



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav automobilů, spalovacích motorů
a kolejových vozidel

**Způsoby vedení a výškového stavění
kolébky u otočného tramvajového
podvozku**

Solution of guiding and height adjustment of
the bolster in a pivoting tram bogie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
2022

Jiří HORMANDL

Studijní program: N2301 STROJNÍ INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 3901R051 Konstruování podporované počítačem
Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Kolář, CSc.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hormandl** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **473718**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Způsoby vedení a výškového stavění kolébky u otočného tramvajové podvozku

Název bakalářské práce anglicky:

Solution of guiding and height adjustment of the bolster in a pivoting tram bogie

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte:

1. Rešerši na téma: Vedení a řešení kolébky u otočných podvozků, klasických, částečně nízkopodlažních a plně nízkopodlažních tramvají.
2. Zhodnocení kinematických a funkčních vlastností jednotlivých variant vedení kolébky.
3. Analýzu silového zatížení kolébky.
4. Konstrukční návrh kolébky a její pevnostní výpočet pomocí MKP.
5. Sestavný výkres kolébky se svislým vypružením a výškovým stavěním.
6. Průvodní technickou zprávu dokumentující řešení dílčích úkolů.

Seznam doporučené literatury:

Odborné časopisy, firemní literatura, patentová literatura, normy.
Skripta ČVUT: KOLÁŘ, J.: Teoretické základy konstrukce kolejových vozidel
ŠÍBA, J.: Kolejová vozidla II,
ŠÍBA, J.: Kolejová vozidla II - pojezd
MARUNA, Z., HOFFMANN, V., KOULA, J. KROUPOVÁ, Z.: Metodika konstruování kolejových vozidel - osobní a nákladní podvozky

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Josef Kolář, CSc. ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.04.2022**

Termín odevzdání bakalářské práce: **13.07.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Josef Kolář, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Anotační záznam

Jméno autora: Jiří Hormanl

Název práce: Způsoby vedení a výškového stavění kolébky u otočného tramvajového podvozku

Anglický název: Solution of guiding and height adjustment of the bolster in a pivoting tram bogie

Rozsah práce: 73 stran
100 obrázků
4 tabulky
2 grafy

Akademický rok: 2021/2022

Ústav: 12 120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Studijní program: Strojírenství – Konstruování podporované počítačem

Vedoucí práce: doc. Ing. Josef Kolář, CSc.

Klíčová slova: Otočný, tramvajový, podvozek, kolébka, výškové, stavění, kluznice, čep, trakční, opotřebení, kola

Key words: Pivoting, tram, bogie, bolster, high, adjustment, sliding plates, pin, traction, wheel, wear

Abstrakt

Tato bakalářská práce je tvořena ze tří částí. První část obsahuje rešerši otočných tramvajových podvozků, hodnotí jejich konstrukci a funkce. Druhá část se zaměřuje na způsoby spojení kolébky s rámem podvozku a spojení kolébky se skříní. V poslední, třetí, praktické části této práce se pak nachází podrobná analýza kinematiky jednotlivých způsobů vedení – narážkami, táhly. Dále je zaměřena na konstrukční uzel kolébka podvozku a výškové stavění skříně a poté byly v rámci praktické části posouzeny možnosti různých variant kolébky, spojené se skříní pomocí čepu a kluznic, opatřené výškovým stavěním polohy skříně s cílem kompenzovat vliv ojetí kol.

Abstract

This bachelor thesis consists of three parts. The first part contains a survey of pivoting tram bogies, evaluates their design and functions. The second part focuses on the methods of connecting the bolster to the chassis frame and the connection of the bolster to the car body. In the last, third, practical part of this work, there is a detailed analysis of the kinematics of individual methods of the bolster guidance - stops, connecting rods. Furthermore, it is focused on the construction node of the chassis bolster and the height adjustment of the car body. The practical part reviews the possibilities of different variants of the bolster, connected to the car body by means of a pin and sliding plates, equipped with height adjustment of the car body in order to compensate the wheel wear.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou na téma: “Způsoby vedení a výškového stavění kolébky u otočného tramvajového podvozku ” vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu zdrojů, jenž tvoří poslední kapitolu této práce.

V Praze dne: 13.07.2022

.....

Jiří Hormandl

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval mému vedoucímu práce, panu doc. Ing. Josefu Kolářovi, CSc. za cenné rady, poskytnuté podklady a připomínky během pravidelných konzultací. Dále bych pak chtěl poděkovat firmě Škoda Transportation a.s. a jejím konstruktérům a projektantům za poskytnutí tématu a podkladů pro praktickou část včetně uskutečněných konzultací. Poděkování také patří mé přítelkyni a rodině za obětavou podporu při studiu.

Obsah

1 Úvod	10
1.1 Co to je kolébka a jaké má funkce.....	10
1.2 Úvod do tématiky „Způsoby vedení kolébky u otočných tramvajových podvozků“	11
2 Rešerše konstrukčních řešení otočných tramvajových podvozků	12
2.1 Klasické provedení	12
2.1.1 Originální podvozek T3.....	12
2.1.2 Podvozek Komfort 1. generace	14
2.1.3 Komfort Plus	14
2.1.4 Komfort 2. generace	15
2.2 Částečně nízkopodlažní	17
2.2.1 Tatra RT6N.....	17
2.2.2 Alstom – LHB, Duewag	18
2.3 Plně nízkopodlažní	19
2.3.1 Alstom Citadis 304	19
2.3.2 Alstom Citadis 301 CIS	20
2.3.3 Alstom Citadis Spirit	22
2.3.4 Škoda 15T – For City Alfa	23
2.3.5 Podvozek firmy Inecon.....	25
2.4 Spojení kolébky se skříní.....	25
2.4.1 Otočné podvozky spojené čepem a kuželovou tornou	26
2.4.1 Otočné podvozky spojené čtyřbodovým ložiskem.....	27
2.4.2 Otočné podvozky spojené se skříní pomocí čepu a kluznicemi	28
3 Teoretický rozbor	30
3.1 Konstrukční varianty vedení kolébek	30
3.1.1 Vedení nárázkami	30
3.1.2 Vedení táhly do paralelogramu.....	32
3.1.1 Vedení táhly do antiparalelogramu.....	34
4 Analýza zatížení modelu kolébky poskytnuté zadavatelem	36
4.1 Metodika zpracování	37
4.1.1 Okrajová podmínka	37
4.1.2 Volba a definice vlastností materiálu	37
4.1.3 Síť	38
4.2 Statický výpočet zatížení kolébky – jízda v přímé trati.....	39

4.2.1 Výpočet a zavedení maximálního statického zatížení.....	39
4.2.2 Výsledek statické simulace – analýza napětí.....	40
4.2.3 Výsledek statické simulace – analýza posuvů.....	41
4.3 Dynamický výpočet zatížení kolébky – jízda obloukem.....	42
4.3.1 Výsledek dynamické simulace – analýza napětí	45
4.3.2 Výsledek dynamické simulace – analýza posuvů.....	47
5 Úprava kolébky poskytnuté zadavatelem a implementace výškového stavění	48
5.1 Prvotní úvaha a rešerše možných řešení.....	48
5.1.1 Návrh číslo 1.....	51
5.1.2 Návrh číslo 2.....	51
5.1.3 Návrh číslo 3.....	52
5.1.4 Návrh číslo 4.....	52
5.2 Volba nejvhodnějšího návrhu a jeho konstrukční řešení.....	55
5.2.1 Výškové stavění.....	55
5.2.2 Kolébka.....	61
5.2.3 Nadpodvozková část.....	62
5.2.4 Středový čep	63
5.3 Výpočet MKP navržené kolébky.....	64
5.3.1 Výsledek dynamické simulace navržené kolébky– analýza napětí	64
5.3.2 Dynamické zatížení – analýza posuvů navržené kolébky – pohled 1	66
5.4 Porovnání původní a navržené kolébky.....	66
6 Závěr.....	67
Seznam obrázků.....	68
Seznam Tabulek	70
Seznam grafů	70
Seznam příloh.....	70
Zdroje	71
Přílohy	73

Seznam použitých zkratek, jednotek a symbolů

Použitá zkratka	Jednotka	Vysvětlení
DP	-	Dopravní podnik
$G_{\text{skříně}}$	[N]	Síla vzniklá tíhou prázdné skříně vozidla
F_t	[N]	Třecí síla
F_{trakce}	[N]	Síla, kterou je podvozek poháněn
$F_{\text{pružin}}$	[N]	Působící síla od sekundárního vypružení
m	[kg]	Hmotnost
g	[m/s ²]	Gravitační zrychlení
S	[mm ²]	Plocha
S_x	[mm ²]	Nečinná plocha
p	[MPa]	Tlak
p_D	[MPa]	Dovolená hodnota tlaku
R,r	[mm]	Poloměr
d,D	[mm]	Průměr
L	[mm]	Délkový rozměr
k	[-]	Koeficient bezpečnosti
E	[GPa]	Youngův modul pružnosti
μ	[-]	Poissonovo číslo
σ	[N/mm ²]	Normálové napětí
σ_D	[N/mm ²]	Dovolené napětí

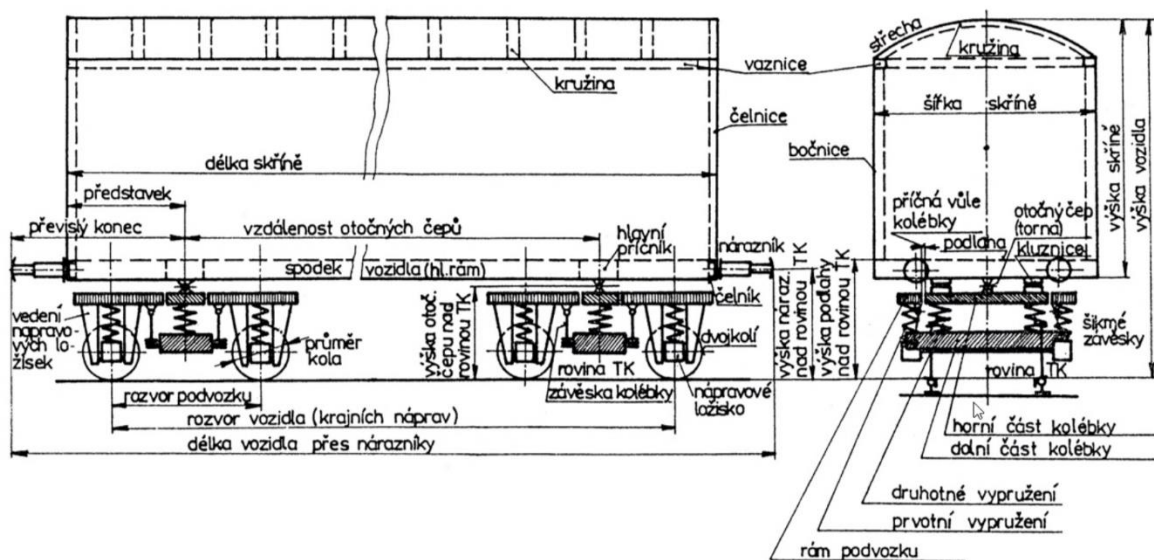
Poznámka:

V seznamu nejsou uvedeny symboly a zkratky všeobecně známé nebo používané jen ojedinelé s vysvětlením v textu.

1 Úvod

Tato práce je věnována tramvajovým podvozkům. Proto bude na úvod vysvětleno z čeho se podvozek skládá a k čemu slouží. Podvozek je složen z dvojkolí, prvků primárního vypružení, rámu, příčných nosníků, prvků sekundárního vypružení a kolébky. Dvojkolí se skládá z osy nápravy a kol na ni nalisovaných. To je uloženo přes primární vypružení do rámu. Na rám je pak na příčné či jiné nosníky uložena pohonná jednotka a další nezbytné komponenty. Mezi rámem podvozku a kolébkou se nachází sekundární vypružení vozidla.

1.1 Co to je kolébka a jaké má funkce



Obrázek 1: Konstrukce spojení podvozku se skříní u železničního vagónu [5]

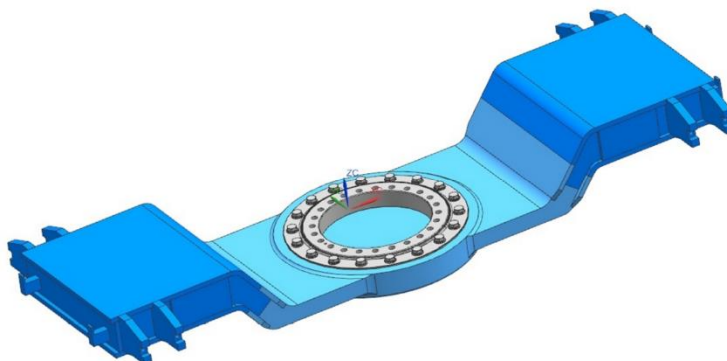
Kolébka se začala používat v souvislosti s konstrukcí podvozků pro železniční vagóny. Tam vznikla při použití dvounápravových podvozků potřeba vhodného spojení podvozku se skříní. Tuto funkci začala plnit kolébka. Úkolem bylo zajistit pružné spojení podvozku a skříně s určitou vůlí v příčném směru.

Konstrukční řešení kolébky můžeme vidět na obrázku č. 1. Kolébka se zde skládá ze dvou částí – horní a dolní. Dolní část je zavěšena přes šikmé závěsy (které zamezují příčnému pohybu) na rámu podvozku. Dolní část je dále spojena s horní částí pružinami, které zajišťují sekundární vypružení. Celá tato konstrukce umožňuje příčný pohyb skříně vůči podvozků v řádu do několika centimetrů.

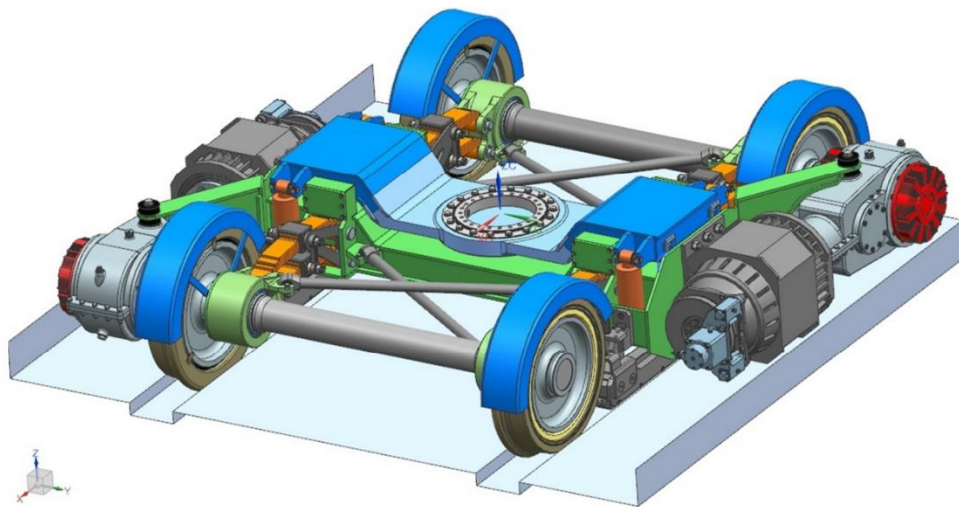
U těchto železničních podvozků je oproti těm tramvajovým zásadní rozdíl v tom, že se kolébky skládají ze dvou částí, z horní a dolní. Mezi těmito částmi jsou pružiny sekundárního vypružení, které zároveň umožňují jistou vůli v příčném posuvu. Horní část kolébky je totiž pevně spojena s hlavními příčníky a spodní část je přes šikmé závěsy (zamezující příčnému pohybu) zavěšena na rámu podvozku.

