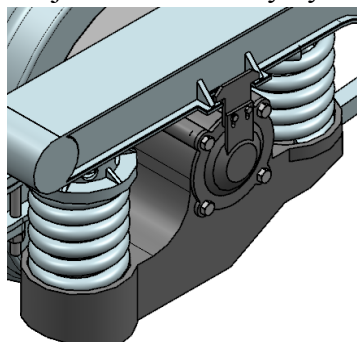
Trakční motor je zde pouze jako součást, která je důležitým dílem na podvozku. Při navrhování je zde jako hrubý návrh.



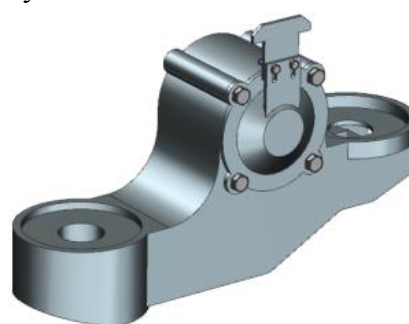
Obrázek 3.5- Trakční motor

- **Primární vypružení**

Primární vypružení je tvořeno dvěma pružinami, primárním tlumičem a ložiskem. Tlumič prochází středem jedné pružiny a je z jedné strany uchycen v ložisko a z druhé strany k rámu. Ložisko bylo navrženo tak, aby bylo možné tlumič uchytit. Dále ložisko slouží k uchycení ojníčky, proto je i z druhé strany vytvořen prostor pro uchycení.



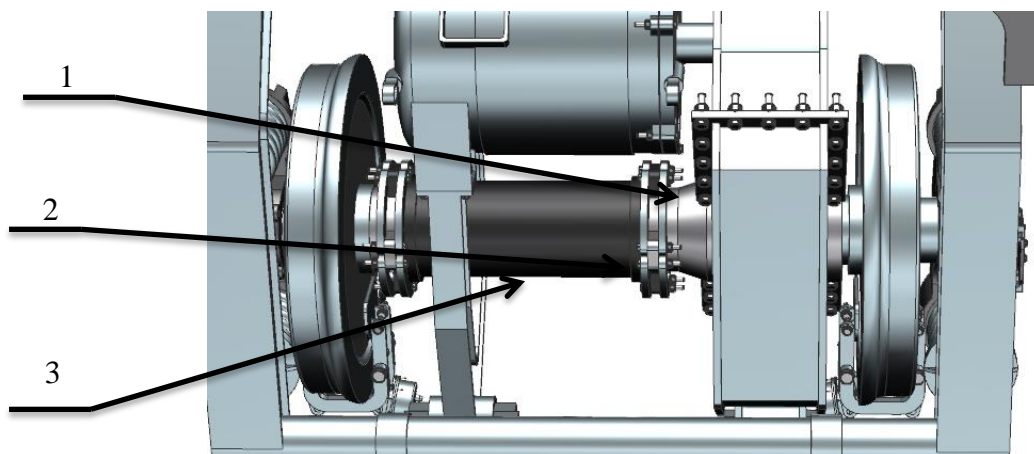
Obrázek 3.7- Primární vypružení



Obrázek 3.6- Ložisko

- **Převodový mechanismus**

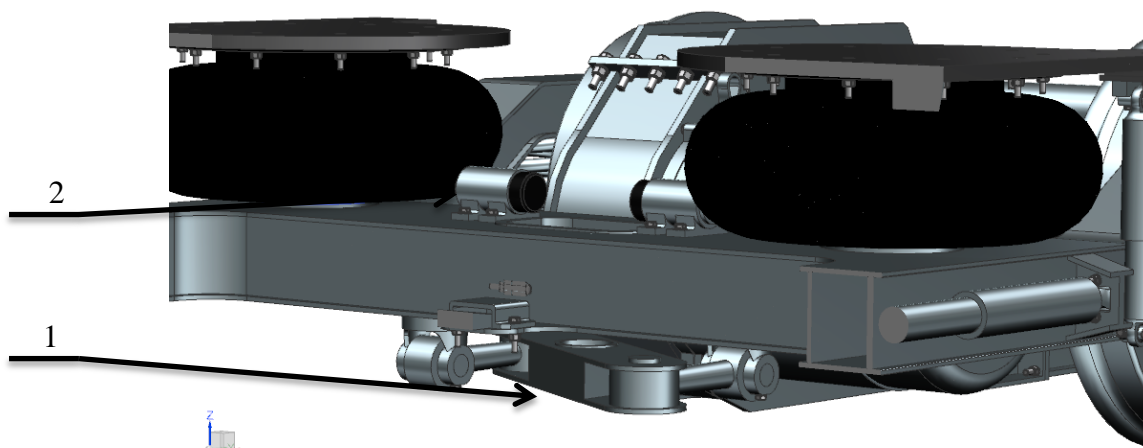
Pro přenos kroutícího momentu z motoru na nápravu je použita dvojstupňová převodovka a dutá kloubová hřídel. [2] Ozubené kolo převodovky není uloženo na nápravě ale na trubce (poz.1). Trubka je pomocí unašečů s pružnými prvky (poz.2) spojena s dutou hřídelí (poz.3). Přenos výkonu na dvojkolí se uskutečňuje až na druhé straně hřídele opět přes pružné prvky.



Obrázek 3.8- Převodový mechanismus

- **Vazba mezi podvozkem a skříní vlaku**

Skříň vlaku bude ležet na horní desce pneumatické pružiny. Další vazba mezi skříní a podvozkem bude pomocí otočného čepu. Ten prochází příčným rámem. [2] Pod rámem je tento otočný čep uchycen do vahadla (poz.1). Připojení vahadla umožňuje pohyb skříně při pružení. Vahadlo je navrženo tak, aby se mohlo pohybovat ve svislém i příčném směru. Příčný směr je ještě omezen příčnými silentbloky (poz.2).



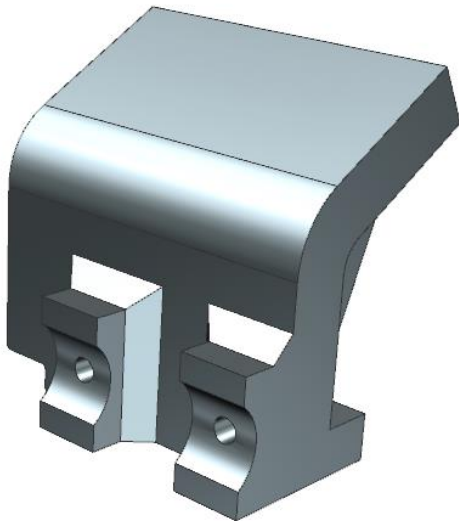
Obrázek 3.9- Vazba mezi podvozkem a skříní

3.3 Výběr dílu na optimalizaci

Na optimalizaci byla vybrána svislá konzole. Tato konzole přenáší sílu mezi rámem a tekutinovým tlumičem (Obrázek 3.12). Konzole je pevně spojena s rámem.