1.2 Úvod do tematiky „Způsoby vedení kolébky u otočných tramvajových podvozků“

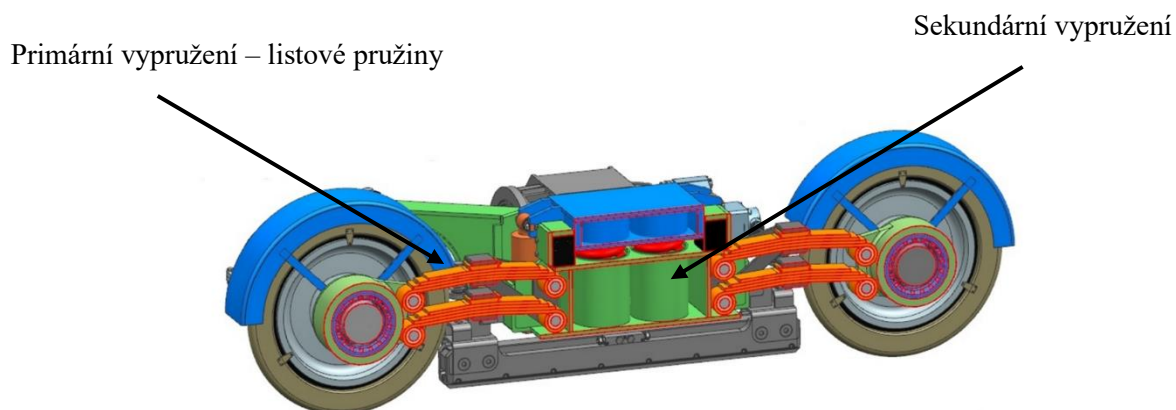
V této práci se budu dále zabývat způsoby vedení kolébky u otočných tramvajových podvozků. Kolébka je v tomto případě nosná součást, která má za úkol spojení skříně vozu s podvozkem. Ke splnění této funkce musí zajistit možnost natočení podvozku oproti skříni a také jeho sekundární vypružení. Primární vypružení je zajištěno již v rámci podvozku, ale není zcela nezbytně nutné. Většinou to bývá řešeno pryžokovovými prvky nebo listovými pružinami, zatímco na sekundární vypružení se používá klasických vinutých pružin.



Obrázek 2: Kolébka [2]



Obrázek 3: Ukázka tramvajového podvozku [2]



Obrázek 4: Řez podvozkem [2]

2 Rešerše konstrukčních řešení otočných tramvajových podvozků

2.1 Klasické provedení

Tramvaje Tatra typu T3 byla pravděpodobně nejrozšířenějším typem tramvaje, který se kdy vyráběl. Podvozek byl klasického provedení a odpovídal americké koncepci označené PCC. Tato koncepce byla navržena před druhou světovou válkou a byla zvolena za nejlepší řešení pro tramvaje.

Základem tohoto provedení jsou dva otočné podvozky, přičemž každý z nich tvoří dvě nápravy. Trakce je pak zajišťována celkem čtyřmi trakčními motory – na každou nápravu jeden. Motory byly připevněny k rámu podélně, kolmo k osám náprav. Regulace otáček motorů, a tedy i rychlosti, byla dosažena pomocí mnohastupňového odporníku.



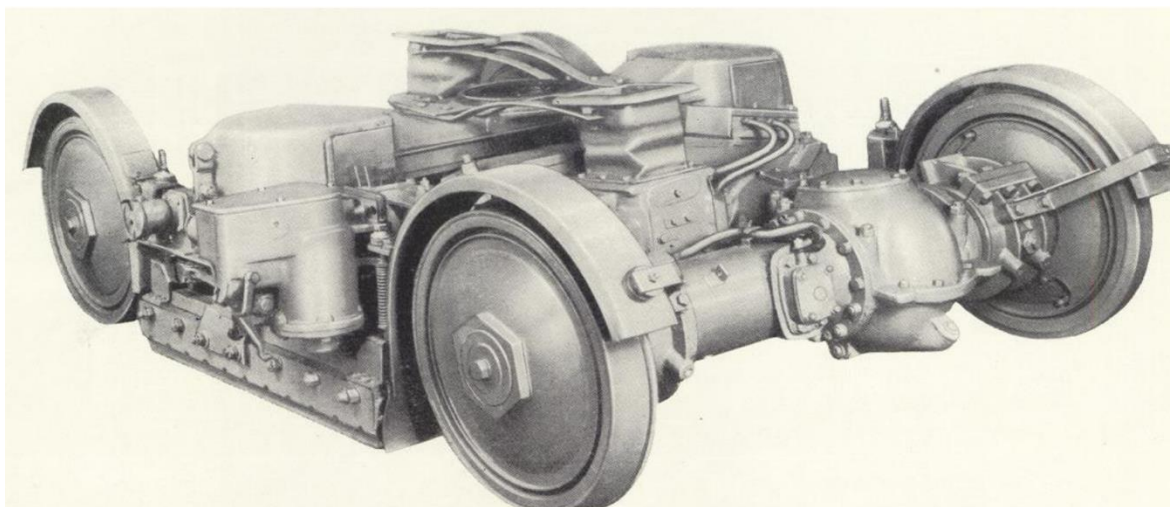
Obrázek 5: Tramvaj T3 [6]

2.1.1 Originální podvozek T3

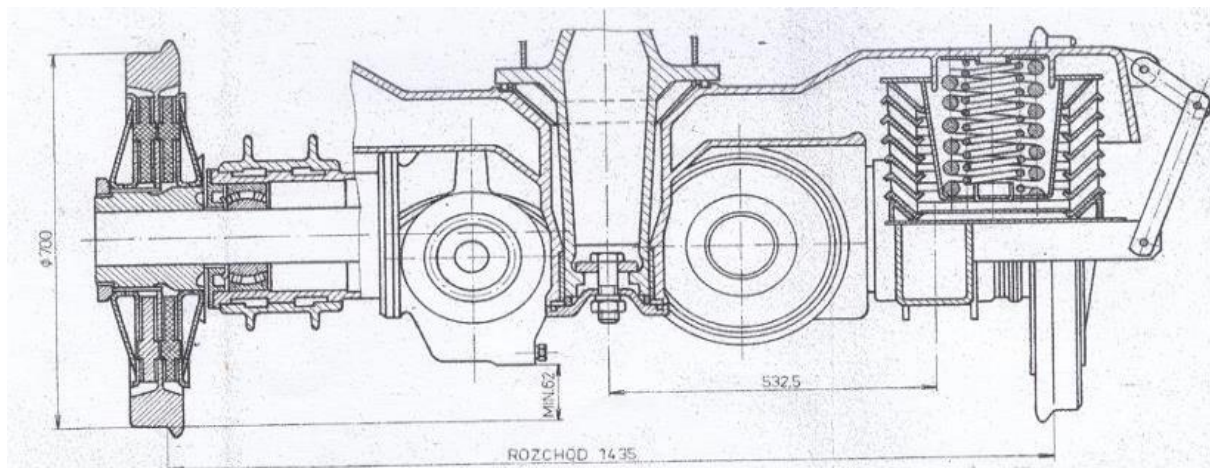
Podvozek má poddajný rám bez primárního vypružení. Pro snížení hluku jsou použity pryžové vložky v kolech. Přenos krouticího momentu od motoru je zajištěn kloubovým hřídelem a hypoidní převodovkou.

Kolébka je umístěna uprostřed rámu podvozku a je spojena s rámem podvozku přes sekundární vypružení. Vypružení je v tomto případě řešeno vinutými pružinami uloženými v pryžokovovém bloku. Tím vzniká lomená charakteristika – v první oblasti se deformuje vinutá pružina a v druhé fázi pak kolébka dosedne na pryžokovový blok a dochází k souběžné deformaci pružiny a pryžokovového bloku. V první fázi je menší tuhost a větší deformace, ve fázi druhé je dosaženo větší tuhosti a menších deformací.

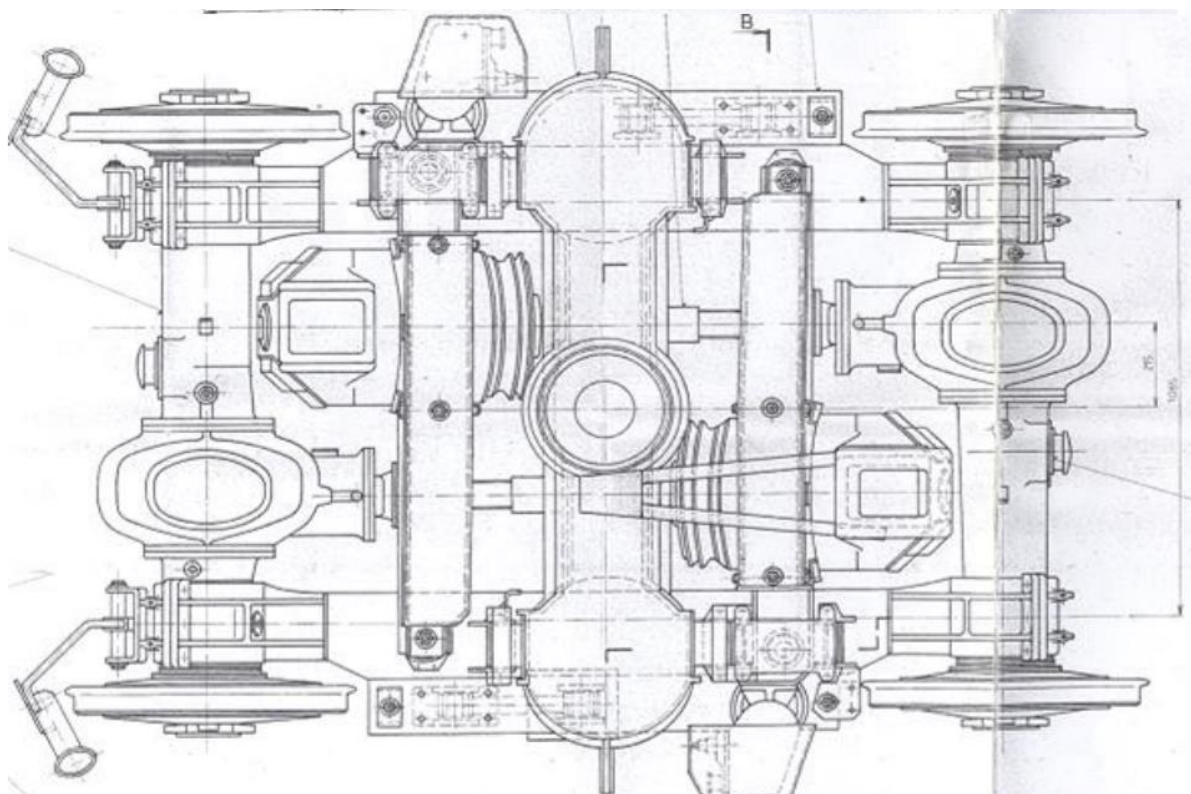
Přenos sil v podélném směru je řešen pomocí narážek – ty jsou upevněné na rámu podvozku a dosedají na určenou plochu kolébky. Díky této konstrukci je zajištěn jak svislý posuv, tak i příčný posuv s výchyly do 25 mm.



Obrázek 6: Podvozek Tatra T3 [5]



Obrázek 7: Řez nápravou u T3 [5]

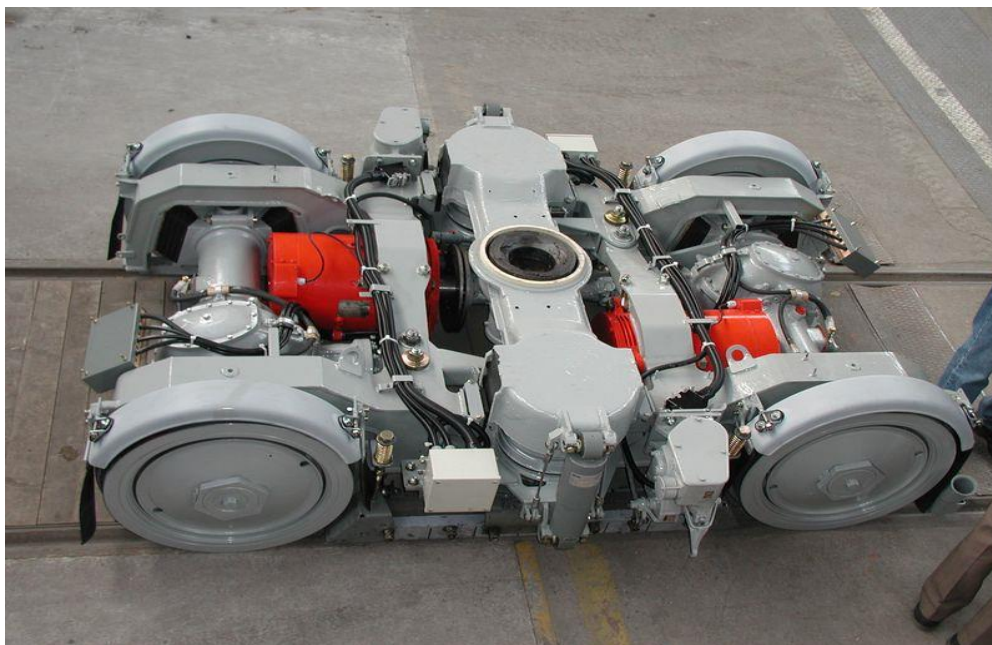


Obrázek 8: Půdorys podvozku T3 [5]

2.1.2 Podvozek Komfort 1. generace

Jedná se o modernizovaný podvozek v Krnovských strojárnách pro tramvaje typu T3, T6 a podobné. Zajímavostí také je, že tento podvozek se používá také pro částečně nízkopodlažní tramvaje např. tramvaj VarioloLF2, která jezdí pro DP v Brně.

Hlavním rozdílem je rozdělení vypružení na primární a sekundární, a také uložení kolébky na podélných nosnících podvozku. Primární vypružení je tvořeno pryžokovovými bloky MEGI a sekundární vypružení se pak skládá z duplexních šroubových pružin s hydraulickými tlumiči. Umístění trakčních motorů zůstává podélné s přenosem kroutícího momentu kloubovým hřídelem a nápravovou převodovkou s kuželovým hypoidním soukolím.



Obrázek 9: Podvozek Komfort 1. generace [3]

2.1.3 Komfort Plus

Jedná se o modernizaci podvozku pro tramvaje T3, T6 a K2 provozované na úzkorozchodových tratích. Doposud byl vyroben v Krnavských strojárnách jediný prototyp, který je testován v Liberci. Můžeme konstatovat umístění podélníků vně kol.