- **Konzole svislého tlumiče**

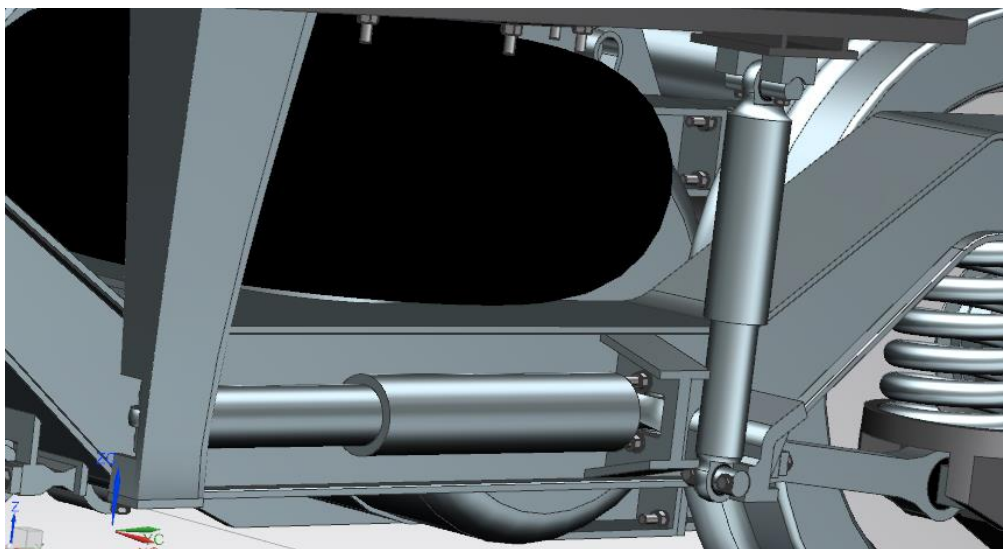
Tato konzola je přivařená k rámu. Na konzolu je připojený tekutinový svislý tlumič, který tlumí sekundární vypružení ve svislém směru. Tyto tlumiče mají určitou maximální hodnotu tlumení, v našem případě se jedná o 25 kN. [4] Na konci tlumiče je vytvořeno oko a v něm vsazen silentblok, kterým bude tlumič spojen s konzolou. Spojení bude pomocí šroubů, přičemž v konzoli bude vytvořený závit. Dosedací plochy silentbloku jsou válcové, proto na konzoli bude vytvořena válcová drážka (Obrázek 3.11). Na straně, kde se bude konzola přivařovat k rámu, je uděláno rozšíření. Dále zde budou dvě žebra (Obrázek 3.10). Rozšíření a žebra jsou zde z důvodu minimalizace napětí a deformace.



Obrázek 3.11- Konzola svislého tlumiče (pohled přední)



Obrázek 3.10- Konzola svislého tlumiče (pohled zadní)



Obrázek 3.12- Spojení konzole s tlumiči a rámem

3.4 Výpočet dílu

Pro výpočet konzole se nejdříve musí určit síla, která bude na konzoli působit. Na svislé konzole je připevněn tlumič, který vyrovnává nerovnosti při pružení v pneumatické pružině. Je předpokládáno, že i kdyby se ztratil tlak v pružině, hmotnost vozidla by přenesl silentblok. Konzola proto bude namáhaná silou, kterou tlumič vyvíjí na tlumení pružení v pneumatické pružině. Velikost síly, kterou tlumič tlumí je dána typem a výrobcem tlumičů. V této práci jsou zvoleny tlumiče stejného typu jako na předloze, kterými jsou kapalinové tlumiče. Tlumiče jsou zvoleny z katalogu firmy Strojírna Oslavany. Pro danou konzoli je zvolen tlumič P8 (Obrázek 3.13), který je pro sekundární svislé tlumení. Tento tlumič má maximální tlumicí sílu 25 kN. Při výpočtu se tedy bude uvažovat tato maximální síla, která se bude přenášet na uchycení tlumičů na konzole. [4] [2]



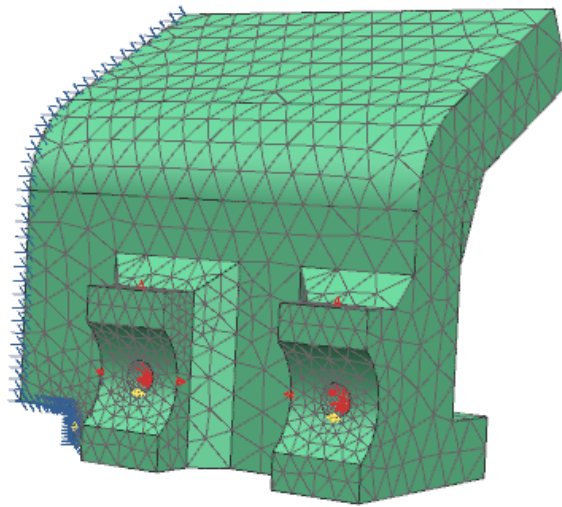
Obrázek 3.13- Sekundární tlumič svislý P8 [4]

3.4.1 Výpočet pomocí metodou konečných prvků

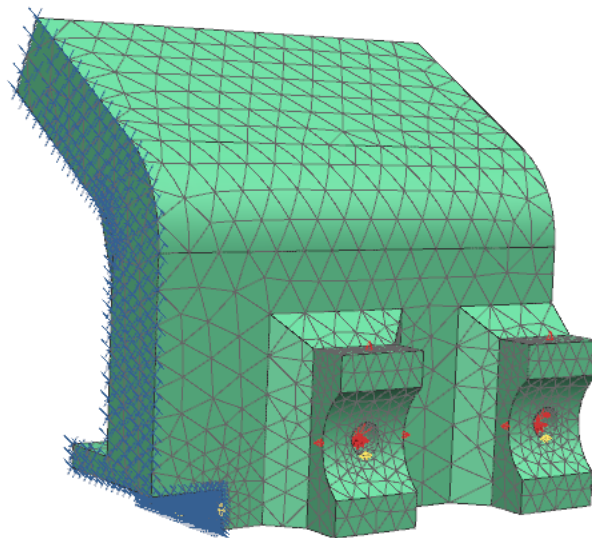
Metoda konečných prvků (dále jen MKP) je používána pro řešení problémů inženýrských a matematických modelů. MKP je numerická metoda pro řešení parciálních diferenciálních rovnic, a to buď ve dvou, nebo třech prostorových proměnných. Pro vypočítání celého modelu rozdělí MKP tento model na menší a jednodušší části. Tyto části se nazývají konečné prvky, které mohou být v různém tvaru, a mohou mít různý počet uzlů. Vypočítají se všechny rovnice, které patří ke každému prvku. Po spojení dohromady všech rovnic, je vypočítané celé těleso. Při vytváření prvků v tělese lze ovlivnit počet prvků, které tam budou. Při zvolení více prvků bude výpočet přesnější, ale výpočet může trvat déle. Jako výsledek výpočtu lze určit prodloužení, napětí a reakční sílu. Ve výpočtu zadaných konzol bude důležité hlavně napětí, které vznikne při zatížení. Při výpočtu nesmí vyjít na modelu napětí větší než je mez pevnosti zvoleného materiálu. [5]

- **Výpočet konzole svislého tlumiče**

Před zasítováním byly odstraněny některé rádiusy, aby později nevadily při vazbení. Konzola svislého tlumiče je zasítovaná prvkem typu CTETRA(10) o velikosti 10 mm. Jsou upraveny hrany a plochy co budou namáhané nejvíce, a to tím, že se zmenší prvky. Materiál pro výpočet byla zvolena ocel. Když je zasítování hotové, můžou se začít tvořit vazby a přidávat zatížení. Vazba bude pevná, protože v daném místě bude konzola přivařená k rámu. Pevná vazba znázorněna na obrázku modře (Obrázek 3.14). Síly o součtové velikosti 25000 N, které budou působit v díře, jsou znázorněné červeně (Obrázek 3.15).



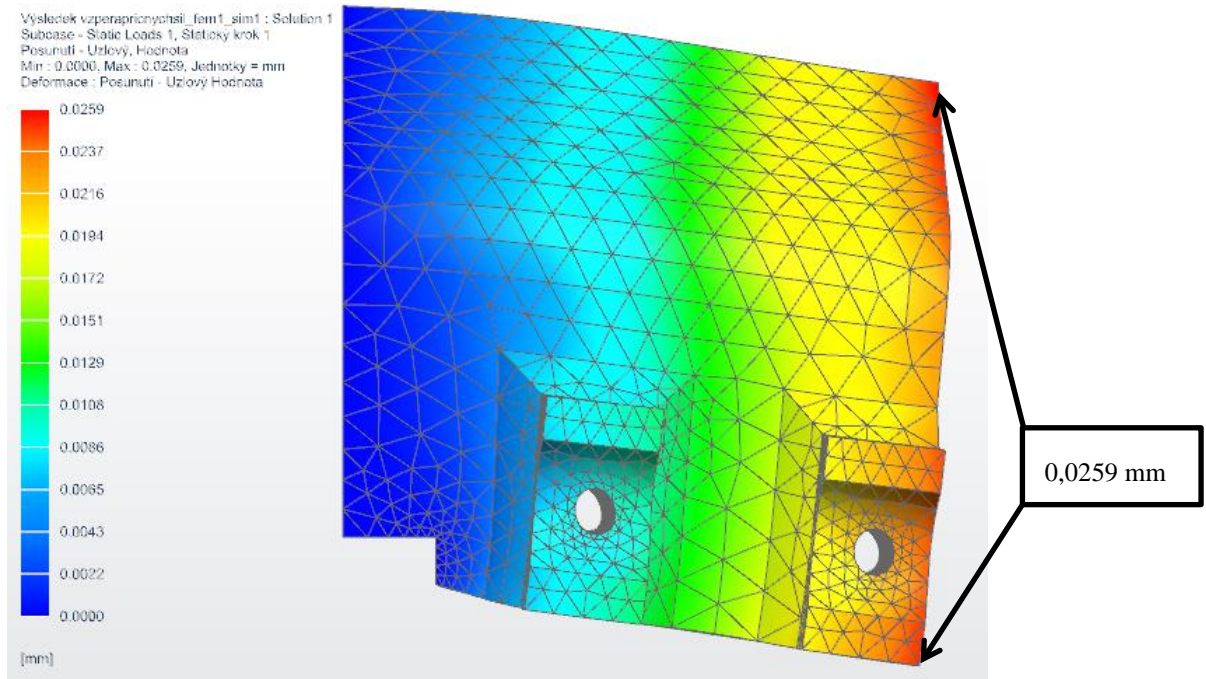
Obrázek 3.15- Zasítovaný model (pohled pravý)



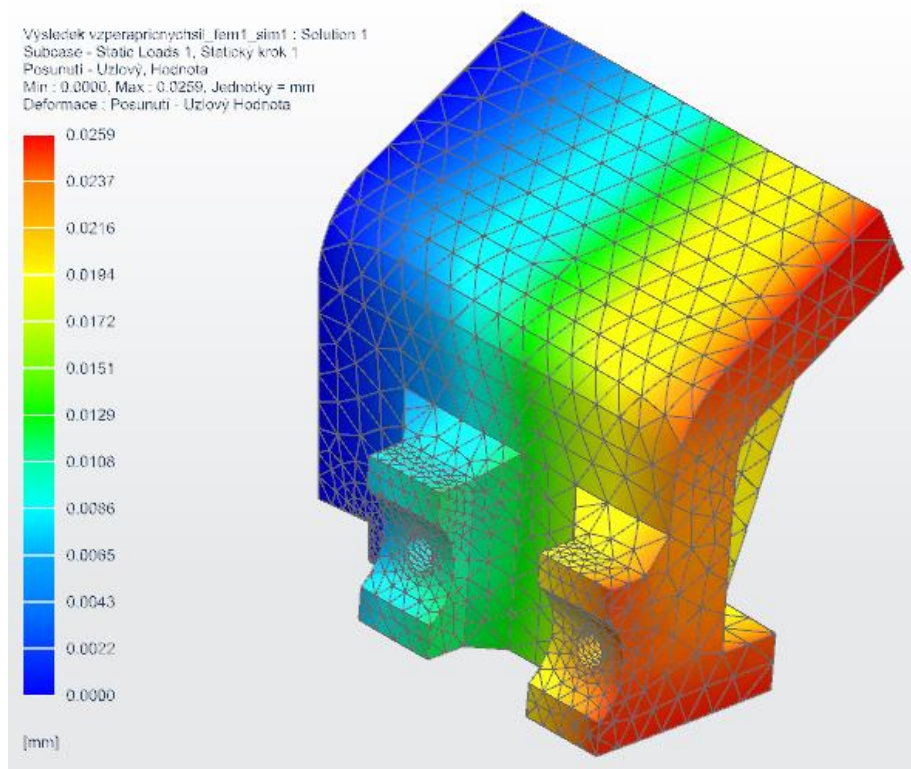
Obrázek 3.14- Zasítovaný model (pohled levý)

Poté co jsou všechny parametry správně, proběhne výpočet, a simulace ukáže kde a jak velké deformace a napětí působí na model.

Obrázek 3.17 popisuje průběh deformace modelu konzole. Maximální deformace je 0,0259 mm. Na obrázku je též vidět, že maximální deformace bude působit na volné straně konzole.

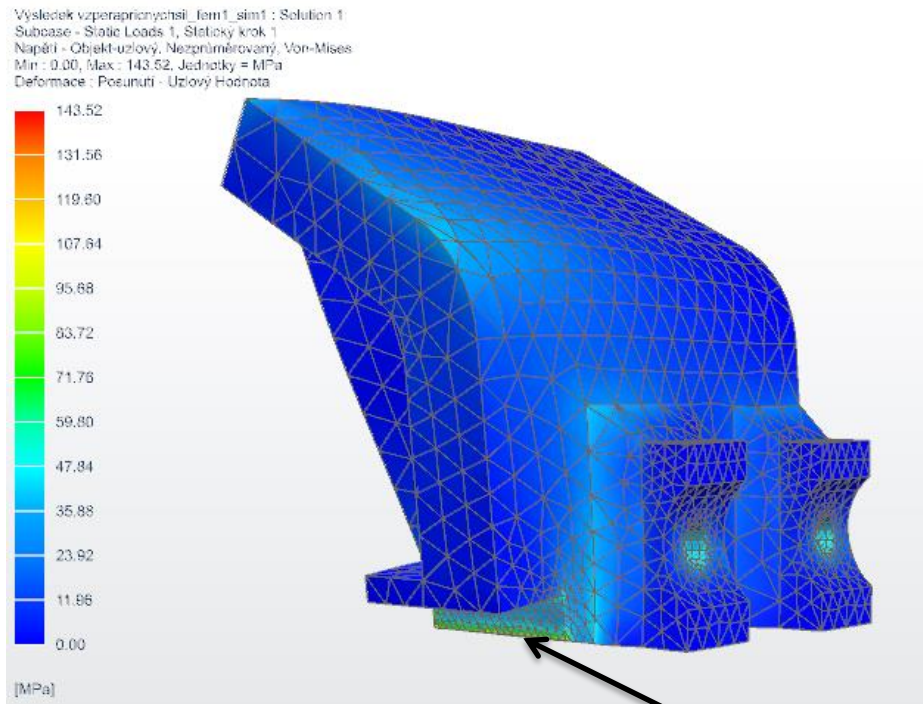


Obrázek 3.16- Deformace modelu (pohled přední)