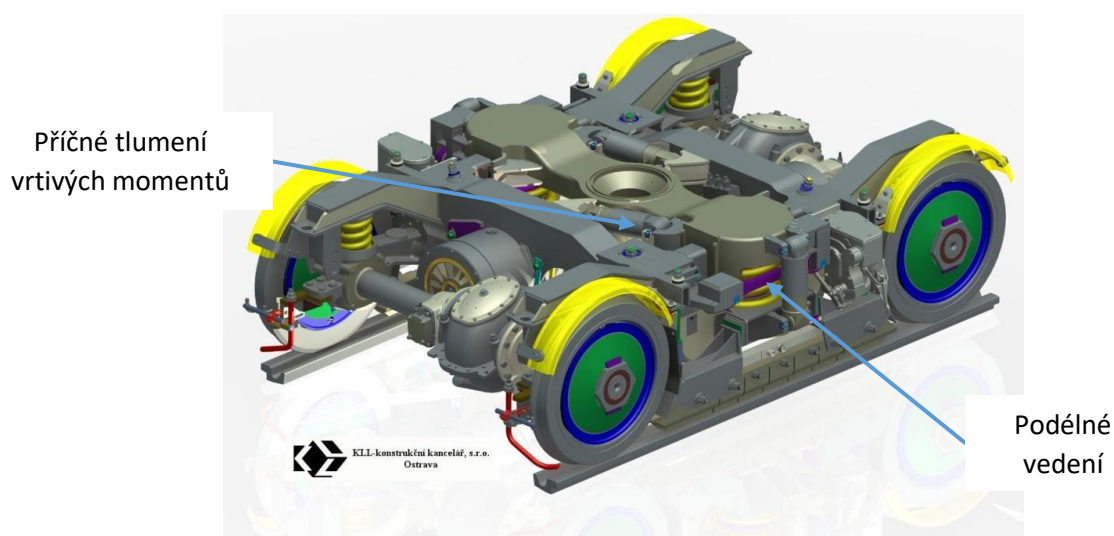
Obrázek 10: Podvozek Komfort Plus [3]

2.1.4 Komfort 2. generace

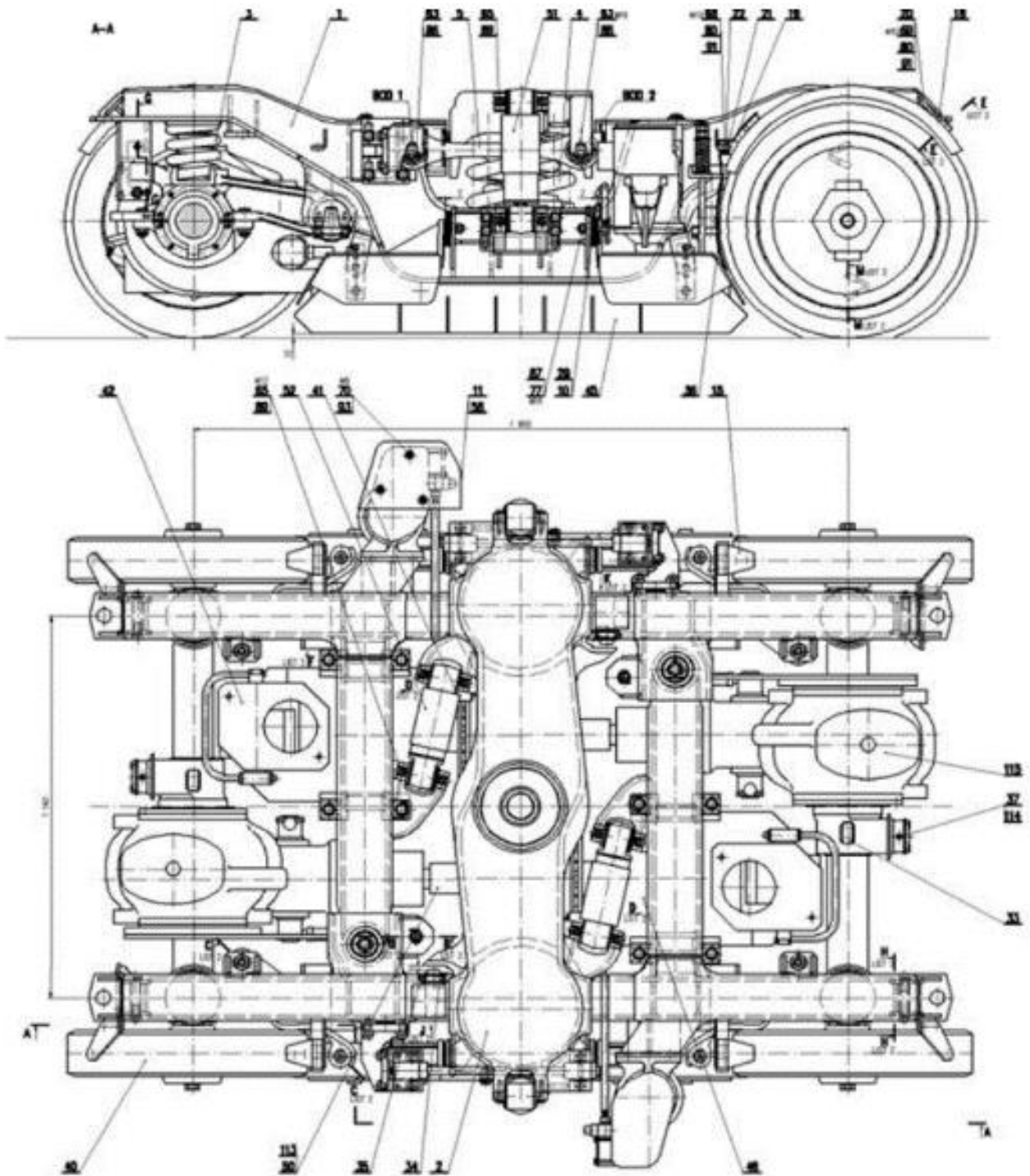
Jedná se o dále vylepšený a upravený podvozek pro tramvaje typu T3, T6 a podobné. Koncepce rámu zůstala podobná jako u jeho předchůdce, tedy dva podélníky. Ke každému podélníku je dále pevně uchycen jeden příčný. Příčníky jsou tedy vždy na jednom konci pevně spojené s podélníkem a na konci druhém jsou spojeny přes svislý pryžkový kloub.

Velkou změnou pak prošel mechanismus vedení kolébky, kdy se již nepoužívá k přenosu podélných sil pouze narážek, ale je doplněna ojnicemi a hydraulickými tlumiči, které tlumí příčný pohyb kolébky a vrtivý pohyb rámu podvozku.

K těmto změnám vedla především potřeba zvýšení maximální konstrukční rychlosti na 70 km/h z důvodu zavedení rychlodrážních tramvajových úseků – například podél Vltavy v úseku Přístaviště – Sídliště Modřany. Starší způsoby vedení totiž způsobovaly přílišné vibrace a nedostatečné tlumení rázů.



Obrázek 11: Podvozek komfort 2. generace [7]



Obrázek 12: Sestavný výkres podvozku Komfort 2. generace [5]

2.2 Částečně nízkopodlažní

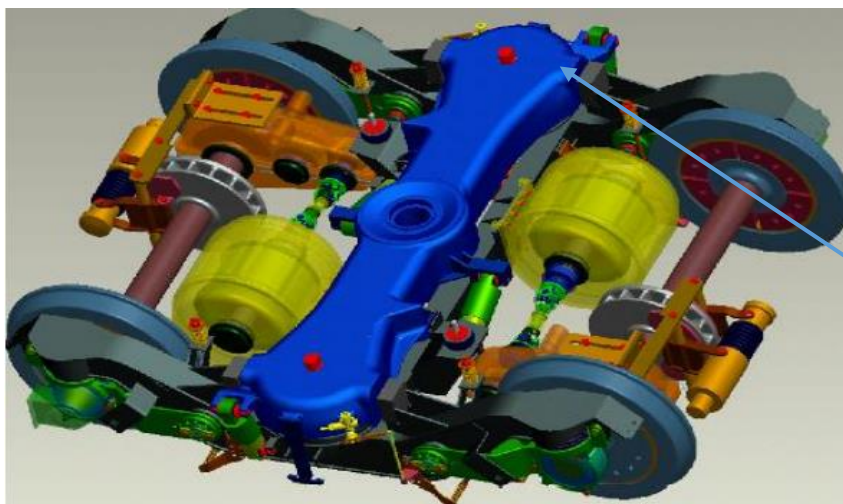
2.2.1 Tatra RT6N

Tatra RT6N měla být moderní tramvají vyráběnou firmou Tatra v polovině 90. let. Tento model však provázela velmi vysoká poruchovost a povolení pro provoz v České republice získala až v roce 2008. Tou dobou šlo již o zastaralé konstrukční řešení a bylo celkem vyrobeno pouze 18 kusů. Většina z nich je v provozu jen v Polsku ve městě Poznaň, kde byl provoz schválen již dříve.



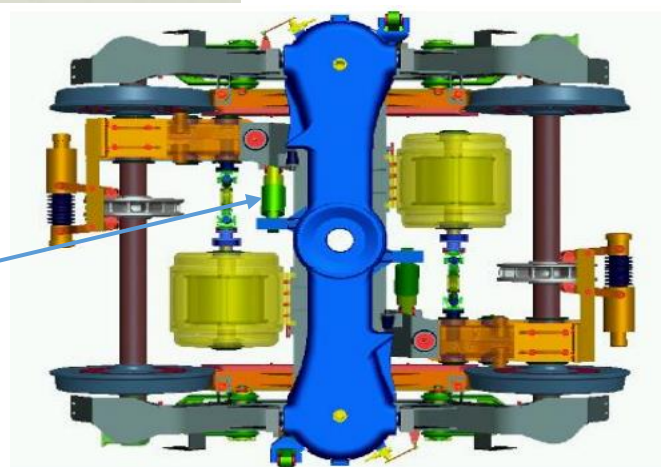
Obrázek 13: ČKD Tatra RT6N [8]

Konstrukční řešení podvozku vychází částečně ze zkušeností z podvozku Komfort. Došlo však ke změně uložení motoru. Ten je zde částečně odpružený a je v rámu umístěn příčně. Dále jsou zde změny ve vedení kolébky. Příčné tlumení vrtivých momentů je zajištěno tlumiči. Pro vedení v podélném směru slouží pouze nárazky. Důvodem tohoto zastaralého řešení byl nedostatek místa pro přenos ojnicemi s hydraulickými tlumiči. Zajímavostí a důvodem nedostatku místa bylo použití vzduchového sekundárního vypružení pro maximální komfort cestujících.



Podélné vedení nárazkami

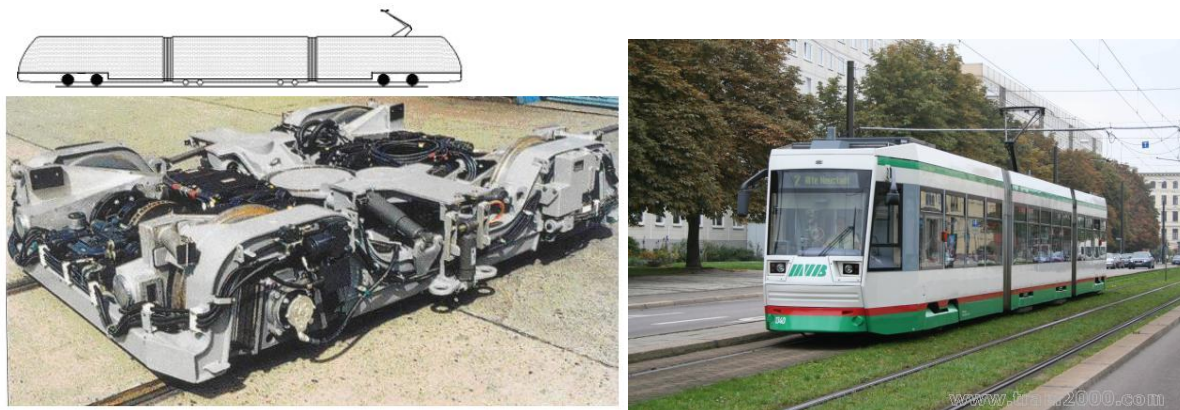
Příčné tlumení vrtivých momentů



Obrázek 14: 3D model podvozku RT6N [5]

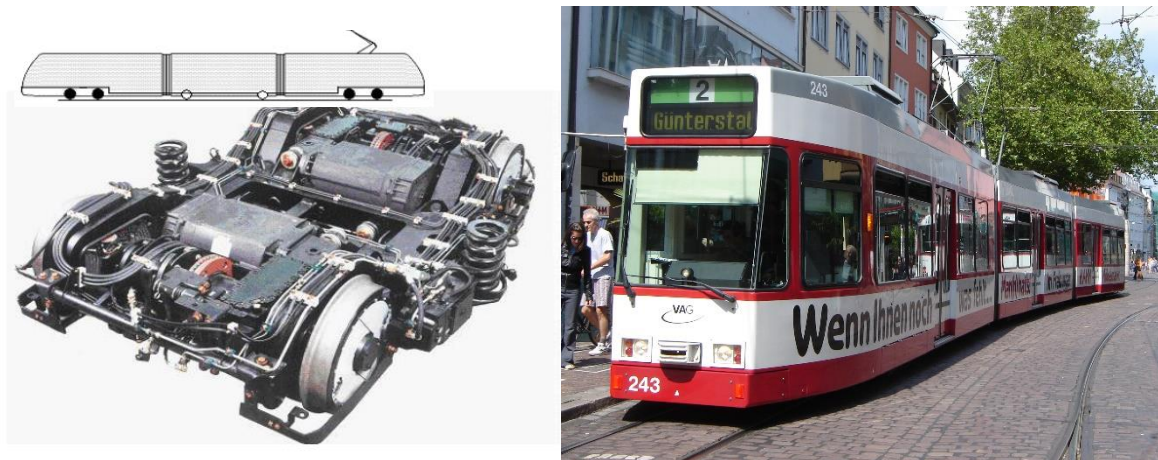
2.2.2 Alstom – LHB, Duewag

Jako příklad zahraničních výrobců částečně nízkopodlažních tramvají můžeme uvést například tramvaj od firmy Alstom LHB typového označení NGT8D. Jedná se o tramvaj vyráběnou v polovině 90 let. Inovací v konstrukci je vnější rám. Vedení je opět zajištěno ojniciemi a příčné tlumení je zajištěno pomocí tlumičů umístěných do „Z“ mechanismu.



Obrázek 15: Vlevo podvozek Alstom LHB NGT8D [5] a tramvaj NGT8D vpravo [10]

Dalším představitelem částečně nízkopodlažní tramvaje může být řešení od společnosti DUEWAG – Siemens typu GT8Z. Jedná se o modernizaci typu GT8S. Tramvaj je tříčlánková se dvěma trakčními podvozky vždy v prvním a posledním článku.



Obrázek 16: Vlevo podvozek DUEWAG Siemens [5] a vpravo tramvaj GT8Z [9]

2.3 Plně nízkopodlažní

2.3.1 Alstom Citadis 304

Jedná se již o čtvrtou generaci velmi rozšířené řady tramvají francouzské nadnárodní společnosti Alstom řady Citadis. Jedná se o tříčlánkovou 100% nízkopodlažní tramvaj vyvinutou státy střední a východní Evropy. Například do Istanbulu bylo objednáno v roce 2007 37 tramvají tohoto typu, které jsou zde od roku 2011 až dodnes v provozu. Tramvaje jsou vybaveny dvěma trakčními podvozky iXege.