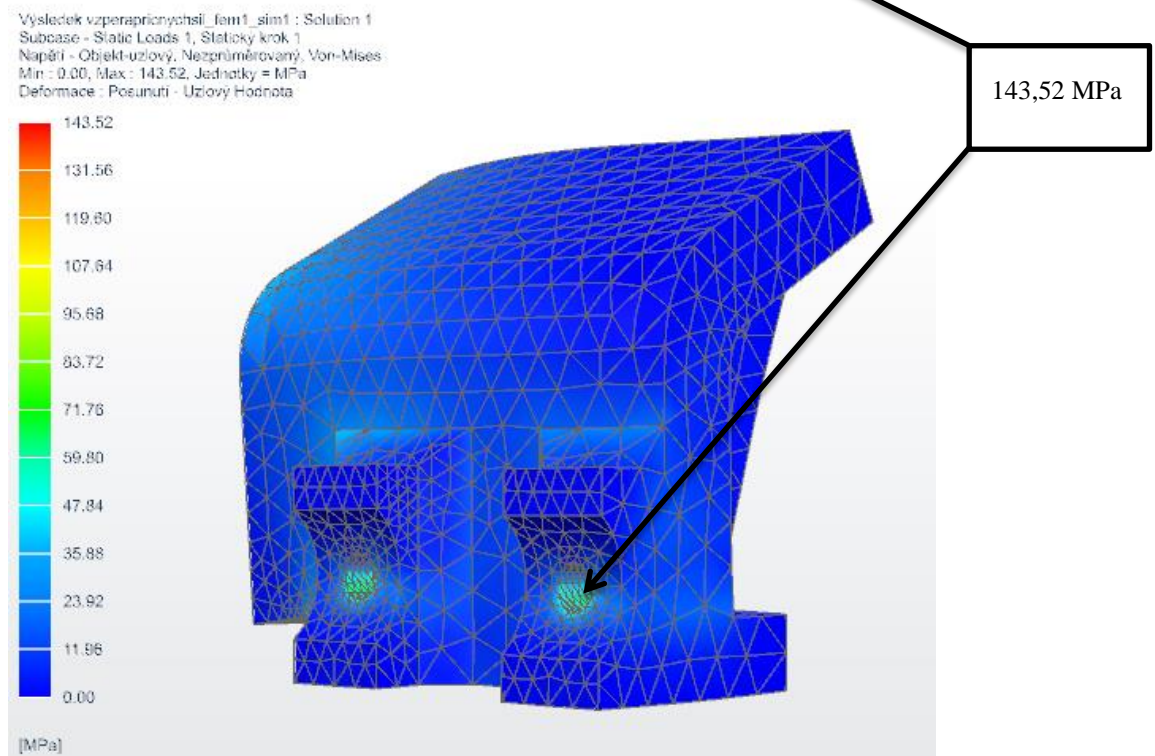


Obrázek 3.17- Deformace modelu

Při určení napětí vycházet z napětí uzlového, protože tam bude největší. Napětí bude největší v místě přenosu sil a také v místě, kde konzole bude přivařena. Takto připevněnou konzoli si lze představit jako vetknutý nosník, který má v místě vetknutí největší napětí. Maximální napětí bude 143,52 MPa, což splňuje podmínku pevnosti materiálu.



Obrázek 3.19- Průběh napětí (pohled levý)



Obrázek 3.18- Průběh napětí (pohled pravý)

4 OPTIMALIZACE VYBRANÉHO DÍLU PODVOZKU

Optimalizace je zlepšení vlastností daného objektu, kde se většinou jedná o regulaci hmotnosti. V této práci půjde o optimalizaci designu, která zahrnuje optimalizaci hmotnosti. Optimalizace designu však není jen o snížení hmotnosti, ale patří sem i maximalizace výkonu a efektivity materiálových aplikací při minimálních nákladech na životní prostředí. [6]

Tyto optimalizace lze rozdělit do tří kategorií:

- **Optimalizace velikosti**

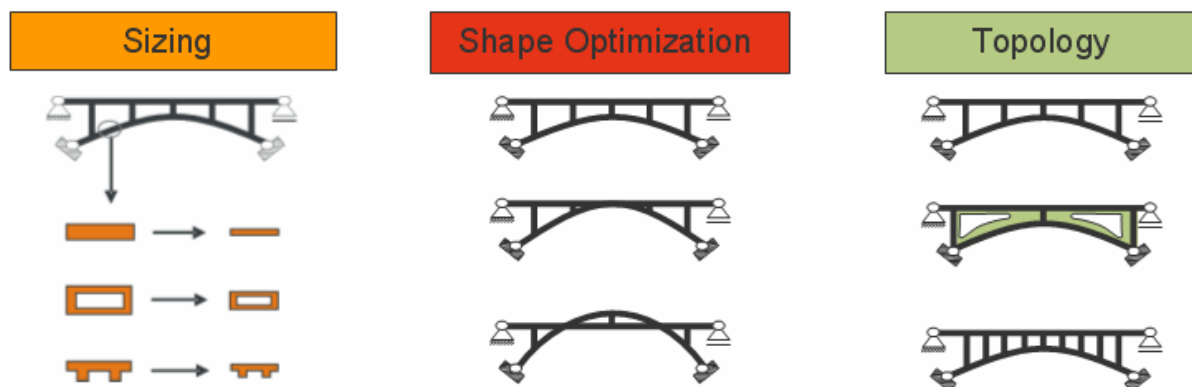
Jedná se o optimalizaci beze změny obecného tvaru. Najde se optimální tloušťka součásti ve vztahu k její hmotnosti, tuhosti a dynamickému chování. [6]

- **Optimalizace tvaru**

Tato optimalizace určuje optimální tvar součásti s danými tloušťkami, tím že mění geometrii povrchu. Díky tomu se minimalizují napětí, které ovlivňují únavovou životnost. [6]

- **Optimalizace topologie**

Optimalizace topologie je matematická metoda, která optimalizuje rozložení materiálu v dané součásti pro zadané zatížení a okrajových podmínek. Cílem je maximalizovat výkon systému. [6] Na rozdíl od optimalizace velikosti a tvaru lze struktura dosažená optimalizací topologie dosáhnout libovolného tvaru. Pokud tedy budou díly vyráběny aditivní metodou, tvar může být prakticky jakýkoliv. Ale pokud budou díly vyráběny konvenčními metody, musí se tvar dílu upravit po optimalizaci na podobně přijatelný tvar. [7]



Obrázek 4.1- typy Optimalizace (zleva) velikosti, tvaru, topologie [8]

Vzhledem k tomu jaká komponenta se zvolila k optimalizaci, je zvolena optimalizace topologie.

4.1 Použití optimalizace topologie [7]

Při nastavování optimalizace topologie se nejdříve definuje konstrukční prostor. To je ta oblast, která se použije pro optimalizaci. Při provádění optimalizace se odstraní materiál z návrhového prostoru, který není potřebný. Topologie nemůže přidat materiál, z toho důvodu se musí před samotnou optimalizací zvětšit prostor, aby se materiál mohl ubírat, než najde nejlepší topologii.

Poté se nastaví geometrické omezení. Tyto omezení zamezují změny, které mohou být provedené v topologii. Jsou to vlastně oblasti, které se během procesu optimalizace nemohou změnit. Například polohy děr, funkční plochy nebo vetknuté plochy.

Cíl optimalizace je dosáhnout maximální tuhost při minimálním objemu modelu. Tím jak se minimalizuje energie napětí v modelu, zvýší se tuhost.

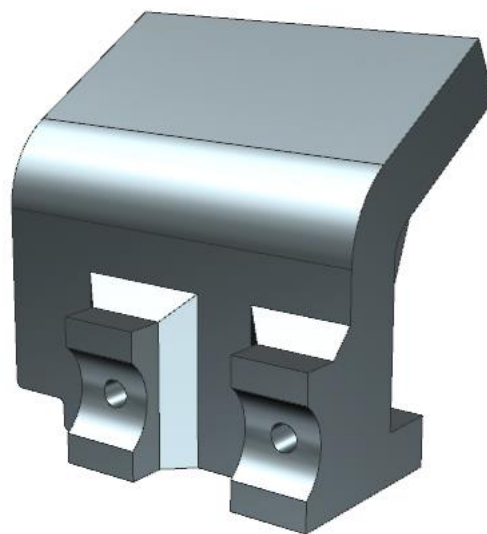
4.2 Optimalizace dílů

4.2.1 Optimalizace konzole svislého tlumiče

Optimalizace vychází z koncepce navržené svislé konzole, viz kapitola 3.3. Pro optimalizaci topologie byla koncepce této konzole upravena. Úpravy proběhly ve velikosti a tvaru. Jak už bylo řečeno výše, topologická optimalizace ubírá materiál, proto u stávajícího modelu byly vytvořeny nové plochy. Celkový model byl hmotnostně zvětšen více jak na násobek své původní váhy. Poté už bylo možné, aby topologická optimalizace mohla odebírat materiál tak, aby výsledný tvar konzole měl stejnou váhu jako původní koncepce.

- ***Původní koncepce***

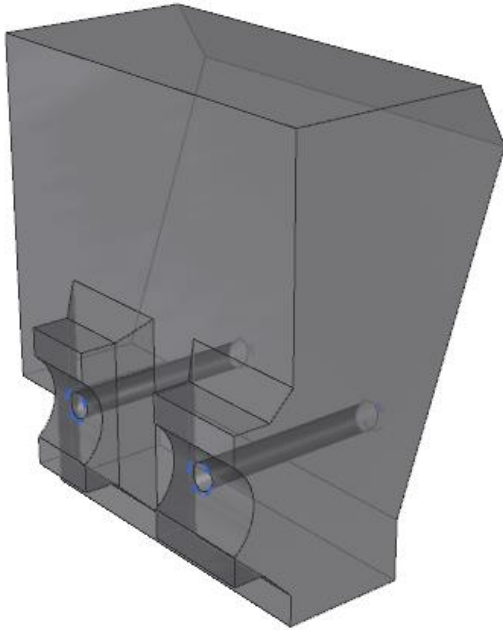
Podrobný popis dílu je popsán v kapitole 3.3 (oddíl konzola svislého tlumiče). Zde jen možno dodat, že váha dílu je 4,07 kg. Tato hodnota byla odečtena z modelovacího programu.



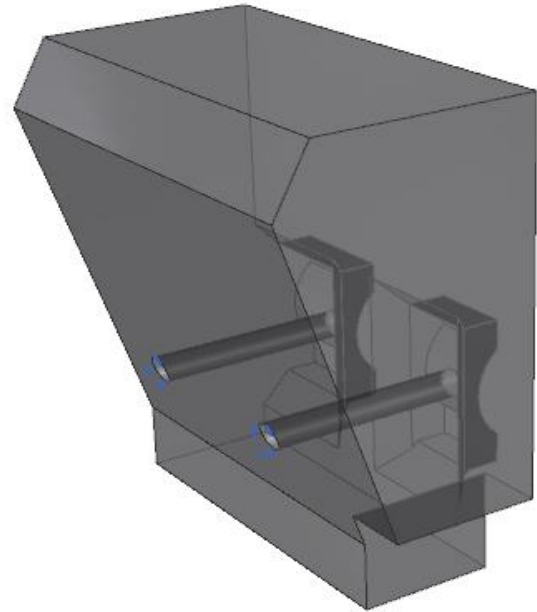
Obrázek 4.2- Svislá konzole (původní koncepce)

- ***Upravený model***

Tento model je upravený tak, aby byl připravený na optimalizaci. Tento model váží 8,93 kg.



Obrázek 4.4- Upravený model (pohled pravý)

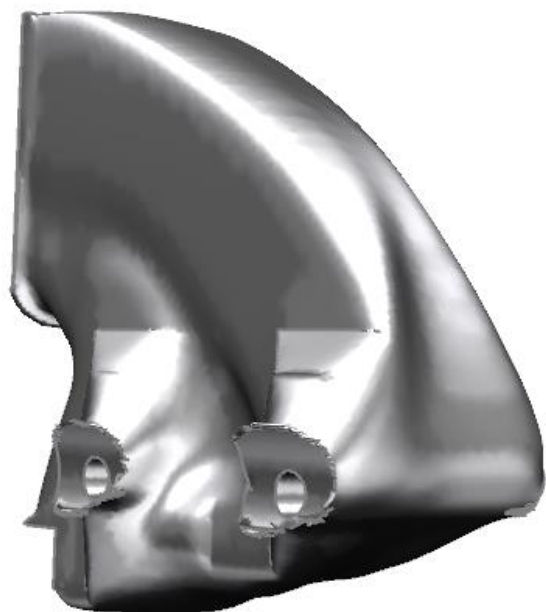


Obrázek 4.3- Upravený model (pohled levý)

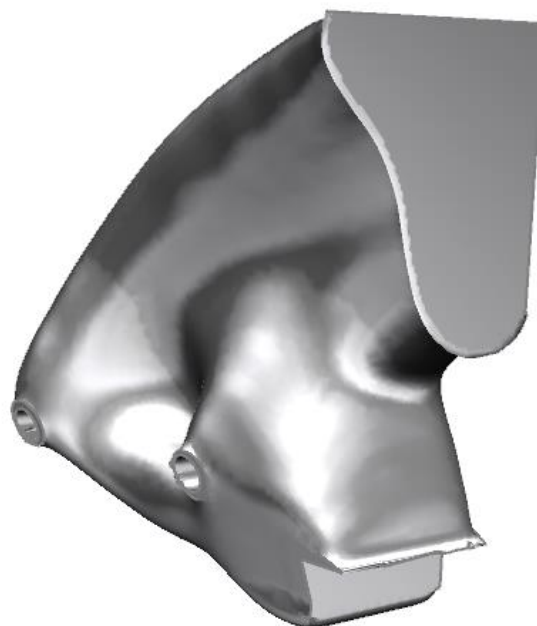
- ***Výsledek optimalizace***

Než proběhne optimalizace, musí se určit na upraveném modelu vazby a působení sil. Dále se určí, jakou výslednou hmotnost bude mít těleso, které podlehne optimalizaci. V tomto případě je určena hmotnost 3,6 kg. Hmotnost je snížena přibližně o 0,4 kg od původní koncepce, protože po výsledné optimalizaci se bude tvořit nový model, který sice bude podobný tvaru po optimalizaci, ale nebude úplně stejný. Při vyrovnávání nerovností dojde ke zpětnému nárůstu hmotnosti na 4 kg.

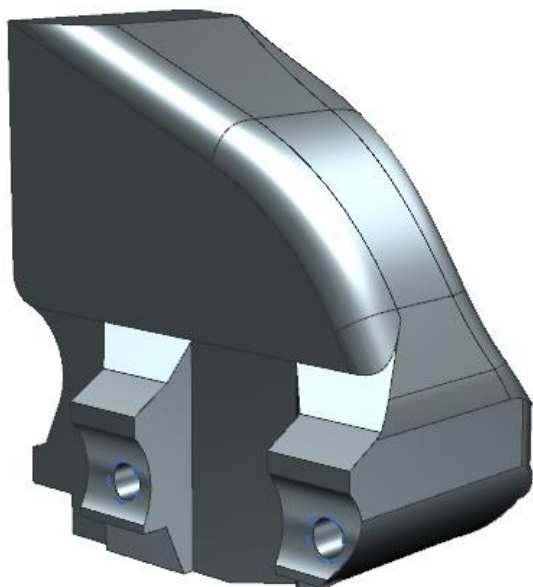
Výsledný tvar optimalizace je vytvořen tak, aby při zatížení nedocházelo k posunutí a velkým napětí jako to bylo u navrhnutého dílu. Zda optimalizace proběhla v pořádku, zjistí opětovný výpočet metodou MKP.



Obrázek 4.8- Výsledný tvar optimalizace (pohled pravý)



Obrázek 4.7- Výsledný tvar optimalizace (pohled levý)



Obrázek 4.6- Výsledný díl (pohled pravý)

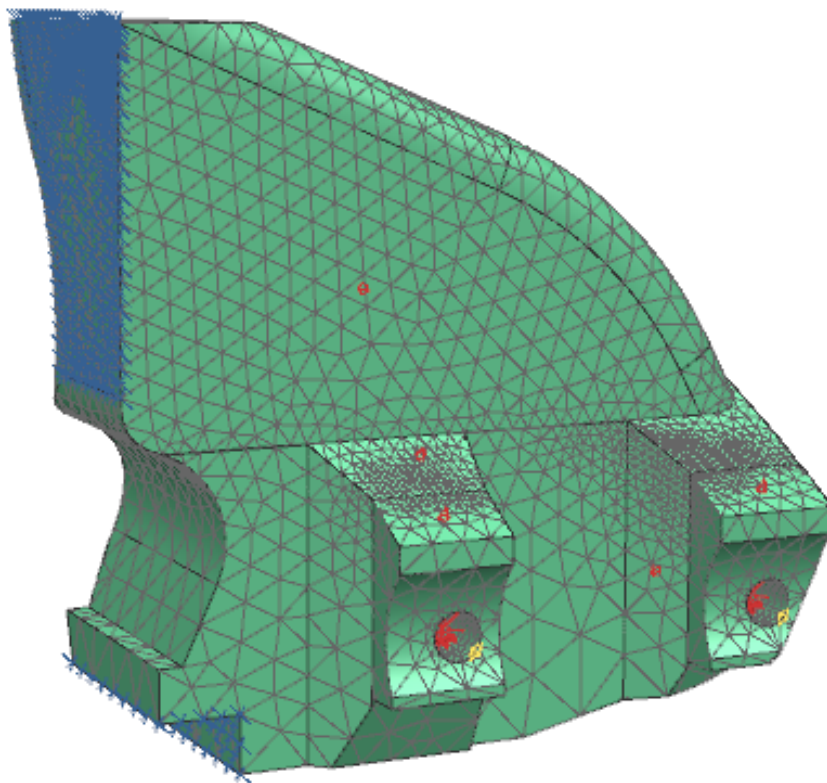


Obrázek 4.5- Výsledný díl (pohled levý)