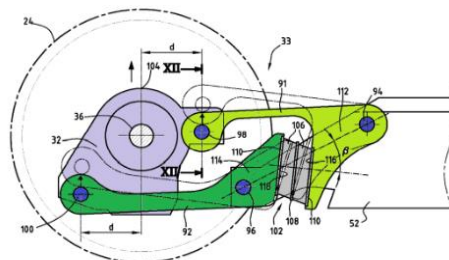


Obrázek 17: Alstom Citadis 304 [12]

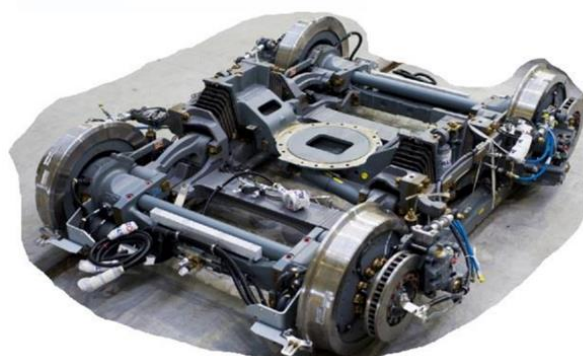
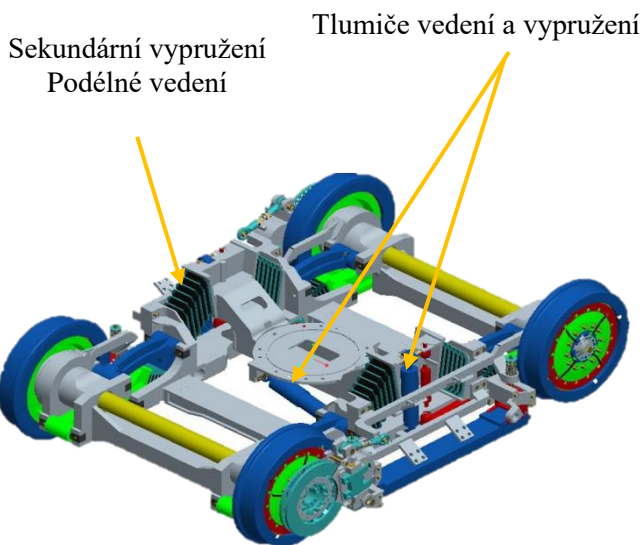
Podvozek iXege

Podvozky tohoto označení obsahují dvě nápravy. Ty jsou uloženy do ložiskových domků, jež jsou upevněny na nápravových příčnicích, čímž je vytvořen pevný nápravový celek. Tento celek je pomocí mechanismu primárního vypružení připevněn k hlavnímu rámu. Rám se pak skládá ze dvou podélníků, které jsou propojeny dvojicí pevných příčniců. Dva trakční motory jsou pak umístěny vně rámu včetně kuželových převodovek. Primární i sekundární vypružení je zajišťováno pryžokovovými bloky.

Mechanismus primárního vypružení se skládá z dvojice táhel a pryžokovového bloku, který dohromady tvoří čtyři sendvičové pružiny. Sekundární vypružení je taktéž tvořeno pryžokovovými sendvičovými pružinami, které slouží také pro podélné vedení kolébky a jsou navíc doplněny i o hydraulické tlumiče svislých kmitů. Vedení kolébky v příčném směru a tlumení vrtivých momentů je zajištěno také pomocí hydraulických tlumičů umístěných do „Z“ mechanismu. Skříň je pak uložena v ložisku umístěném v kolébce.



Obrázek 18: Schéma mechanismu primárního vypružení [5]



Obrázek 19: Podvozek Alstom iXege [5]

2.3.2 Alstom Citadis 301 CIS

Citadis 301 CIS je první generací této řady a zároveň první 100% nízkopodlažní model tříčlánkové tramvaje z řady Citadis. Tyto vozy byly dodávány především do ruských měst např. Moskvy či Petrohradu. Jsou vybaveny dvěma otočnými trakčními podvozky Ipomos.

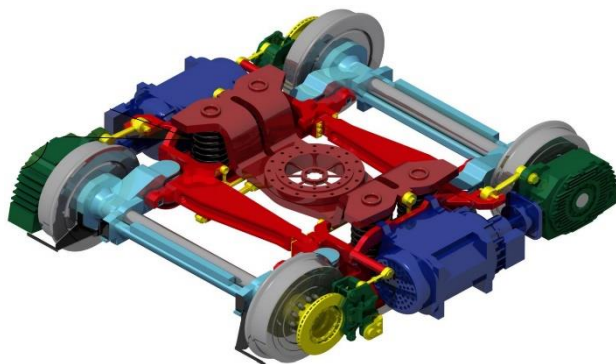
Podvozek Ipomos

Rám tohoto podvozku je tvořen dvěma podélníky a dvěma hlavními příčnicí – každý příčník je na jednom konci pevně spojen s podélníkem a na druhém konci pouze čepem. Tím vzniká tzv. půlrám. Nápravy jsou pak uloženy v ložiskových domcích umístěných mezi koly, které jsou zakomponovány do kyvných ramen. Primární vypružení je zde tvořeno vinutými pružinami. Sekundární vypružení je tvořeno čtveřicí duplexních pružin doplněných tlumiči tlumící svislé kmitání. Motory jsou v tomto podvozku umístěné na vnější straně rámu spolu s kuželočelními převodovkami. Každá náprava má vlastní motor a vlastní převodovku.

Skříň je na podvozku uložena otočně ve valivém ložisku. Podélné vedení kolébky je zajištěno ojnicemi, které jsou spojené s příčnicí. Příčné a svislé síly od skříňe jsou pak přenášeny přes sekundární vypružení. Zajímavostí tohoto podvozku je kolébka doplněná o vnitřní torzní stabilizátor.



Obrázek 20: Alstom Citadis 301 CIS [11]



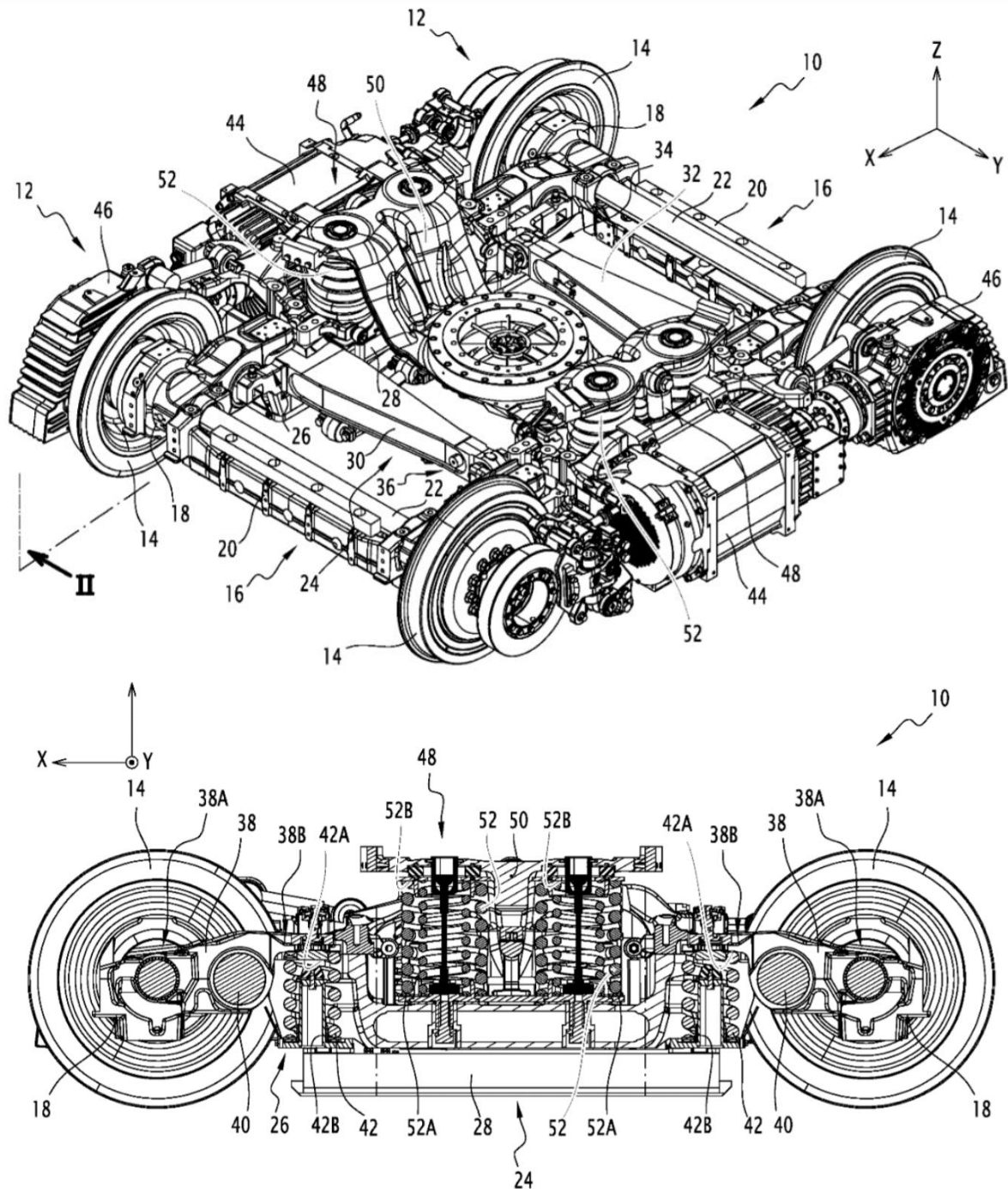
Obrázek 21: 3D model podvozku Ipomos [5]



Obrázek 22: Podvozek Alstom Ipomos [5]

Legenda:

Primární vypružení (26), Sekundární vypružení (52), Podélníky (28), Příčnící (30), Nápravová sestava (16) Kolébka (50)



Obrázek 23: Podvozek Alstom Ipomos – koncept [13]

2.3.3 Alstom Citadis Spirit

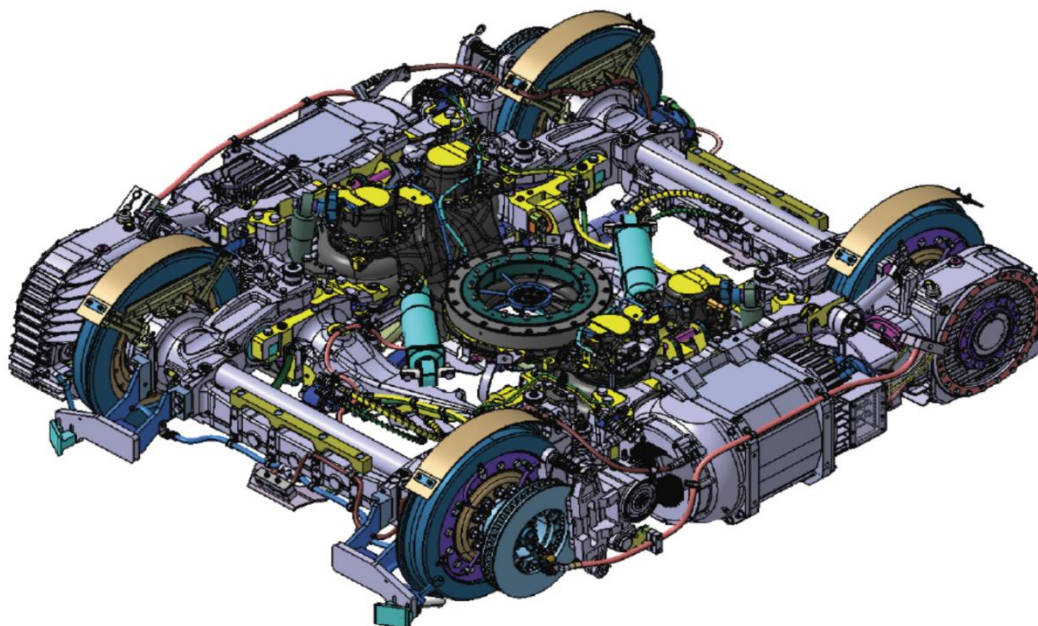
Model Citadis Spirit byl speciálně vyvinut jako lehké kolejové vozidlo pro kanadský infrastrukturní systém O-Train. Vyznačuje se především 100 % nízkopodlažností pro bezbariérový nástup bez zvýšeného nástupiště a zároveň zachování vysoké maximální rychlosti 105 km/h. Je zde proto použito inovativních otočných podvozků Iponam.

Podvozek Iponam

Tento podvozek koncepčně vychází z podvozku Ipomos s tím, že byl kompletně přepracován systém sekundárního vypružení, kde došlo k nahrazení vinutých pružin vzduchovými měchy. Díky tomu zůstává světlá výška skříně stejná i při plném zatížení. Vylepšen byl také mechanismus vedení kolébky, kdy je použito hydraulických tlumičů umístěných do „Z“ mechanismu pro tlumení vrtivých momentů. Pro přenos příčných sil je zde použito „aktivního vedení a natačení“



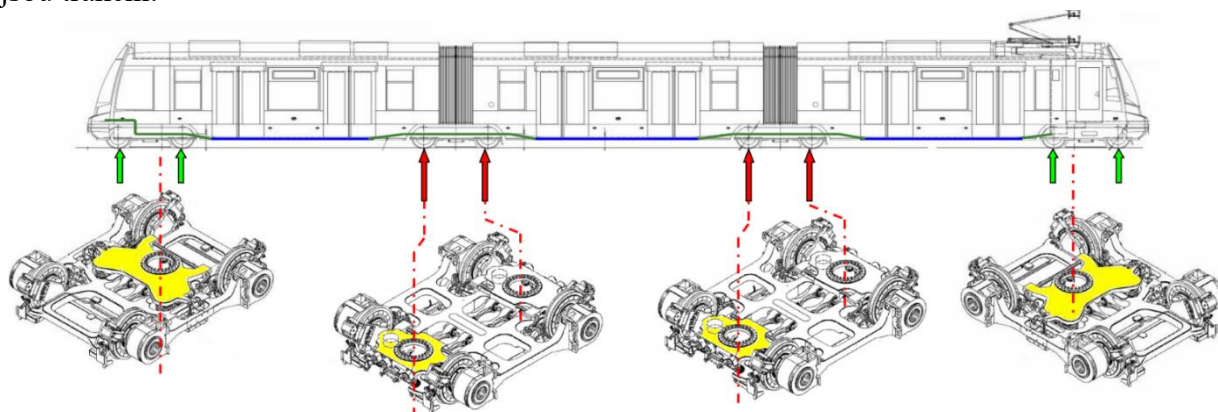
Obrázek 24: Alstom Citadis Spirit [14]



Obrázek 25: Podvozek Iponam [5]

2.3.4 Škoda 15T – For City Alfa

Jedná se o tříčlánkovou 100 % nízkopodlažní tramvaj vyvinutou společností Škoda Transportation v letech 2005 až 2008. Existuje také čtyřčlánková verze shodné konstrukce. Zajímavostí je použití podvozků, kdy v prvním a posledním článku je otočný podvozek a u prostředního článku je použito dvou tzv. „nepravých Jacobsových“ podvozků, které mají omezený rozsah natačení z důvodu vedení dvojicí otočných bodů zespod skříně. Z obrázku č.26 je také patrné, že prostřední podvozky jsou více zatížené. Všechny podvozky jsou trakční.



Obrázek 26: Škoda 15T – použité podvozky a rozložení zatížení podvozků [5]

Krajní podvozky

Hlavní předností těchto podvozků jsou lomené nápravnice s tím, že každé kolo má svůj vlastní trakční motor. Další výjimečnou konstrukcí je vyosené umístění středu otáčení ložiska pro spojení se skříní. Tento střed je posunut dále od předku a zádí vozidla čímž je dosaženo menšího přesahu skříně do protisměrné koleje při průjezdu obloukem o malém poloměru.

Prostřední podvozky

Prostřední podvozky obsahují dvě kolébky, které jsou umístěné přímo v osách nápravnic. Každá z kolébek je pak spojena s jedním článkem, tudíž je tento podvozek použit jako spojovací člen dvou článků vozidla. Tím je zajištěna omezená možnost natačení podvozku, avšak je umožněn pohyb natočení jednotlivých článků mezi sebou.

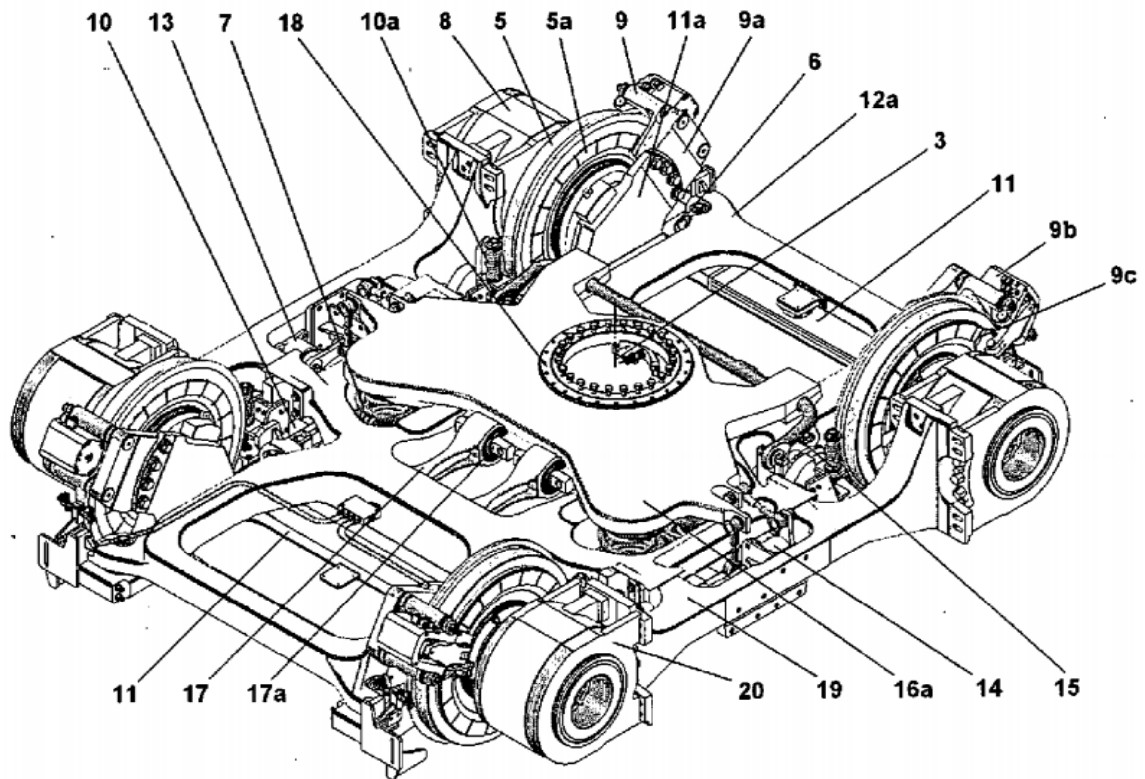
Pro primární i sekundární vypružení je použito klasických vinutých pružin. Kromě sekundárního vypružení je každá kolébka podvozku spojena s rámem podvozku dvojicí táhel, zajišťujících přenos podélných sil mezi kolébkou a rámem podvozku. Dále jsou dvěma svislými a alespoň jedním příčným tlumičem tlumeny svislé a příčné pohyby v sekundárním vypružení, a navíc je podvozek vybaven ještě torzním stabilizátorem kolébání, který omezuje příčné kolébání skříně vozidla, pro dosažení vyhovujících jízdních vlastností a dodržení předepsaného obrysu pro vozidla.



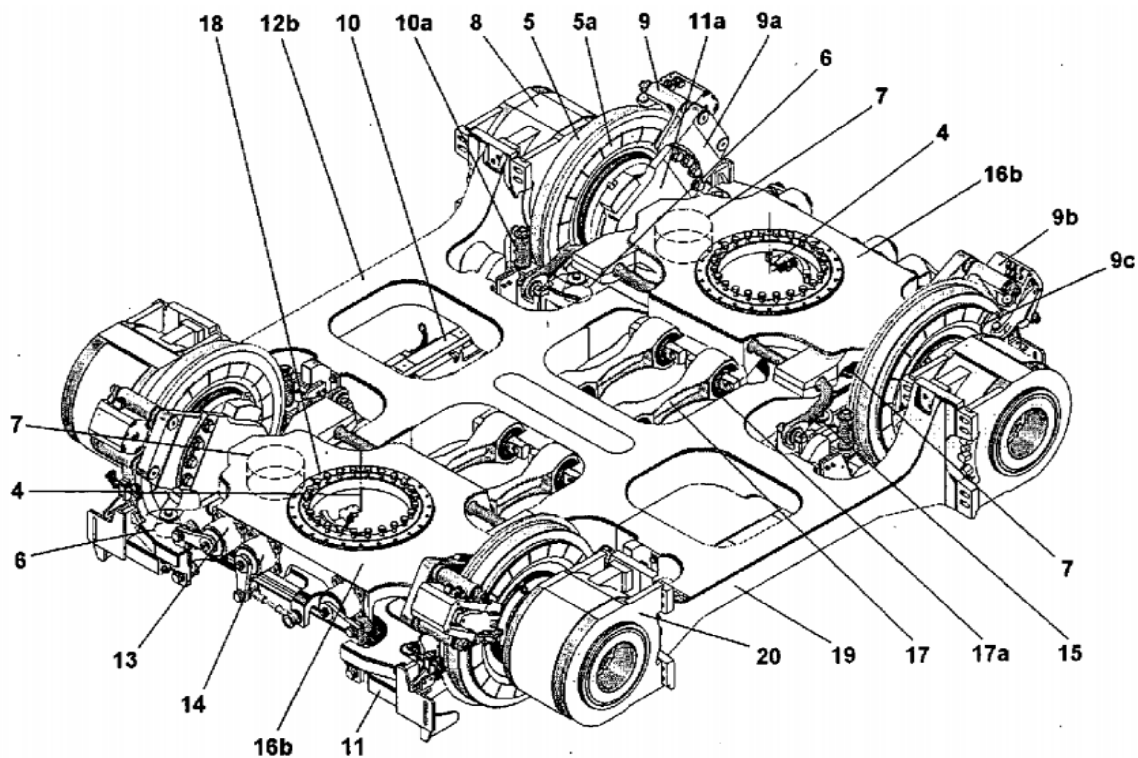
Obrázek 27: Škoda 15T – Prostřední Jacobsův podvozek [5]

Legenda:

Rám (12a + 12b), Kolébka (16a + 16b), Ojnice vedení kolébek (17), Primární vypružení (6), Sekundární vypružení (7), Pohonná jednotka (20), Otočné čtyřbodové ložisko (3)



Obrázek 28: Krajní otočný podvozek Škoda 15T [15]

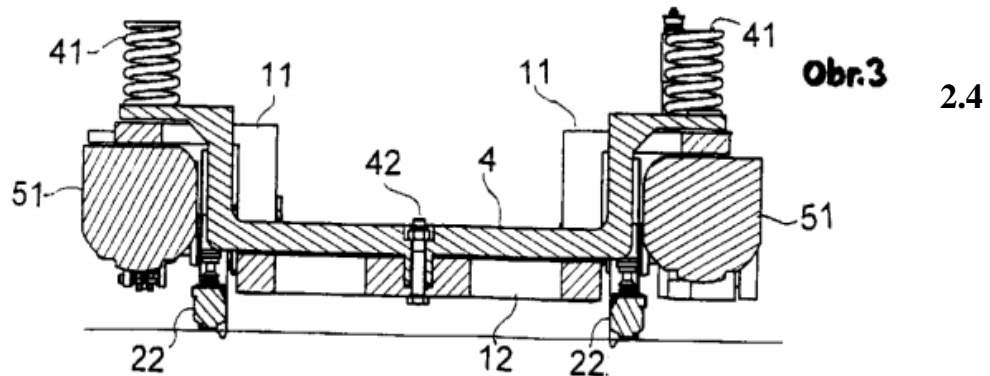


Obrázek 29: Neotočný prostřední podvozek Škoda 15T [15]

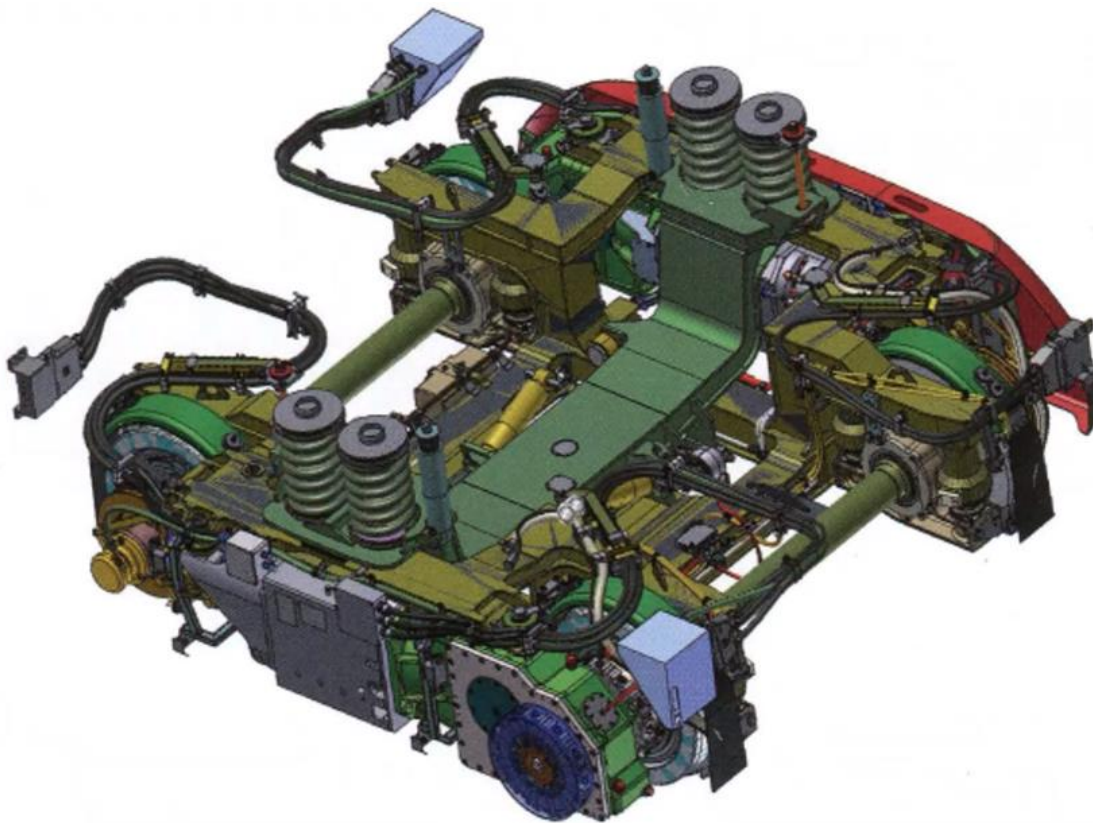
2.3.5 Podvozek firmy Inecon

Rám tohoto podvozku se skládá ze dvou podélníků, které jsou tvarově složité pro vytvoření dostatečného prostoru pro kolébku, a dvou příčníků, ty jsou lomené, aby byla zachována co nejnižší světlá výška podlahy. Kolébka je zde otočná a podélné vedení je zajištěné otočným čepem (42). Tlumení vrtivých kmitů je dále zajištěno dvěma hydraulickými tlumiči umístěných do „Z“ mechanismu.

Zajímavé konstrukční provedení je zde u sekundárního vypružení (41). Je totiž v tomto případě umístěno netradičně mezi kolébkou a skříní vozidla. Zajištěno je pak vinutými pružinami a hydraulickými tlumiči kmitů.



Obrázek 30: Podvozek Inecon – řez osou otáčení kolébky [16]



Obrázek 31: Podvozek Inecon – konstrukce Ing. Tomáš Mika [5]

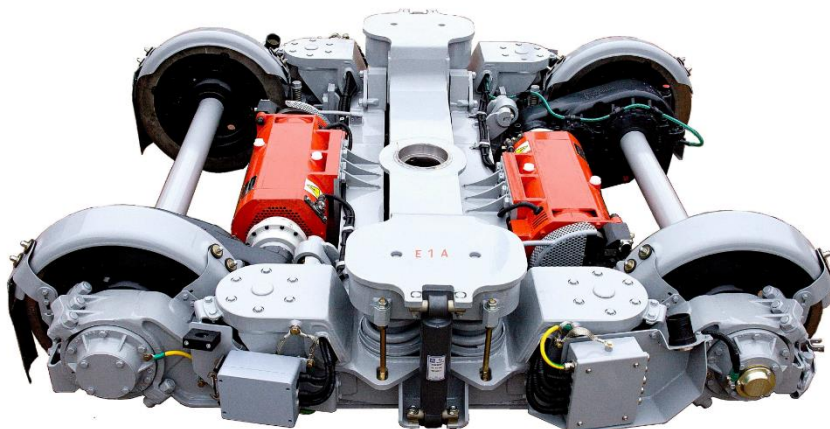
2.4 Spojení kolébky se skříní

V předchozích kapitolách bylo vyšetřeno, jakými způsoby jsou přenášeny síly z rámu podvozku na kolébku. V této kapitole bude popsáno, jakými způsoby se přenáší síly mezi skříní tramvaje a kolébku. Jedná se tedy o tíhu skříně a její setrvačné účinky. Těmi je myšlena trakční síla hnaného podvozku, brzdné účinky podvozků a síly způsobené změnou směru pohybu při průjezdu obloukem.