5 VÝPOČET VYBRANÉHO DÍLU

5.1 Výpočet konzole svislého tlumiče

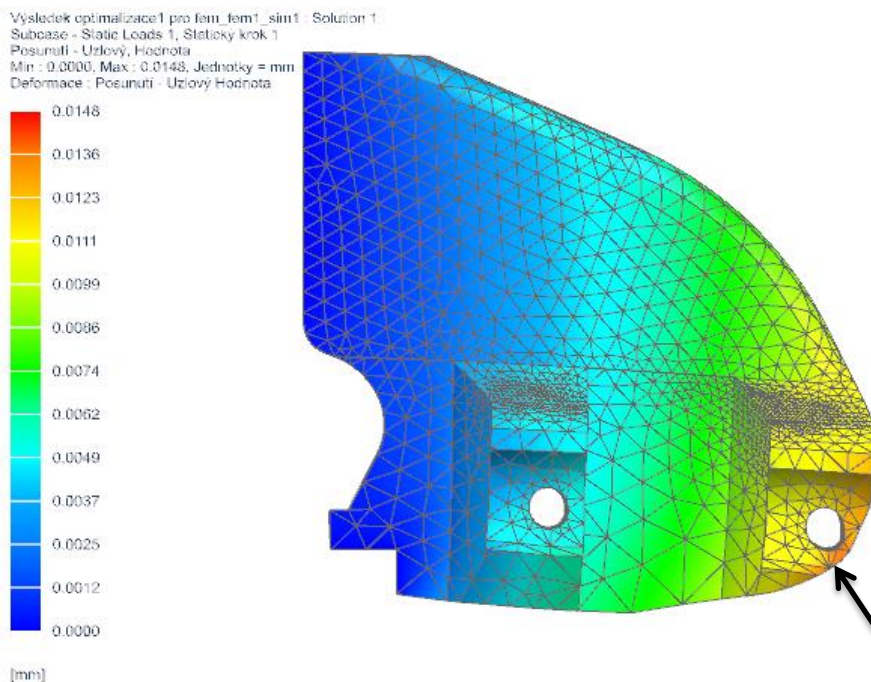
Konzola svislého tlumiče je zasítovaná prvkem typu CTETRA(10) o velikosti 13 mm. Hrany, co budou namáhané nejvíce, budou mít zmenšené prvky. Materiál pro výpočet je zvolena ocel. Na konzoli bude přidělena pevná vazba (modře viz Obrázek 5.1), a to na plochách, které budou ve spojení s rámem. V dírách budou působit síly, které působí stejně, jako na základní koncept viz kapitola 3.4. Tato síla je 25000N(červeně viz Obrázek 5.1).



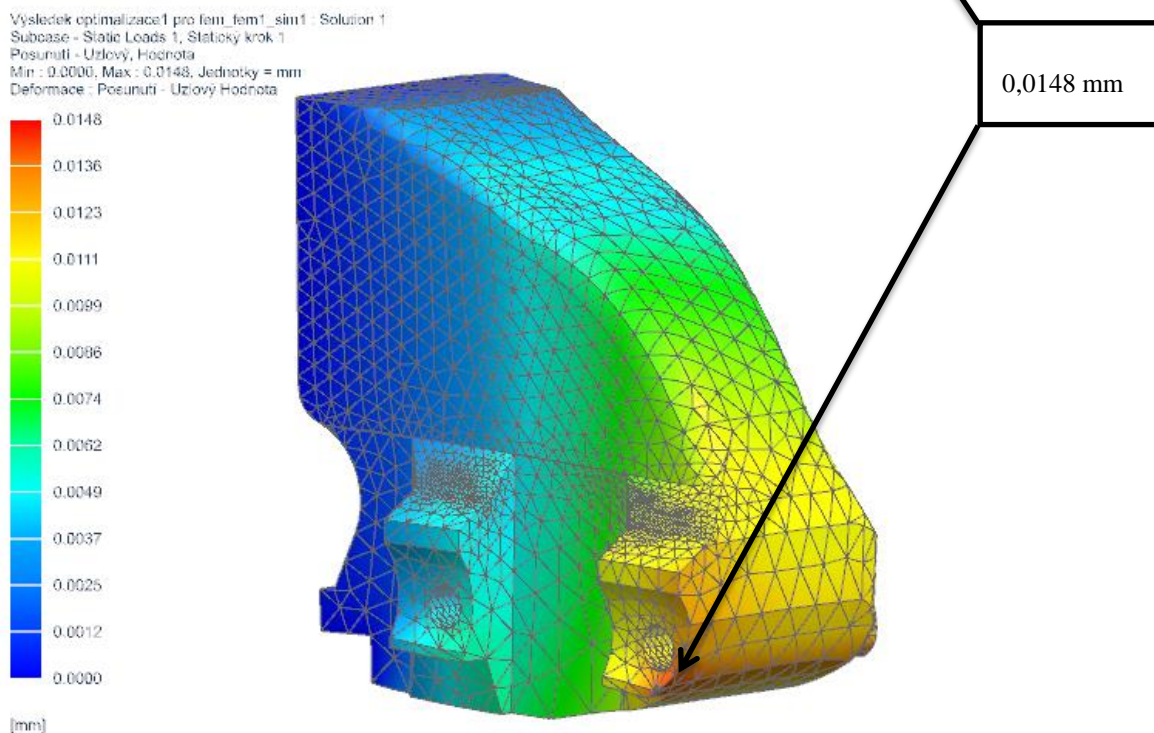
Obrázek 5.1- Zasítovaný nový model

5.1.1 Deformace dílu

Po průběhu výpočtu výsledky naznačují, že optimalizovaný díl konzole má menší deformaci než koncept. Zatímco deformace u konceptu byla 0,0259mm, u optimalizovaného dílu je to maximálně 0,0148 mm. Průběh deformace lze odečíst viz Obrázek 5.3 a Obrázek 5.2.



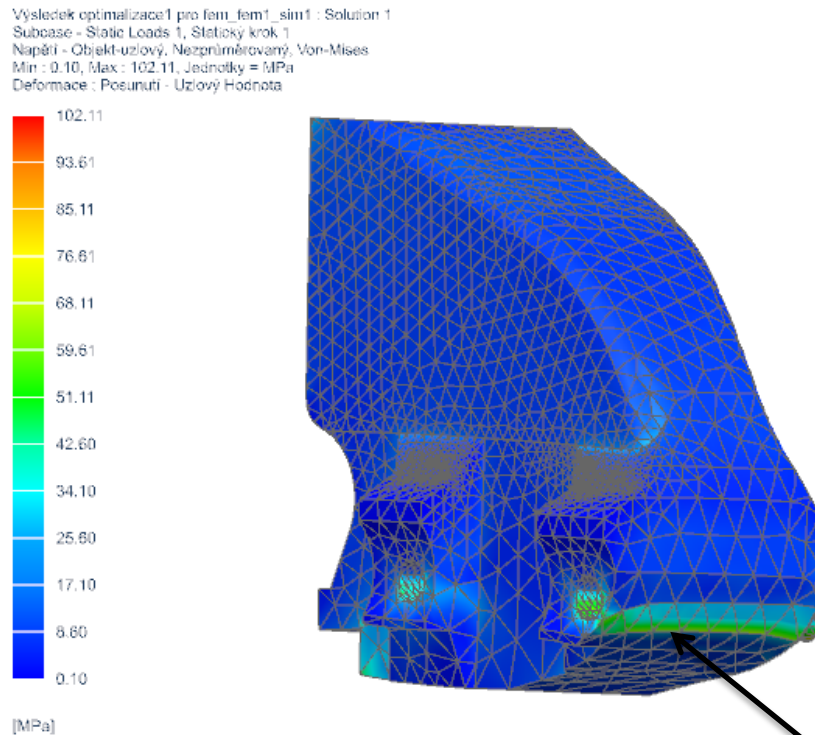
Obrázek 5.3- Deformace modelu (pohled přední)