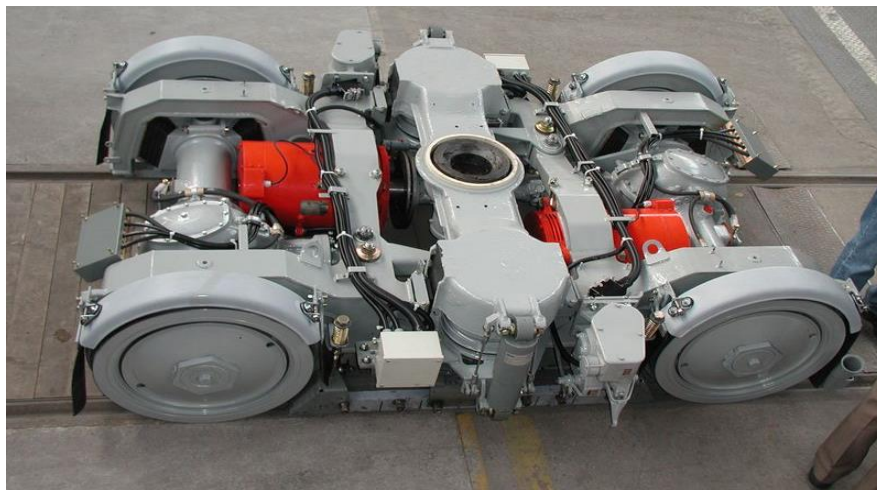
Otočné tramvajové podvozky jsou uloženy na čepu nebo ložisku umístěného uprostřed kolébky, tedy ve středu jejího otáčení. Kolébka je pak obvykle umístěná ve středu podvozku. Ta je pak dále spojena s rámem přes sekundární vypružení a dále vedena ojnicemi nebo narážkami. Vypružení je obvykle umístěné na krajích kolébky.

2.4.1 Otočné podvozky spojené čepem a kuželovou tornou

Dříve u klasických podvozků byla velmi rozšířená konstrukce spojení skříně s kolébku pomocí čepu a kuželové torny. Toto řešení bylo jednoduché jak na konstrukci, tak i na údržbu a jednoduchou montáž. Kuželová plocha dobře přenáší nejen svislé zatížení, ale i příčné a podélné síly. Nevýhodou je velmi mohutná konstrukce kolébky, jelikož se veškerá zatížení přenáší z místa působení uprostřed kolébky k jejím krajům, kde jsou umístěné pružiny sekundárního vypružení, pevné dorazy a narážky. Toto řešení můžeme najít například u tramvaje T3 firmy Tatra nebo EVO1 z dílen firmy Pragoimex.



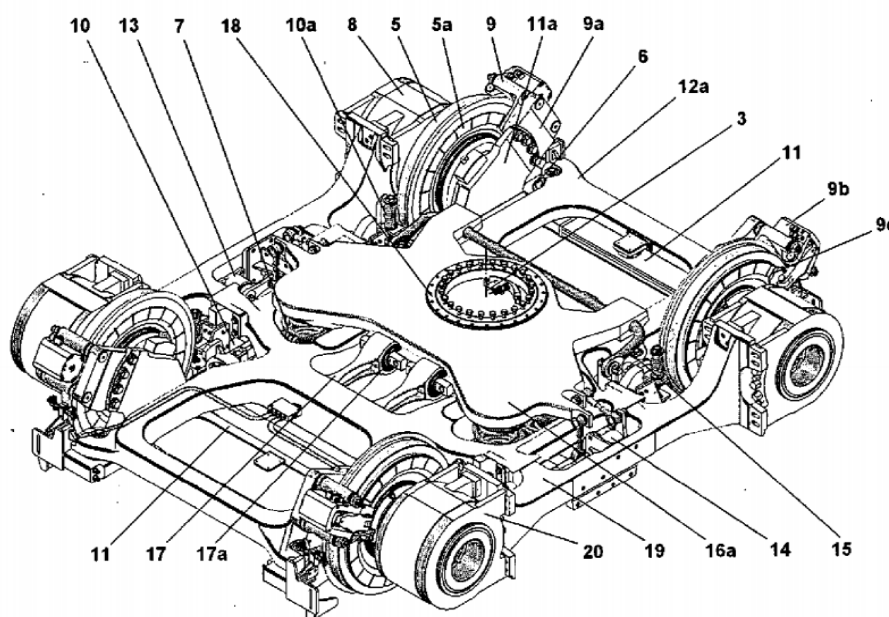
Obrázek 32: Pragoimex EVO1 [17]



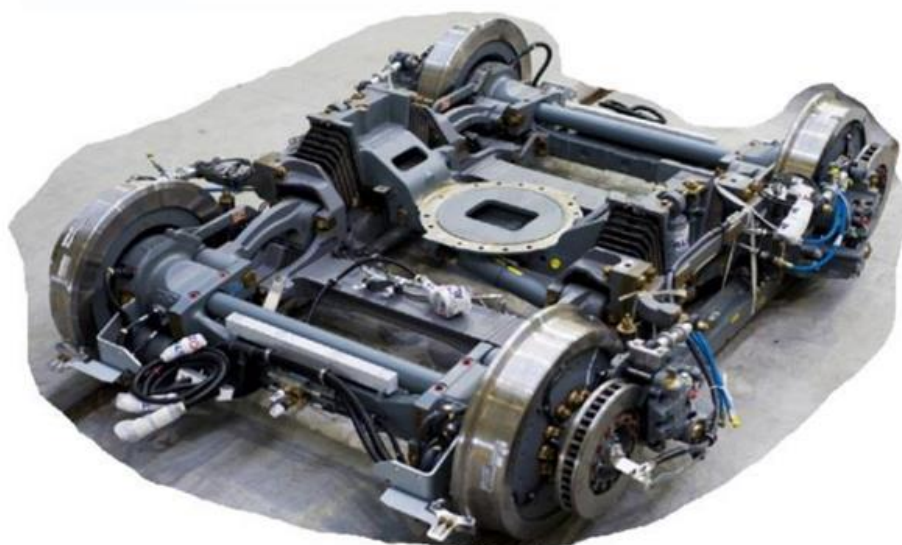
Obrázek 33: Tatra T3 podvozek Komfort 1. generace [3]

2.4.1 Otočné podvozky spojené čtyřbodovým ložiskem

V dnešní době prakticky nejrozšířenější způsobem spojením skříně s podvozkem je pomocí čtyřbodového ložiska. Veškeré spojení kolébky a skříně je realizováno prostřednictvím jednoho velkého ložiska, které přenáší veškeré síly, tedy svislé zatížení tíhy skříně, příčné a podélné zatížení, a také klopnivé momenty. Z toho vyplývá, že ložisko musí být velkých rozměrů. Tomu je potřeba patřičně upravit konstrukci kolébky. Významnou výhodou tohoto řešení jsou minimální pasivní odpory při otáčení podvozkem a nízká zástavbová výška. Nevýhodou jsou pak poměrně velké průměry ložiska, složitá montáž i údržba a v neposlední řadě také omezená životnost. Při vyšších provozních rychlostech také špatně tlumí vibrace a vrtivé pohyby podvozku. Tato konstrukce se používá například u tramvají Škoda 15T nebo u podvozků Alstom iXege, které jsou instalovány do městských tramvají Citadis.



Obrázek 34: Krajní otočný podvozek Škoda 15T [15]



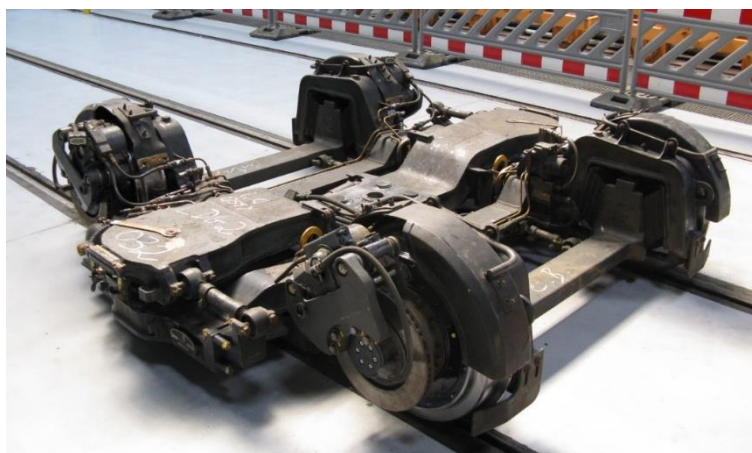
Obrázek 35: Podvozek Alstom iXege [5]

2.4.2 Otočné podvozky spojené se skříní pomocí čepu a kluznicemi

Podvozky, které používají kolébku s kluznými plochami a středovým čepem jsou převážně nízkopodlažní. Tyto kolébky bývají ve srovnání s těmi, které používají otočné čtyřbodové ložisko či kuželovou tornu méně namáhané. Proto jsou většinou konstruovány jako svařence z plechu, nikoliv jako mohutné odlitky. Důvodem je, že kluznice mohou být umístěné přímo nad sekundárním vypružením, tudíž veškeré svislé zatížení, které kluznice přenáší, přechází přímo z vypružení do kluznic a z kluznic hned do skříně. Jako příklad je na obr. č. 38 uveden podvozek Alstom CL300.

Umístění kluznic však může být různé. Například u tramvaje Flexity Classic firmy Bombardier, kde je čtveřice kluzných ploch umístěna hned vedle otočného čepu. K tomuto použití vedla nejspíš další výhoda tohoto řešení, což je ještě nižší zástavbová výška než při použití otočného ložiska. Silné rázy pak v tomto případě přenáší pevné narážky, které se nachází na krajích kolébky.

Flexity Classic byla vyráběna od roku 1999 a využívá podvozky řady Urban 2000. Jedná se o částečně nízkopodlažní koncepci, jelikož krajní trakční podvozky jsou vysoké (HF). Prostřední podvozky jsou vlečené a dostatečně nízké pro vytvoření nízkopodlažní sekce (LF).

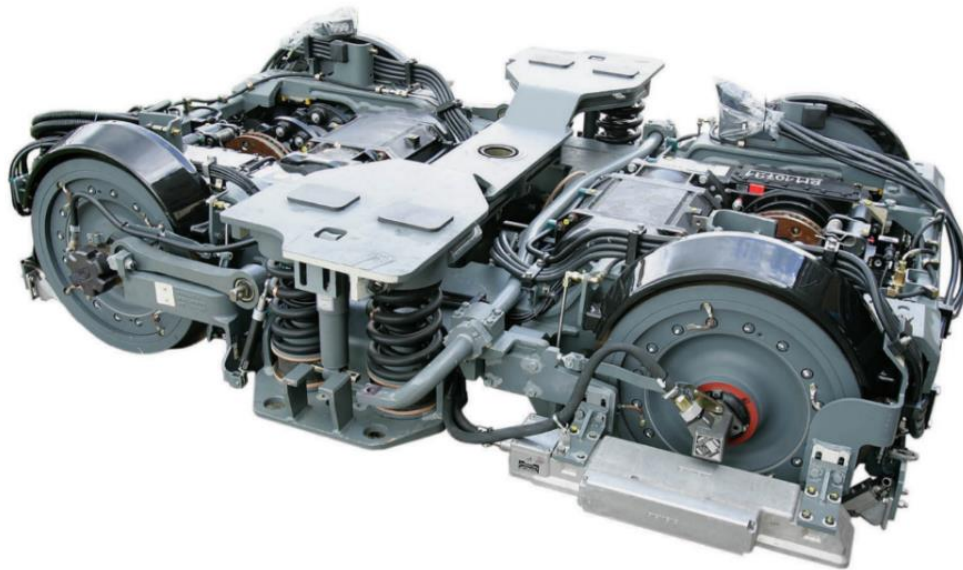


Obrázek 36: Bombardier Flexity Classic netrakční podvozek LF [18]



Obrázek 37: Bombardier Flexity Classic trakční podvozek HF [19]

Podvozek CL 300 od firmy Alstom. Tento podvozek se osazuje do tramvají Regio Citadis. Ty jsou opět pouze ze 70% nízkopodlažní a to z toho důvodu, že tyto tramvaje mají maximální rychlost 100 km/h a vyžadují vyšší tuhost a stabilitu podvozků.



Obrázek 38: Alstom CL300 [20]

Stejným případem je i podvozek Siemens SF 70 používaný taktéž v rychlostních 70% nízkopodlažních tramvajích, často označovaných jako „LRV“ (Light Rail Vehicle) či „Tram/Train“.



Obrázek 39: Siemens SF70 [21]

3 Teoretický rozbor

V teoretickém rozboru budou zhodnoceny kinematické a funkční vlastnosti jednotlivých variant vedení kolébky včetně výhod a nevýhod jednotlivých konstrukčních řešení.

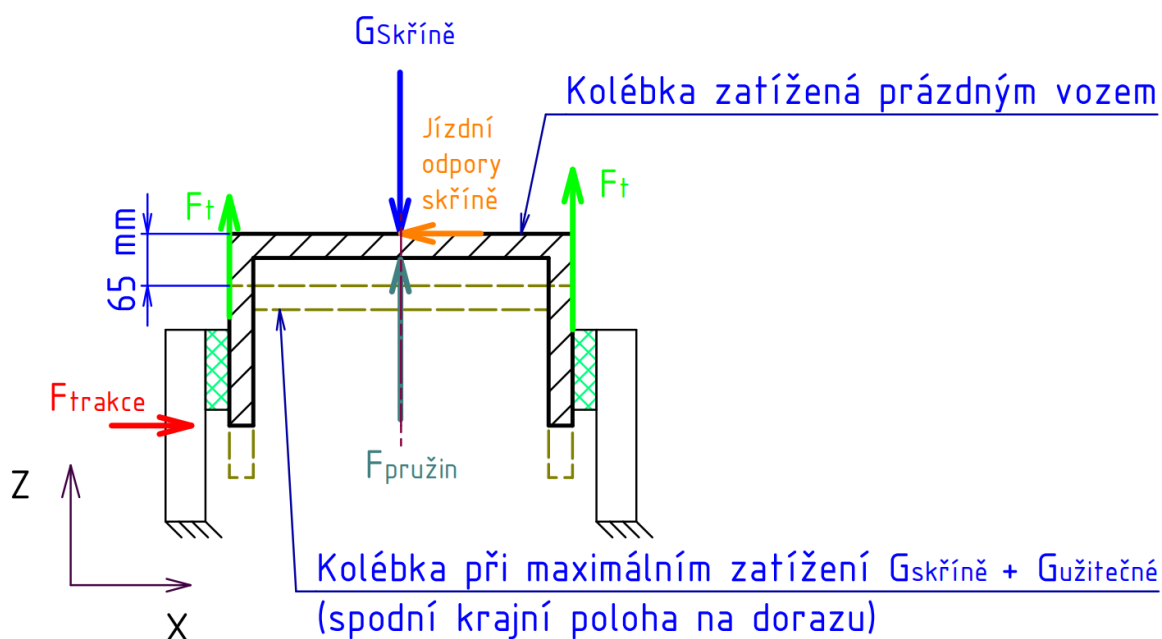
3.1 Konstrukční varianty vedení kolébek

Za celou historii tramvajové dopravy se vyskytlo mnoho konstrukčních řešení. Vývoje moderních tramvajů se též stále posunují a jsou na ně kladeny čím dál tím větší nároky. Nároky nejen na komfort, ale v dnešní době též na spolehlivost a především ekonomičnost, a to nejen prvotní investice, ale i údržby během celé životnosti. S příchodem nízkopodlažních tramvajů bylo nutné kolébky překonstruovat, aby nebyly tak mohutné a vešly se do zástavby pod skříní.

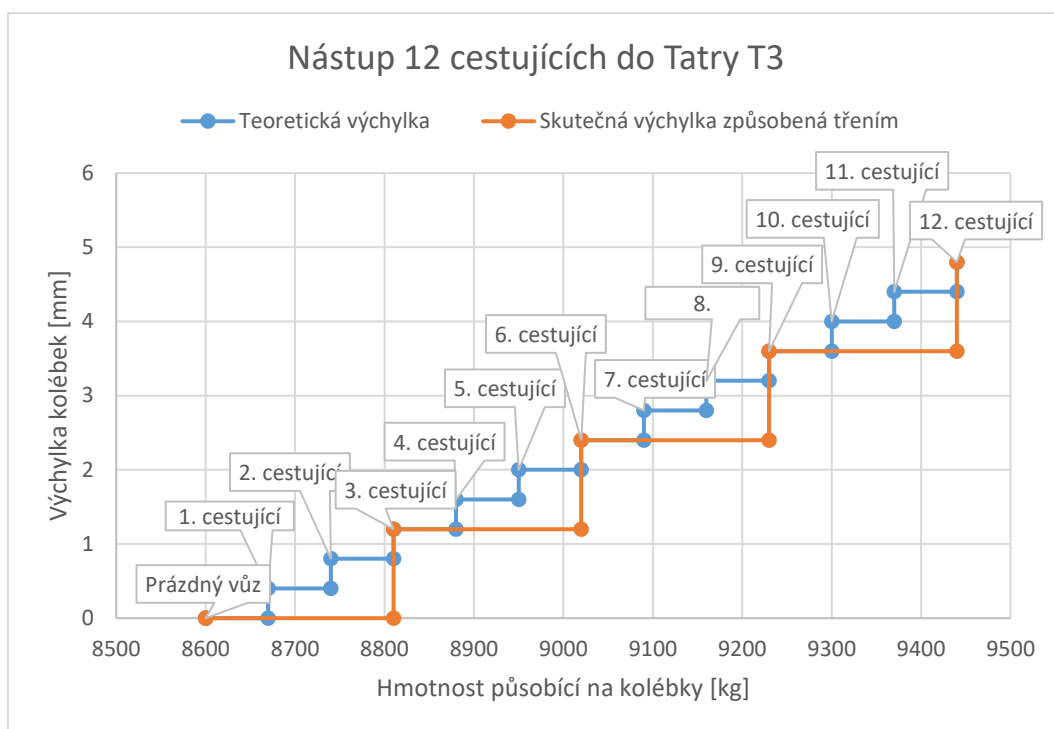
3.1.1 Vedení nárazkami

Tato konstrukční varianta byla používána například u podvozků Tatra T3. Jedná se o jednoduchou konstrukci, kdy kolébka je opatřena kluznou plochou, ke které je s předepjetím přitlačována pryžová nárazka. Výhodami tohoto řešení je jednoduchá konstrukce a fakt, že při maximálním i minimálním zatížení podvozku je sekundární vypružení namáháno jen a pouze ve svislém směru. Nevýhodou je pak vysoké tření mezi nárazkami a kolébkou, které způsobuje, že při každé změně zatížení dojde ke skoku ve chvíli, kdy se překoná odpor tření viz obr. č. 35. Během provozu dochází k opotřebení třecích ploch, čímž dochází nejprve k poklesu předjetí pryžových ploch a poté vytvoření vůle mezi nárazkou a kluznou plochou na kolébce. Tato vůle pak způsobuje při provozu značné rázy, které negativně ovlivňují nejen komfort, ale i životnost dalších součástí podvozku.

Ve schématickém zobrazení je využito skutečné hodnoty maximálního zdvihu 65 mm. Hodnoty tření jsou uvedeny čistě z ilustrativních důvodů.



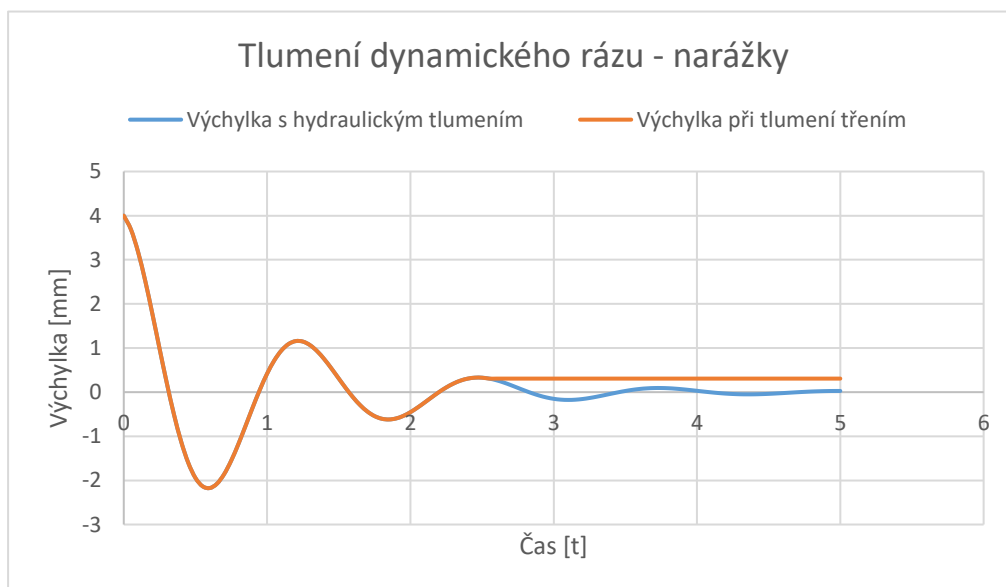
Obrázek 40: Silové poměry na kolébce tramvaje Tatra T3



Graf 1: Nástup cestujících do Tatry T3

Na grafu č. 1 můžeme prakticky vidět, co způsobuje předpětí a tření mezi narážkami a kolébkou. Při nástupu cestujících můžeme vidět, jak se mění poloha kolébky. Po nastoupení prvního cestujícího se nic nestane – tíha cestujícího nepřekoná sílu tření, po nastoupení druhého také nic, až po nastoupení třetího cestujícího dojde k překonání tření a ke skokové změně výchylky kolébky v ose Z viz obr. 40.

Nutno konstatovat, že se v tomto případě jedná o zatížení pouze statické, kdy tramvaj pouze stojí na jednom místě, a tudíž se do zatížení nepromítají dynamické rázy od nerovností kolejí. Ukázkou dynamického rázu můžeme vidět na grafu č. 2. Můžeme také konstatovat, že vlivem tření nedojde nikdy k ustálení v původní poloze, vždy dojde k zastavení pohybu s určitou odchylkou. Hodnoty použité v grafu č. 1 a 2 jsou zvoleny pouze pro demonstraci funkčnosti zvoleného mechanismu – nejsou skutečné.

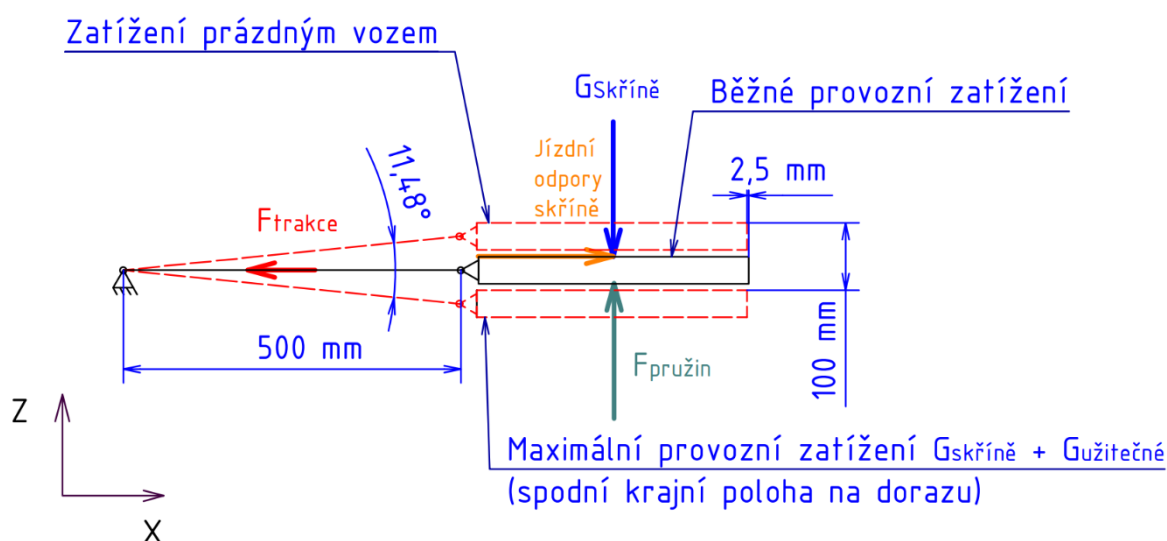


Graf 2: Tlumení dynamického rázu – nárážky

3.1.2 Vedení táhly do paralelogramu

Složitějším způsobem vedení kolébky je vedení táhly. Tato varianta přináší mnoho kladů, ale bohužel i zápory. Výhodou je velmi přesné vedení bez vzniku rázů, jako tomu bylo u narážek. Jedná se však o konstrukčně i zástavbově náročnější konstrukci. Používá se dvojice táhel (ojnic), které musí mít dostatečnou délku, jelikož při minimálním a maximálním zdvihu dochází k posunutí nejen ve svislém směru, ale také v podélném z důvodu kinematiky pohybu ojnice. Schéma kinematiky při svislém zatěžování tohoto mechanismu můžeme vidět na obr. 41. Tímto pohybem dochází k nechtěnému namáhání pružin sekundárního vypružení a je snaha tento jev minimalizovat, což se v praxi provádí co možná největší délkou táhel a také správným nastavením středové polohy při zatížení prázdným a maximálně zatíženým vozem.

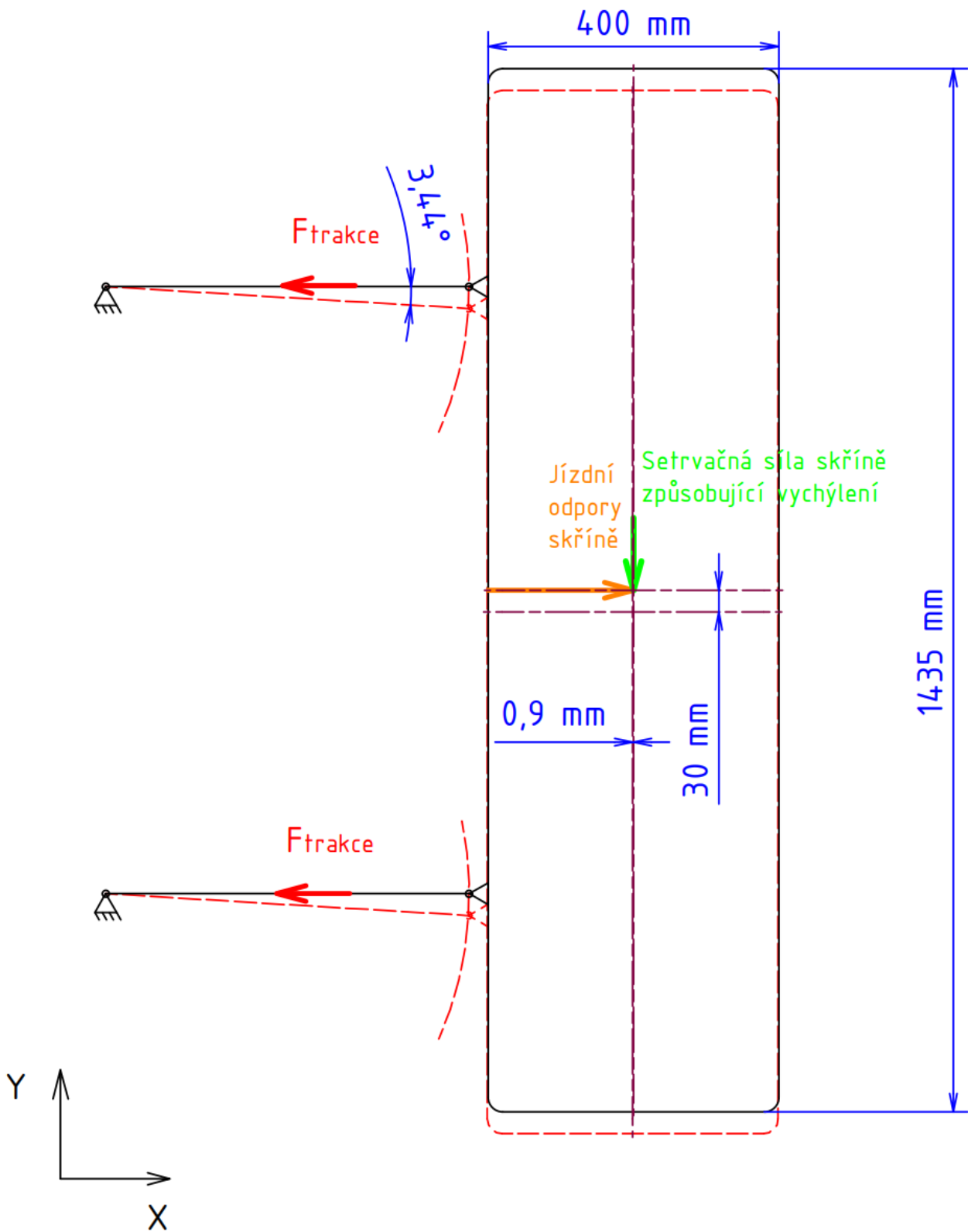
Pro schématické zobrazení byl zvolen užitečný zdvih ve svislém směru 100 mm. Délka ojnic je poté zvolena 500 mm. Klouby jsou uvažovány jako absolutně tuhé.



Obrázek 41: Svislé zatížení vedení táhly do paralelogramu

Příčné zatížení je schematicky znázorněno na obr. č. 42. Byla zvolena maximální hodnota 30 mm pro příčné vychýlení v ose Y. Toto zatížení má za následek posun do osy X pouze 0,9 mm. Omezení maximálního pohybu v této příčné ose je pak v praxi zajišťováno narážkami, které se skládají z nějakého pryžového tlumícího prvku a následně pevné narážky, aby nedošlo k překročení maximálního příčného vybočení skříně.