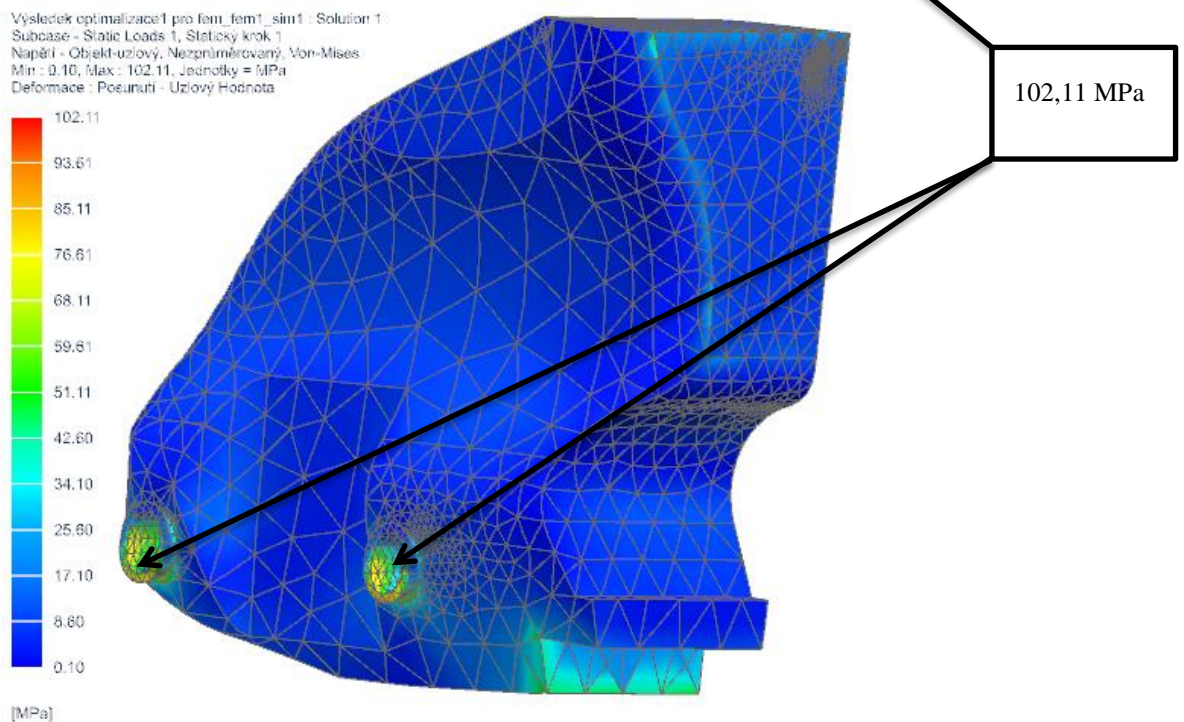
Obrázek 5.2- Deformace modelu (pohled pravý)

5.1.2 Uzlové napětí dílu

Optimalizovaný díl má menší napětí než navrhovaný díl. U tohoto optimalizovaného dílu je maximální napětí 102,11 MPa, což je zhruba o 41 MPa méně než u předchozího výsledku. Průběh celého napětí lze odečíst viz Obrázek 5.4.



Obrázek 5.4- Průběh napětí (pohled pravý)



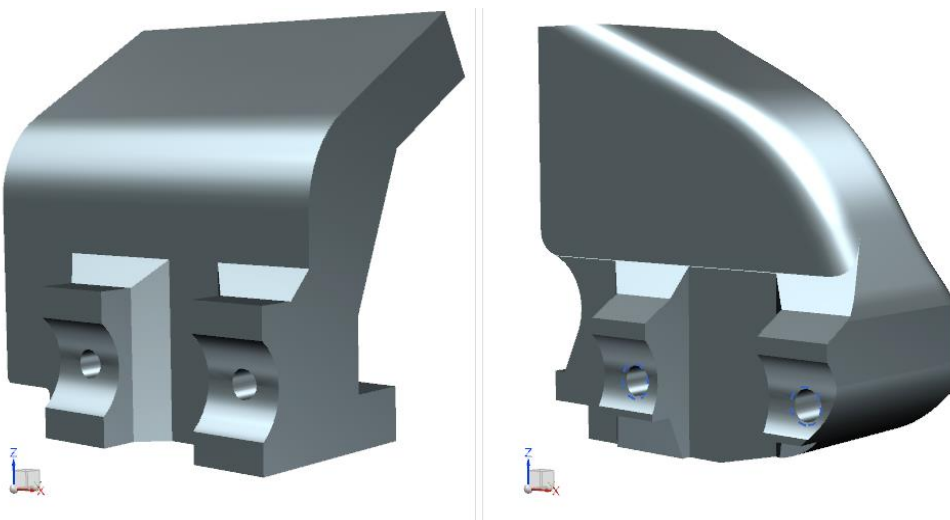
Obrázek 5.5- Průběh napětí (pohled zadní)

5.2 Porovnání výsledků

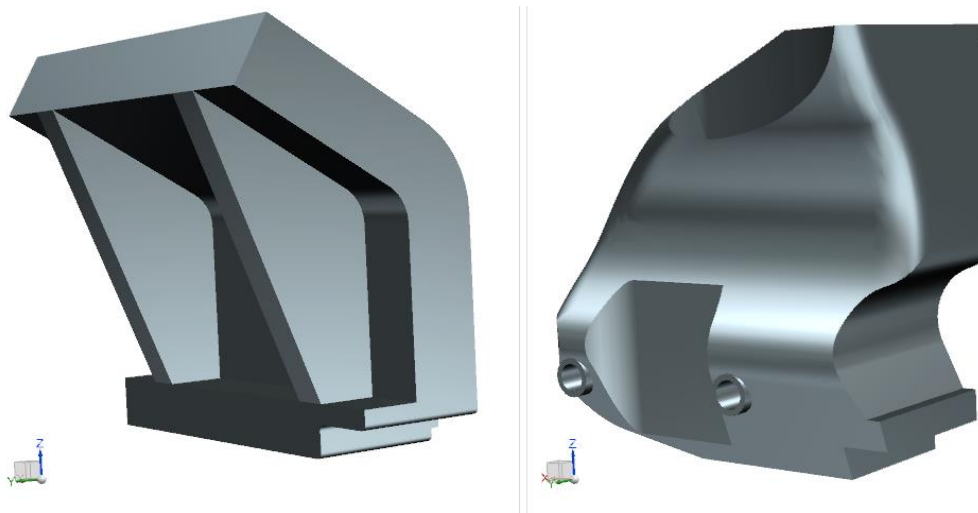
Optimalizovaný díl má oproti konstrukčnímu návrhu jiný tvar. Optimalizovaný díl bude také určitě vyráběn jinými metodami. V tabulce 5-1 je vidět porovnání dílů před a po optimalizaci dílu. Optimalizovaný díl vychází lépe ve velikosti deformace i v maximálním napětí. V tabulce 5-1 je také možno si všimnout že optimalizovaný díl byl vytvářen tak, aby se hmotnost rovnala a nebo byla menší.

Tabulka 5-1- Porovnání dílů

Vlastnosti	Konstrukční návrh	Optimalizovaný díl	Jednotky
hmotnost	4,0700	4,0000	kg
Max. deformace	0,0259	0,0148	mm
Max. napětí	143,5200	102,1100	MPa



Obrázek 5.6- Porovnání tvarů 1



Obrázek 5.7- Porovnání tvarů 2

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvoření konstrukčního řešení podvozku kolejového vozidla s využitím optimalizačních metod. Jako předloha pro konstruování podvozku byl zvolen podvozek ze skupiny pojezdy elektrických jednotek, trakční podvozek elektrické jednotky řady 471 pro ČD. Na základě této předlohy byl vytvořen návrh řešení. Řešení obsahuje důležité komponenty, které mají na podvozku zásadní funkci. Jedna z detailně zpracovaných dílů jsou konzole, která je použita pro upevnění tlumiče. Tento díl podlehl pevnostní kontrole pomocí metodou konečných prvků (MKP). Z výsledků byla odečtena deformace a velikost napětí. Poté mohla být vytvořena optimalizace dílu, která vedla ke zlepšení mechanických vlastností dílu. Samozřejmě díl, který je optimalizovaný, neodpovídá tvarem předchozímu návrhu, pouze plochy které jsou funkční, musejí být zachovány. Po úpravě optimalizovaného dílu byl opět proveden pevnostní výpočet, a z něho lze bylo možné ověřit, jestli optimalizace dílu byla provedena. Z porovnání výsledků lze vidět, že optimalizace opravdu proběhla správně. Výsledný díl má lepší mechanické vlastnosti než konstrukční návrh, přičemž má takřka stejnou hmotnost. Ze vzhledu výsledného dílu lze usuzovat, že bude vyráběn odlišnými technologickými metodami, než původní návrh.

SEZNAM OBRÁZK

Obrázek 2.1- Podvozek UIC 30[9]

Obrázek 2.2- Podvozek 26-2.8[9]

Obrázek 2.3- Třínápravový podvozek[9]

Obrázek 2.4-Podvozek typu Y25

Obrázek 2.5- Podvozek Y 25 Ls(s)d[9]

Obrázek 2.6-Podvozek Y 25 Lss [9]

Obrázek 2.7- Jednonápravový podvozek [2]

Obrázek 2.8-Podvozek vozů Balm [2]

Obrázek 2.9-Podvozek Pensylvánský [2]

Obrázek 2.10- Podvozek vzor 801-1 [2]

Obrázek 2.11- Podvozek GP 200 [2]

Obrázek 2.12-Podvozek MD 52 [2]

Obrázek 2.13- Podvozek MD 523 [2]

Obrázek 2.14- Podvozek SF 200 [2]

Obrázek 2.17- Podvozek vloženého vozu 071 a řídicího vozu 971 [2]

Obrázek 2.15- Schéma podvozku elektrické jednotky 471 [2]

Obrázek 2.16- Podvozek elektrické jednotky 471 [2]

Obrázek 2.18- Jakobsův podvozek z motorové jednotky RegioShark [2]

Obrázek 2.19- Podvozek Jakobs typu FlexCompact [2]

Obrázek 2.20- Podvozek typu SF 4000 TDG [2]

Obrázek 2.21- Podvozek HD1 [2]

Obrázek 2.22- Podvozek FLEXX Eco [2]

Obrázek 2.23-Podvozek typu SF 3 [2]

Obrázek 2.24- Podvozek dielelektrické lokomotivy řady 744 [2]

Obrázek 2.25- Podvozek lokomotivy LB1 [2]

Obrázek 2.26-Podvozek lokomotiv ČD, řady 363 [2]

Obrázek 2.27- Podvozek typu SF 2 [2]

Obrázek 2.28- Třínápravový podvozek LKAB [2]

Obrázek 2.29-Podvozek ŠKODA 109 E [2]

Obrázek 3.1- Podvozek elektrické jednotky 471 [2]

Obrázek 3.2- Konstrukční návrh podvozku

Obrázek 3.3- Konstrukční návrh podvozku

Obrázek 3.4- Rám podvozku

Obrázek 3.5- Trakční motor

Obrázek 3.6- Ložisko

Obrázek 3.7- Primární vypružení

Obrázek 3.8- Převodový mechanismus

Obrázek 3.9- Vazba mezi podvozkem a skříní

Obrázek 3.10- Konzola svislého tlumiče (pohled zadní)

Obrázek 3.11- Konzola svislého tlumiče (pohled přední)

Obrázek 3.12- Spojení konzole s tlumiči a rámem

Obrázek 3.13- Sekundární tlumič svislý P8 [4]

Obrázek 3.14- Zasíťovaný model (pohled levý)

Obrázek 3.15- Zasíťovaný model (pohled pravý)

Obrázek 3.16- Deformace modelu (pohled přední)

Obrázek 3.17- Deformace modelu

Obrázek 3.18- Průběh napětí (pohled pravý)

Obrázek 3.19- Průběh napětí (pohled levý)

Obrázek 4.1- typy Optimalizace (zleva) velikosti, tvaru, topologie [8]

Obrázek 4.2- Svislá konzole (původní koncepce)

Obrázek 4.3- Upravený model (pohled levý)

Obrázek 4.4- Upravený model (pohled pravý)

Obrázek 4.5- Výsledný díl (pohled levý)

Obrázek 4.6- Výsledný díl (pohled pravý)

Obrázek 4.7- Výsledný tvar optimalizace (pohled levý)

Obrázek 4.8- Výsledný tvar optimalizace (pohled pravý)

Obrázek 5.1- Zasíťovaný nový model

Obrázek 5.2- Deformace modelu (pohled pravý)

Obrázek 5.3- Deformace modelu (pohled přední)

Obrázek 5.4- Průběh napětí (pohled pravý)

Obrázek 5.5- Průběh napětí (pohled zadní)

SEZNAM TABULEK

Tabulka 5-1- Porovnání dílů

Zdroje

- [1] HELLER, P., *Kolejová vozidla I*, Západočeská univerzita v Plzni 2017, ISBN 978-80-261-0693-7
- [2] HELLER, P., *Kolejová vozidla II*, Západočeská univerzita v Plzni 2019. ISBN 978-80-261-0773-6
- [3] *ATLASLOKOMOTIV*, [Online] [Citace: 21. Únor 2020] Dostupný na:
<http://www.atlaslokomotiv.net/loko-471.html>.
- [4] STROJÍRNA OSLAVANY, *Hydraulické tlumiče pro kolejová vozidla*. [Online] [Citace: 28. Únor 2020.] Dostupný na: <http://www.st-os.cz/tlumice/>.
- [5] „*FINITE ELEMENT METHOD*“, [Online] [Citace: 30. Červen 2020.] Dostupný na:
https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Finite_element_method&oldid=963163445.
963163445.
- [6] „*DESIGN OPTIMIZATION METHODS*“, [Online] [Citace: 21. Únor 2020.] Dostupný na:
<https://www.femto.eu/stories/design-optimization/>.
- [7] „*QUICK INTRODUCTION TO TOPOLOGY OPTIMIZATION*“, [Online] [Citace: 21. Únor 2020.] Dostupný na: <https://www.femto.eu/stories/topology-optimization/>.
- [8] „*DESIGN VARIABLE TYPES.PNG*“, [Online] [Citace: 21. Únor 2020.] Dostupný na:
http://carat.st.bv.tum.de/caratuserswiki/index.php/File:Design_variable_types.png.
- [9] PAROSTROJ. *Podvozky nákladních vozů ČSD/ČD*. [Online] [Citace: 28. Září 2019.] Dostupný na: <https://www.parostroj.net/katalog/nv/clanky/Podvozky/podvozky.php3>.
- [10] „*BEZKOLÉBKOVÉ ULOŽENÍ SKŘÍŇĚ VOZU NA PODVOZKU*“, [Online] [Citace: 21. Únor 2020.] Dostupný na:
https://www.vagony.cz/pojezdy/mapa/podvozky_mapa_bezkolebkove.html.

Software:

Siemens NX 12.0

MS Word 2010

PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Výkres sestavy podvozku

Příloha č. 2: Výrobní výkres optimalizovaného dílu

Příloha č. 3: CD s elektronickou verzí BP