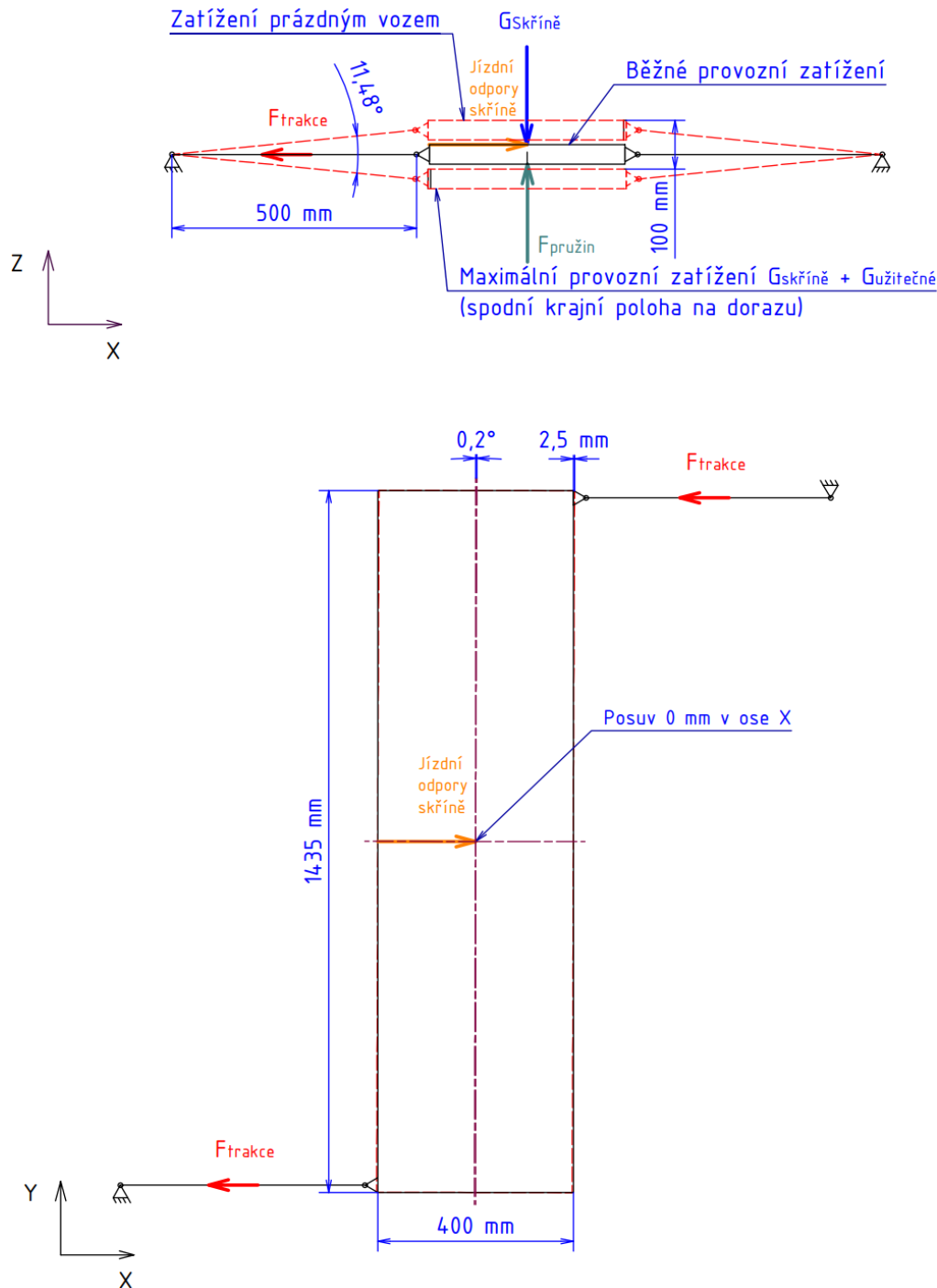
Pokud tedy sečteme příčné i podélné posuvy v krajních pozicích kolébky, dostáváme celkové hodnoty v ose X = 3,4 mm, v ose Y = 30 mm a ose Z = 100 mm.



Obrázek 42: Příčné zatížení vedení táhly do paralelogramu

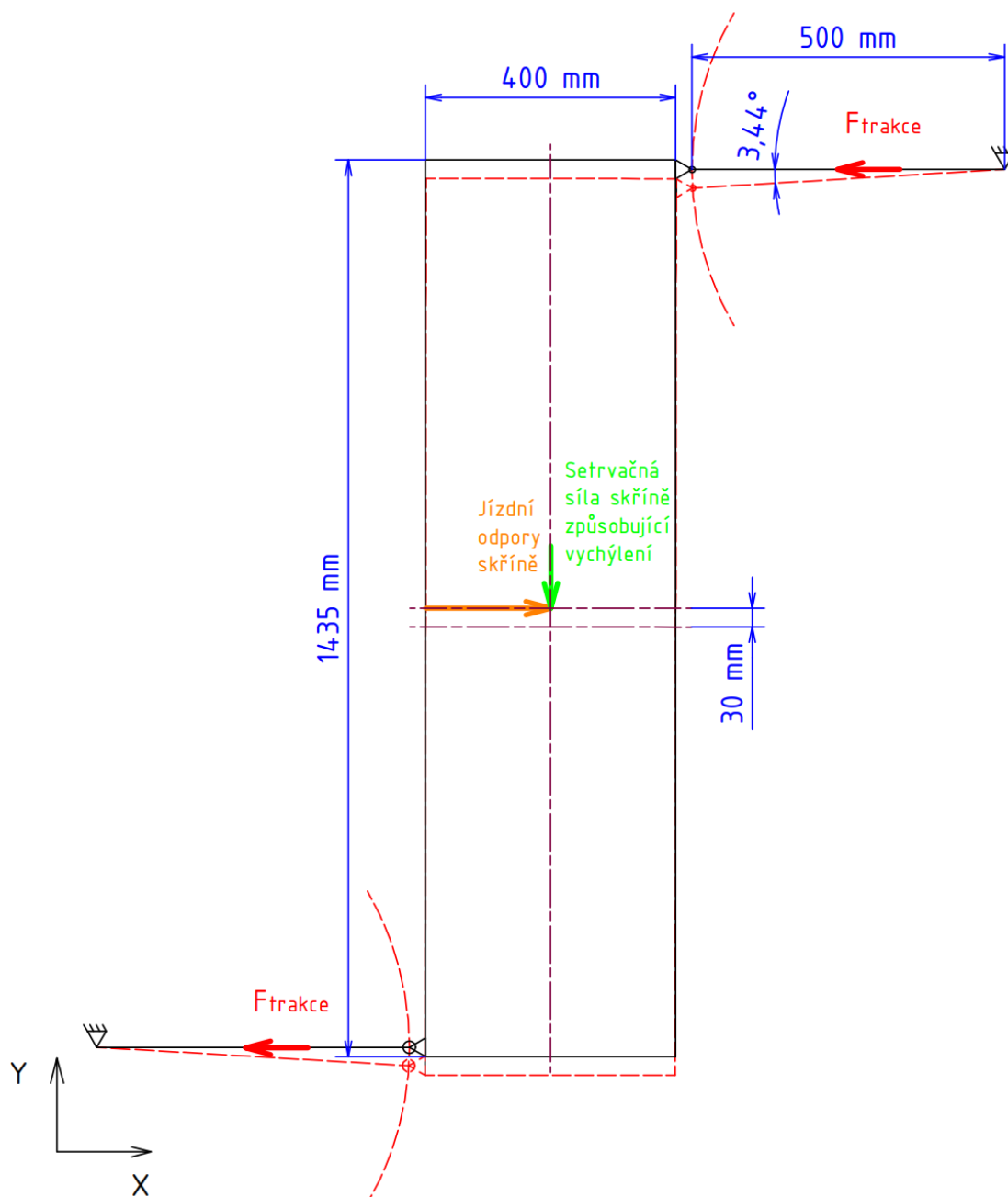
3.1.1 Vedení táhly do antiparalelogramu

V tomto konstrukčním uspořádání je vedení ojnicemi uspořádáno do „Z“ mechanismu. Jelikož jsou opět k vedení použité ojnice, dochází tedy i zde k nechtěnému podélnému posuvu při změně svislého zatížení. Jelikož jsou zde ojnice uspořádané proti sobě, dochází k natočení kolébky kolem jejího středu. Tím je zajištěn nulový posuv čepu nebo čtyřbodového ložiska, který spojuje kolébku se skříní vozidla. Tímto je o něco sníženo namáhání pružin sekundárního vypružení. Pro schématické zobrazení kinematiky bylo zvoleno stejných parametrů jako pro paralelogram. Můžeme konstatovat natočení o úhel $0,2^\circ$ a posunutí krajních bodů kolébky o 2,5 mm.



Obrázek 43: Svislé zatížení vedení táhly do antiparalelogramu

Příčný posuv kolébky vedené ojnicemi do antiparalelogramu je znázorněn na obr. č. 44 a jeho maximální velikost je omezena opět narážkami jako v předchozím případě. Vlivem posunutí dochází k natočení ojnic o úhel $3,44^\circ$, což je v praxi velmi malý úhel a pro pryžové uložení čepů nepředstavuje podíže. Tato hodnota je shodná také pro paralelogram. Tento typ vedení najdeme například na podvozcích tramvaje Flexity Classic od firmy Bombardier, jehož schematické zobrazení kinematiky na obrázku č. 44 níže.

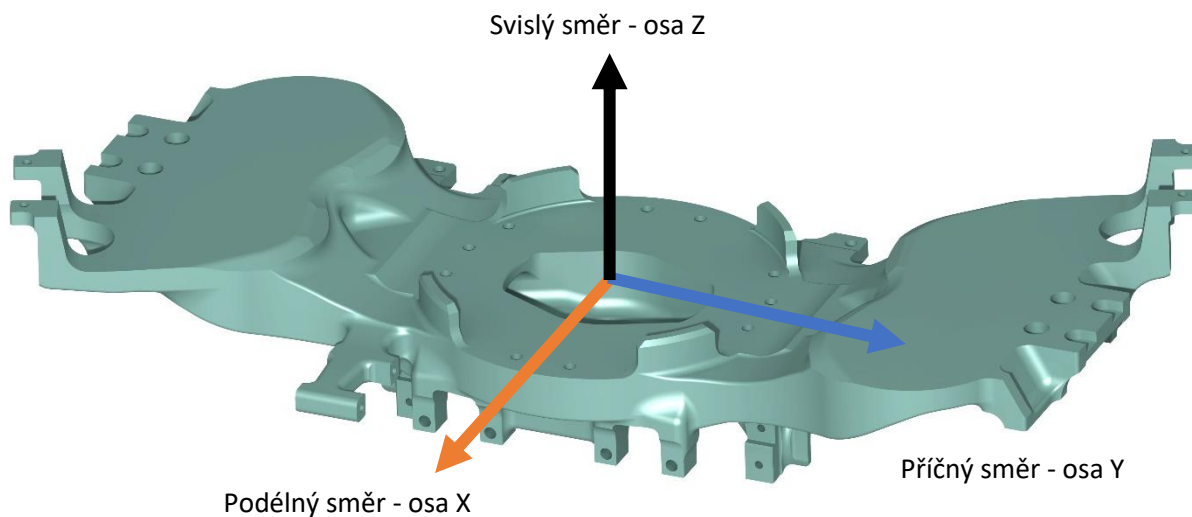


Obrázek 44: Příčné zatížení vedení táhly do antiparalelogramu

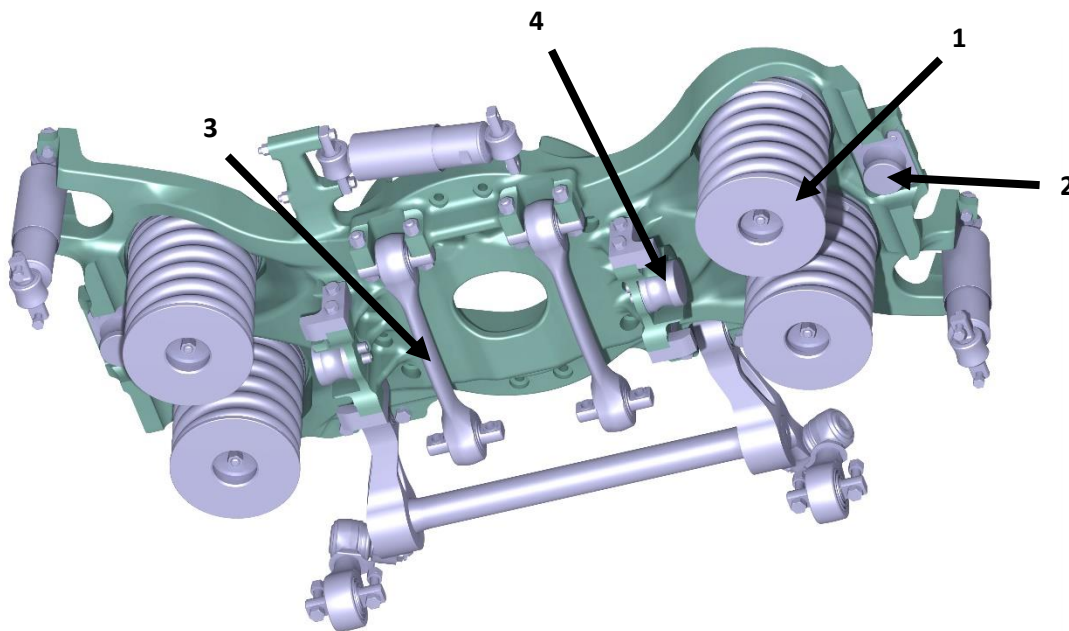
Z výše uvedených hodnot můžeme konstatovat, že podélná výchylka je velmi zanedbatelná oproti výchylce příčné. Z toho důvodu při volbě způsobu vedení není nutno z hlediska kinematiky upřednostňovat paralelogram či antiparalelogram a rozhodovat se které řešení použít. Tudíž se můžeme rozhodnout čistě na základě zástavbových možností. Při návrhu sekundárního vypružení je však velmi vhodné ověřit kombinaci všech možných posuvů v podélných i příčných směrech pro správné navržení a zkonstruování pružících elementů.

4 Analýza zatížení modelu kolébky poskytnuté zadavatelem

Díky spolupráci na této bakalářské práci s firmou Škoda Transportation a.s. byla poskytnuta data pro jedno skutečné mezní zatížení – limitní náklon. Je použit doporučený souřadný systém viz obr. č. 45. Zadané hodnoty se nachází dále v kapitole 4.3 a tabulce č. 2. Cílem tohoto výpočtu metodou konečných prvků je zjištění hodnoty maximálního posuvu, kritického průřezu a místa s největší koncentrací napětí. Výpočet je proveden v programu Abaqus ve verzi 6.14.



Obrázek 45: Definice os



Obrázek 46: Kolébka v sestavě

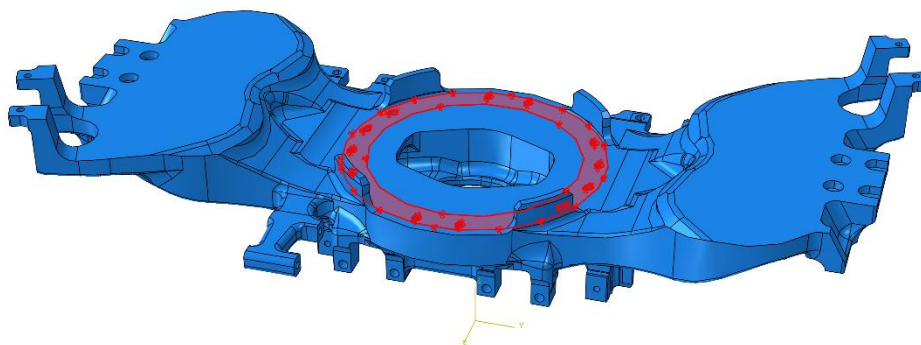
1. vinuté pružiny 2. svislá narážka 3. podélné vedení ojnícemi 4. příčná narážka 5. torzní stabilizátor

4.1 Metodika zpracování

Jelikož jsou zadané velikosti sil, kterými působí jednotlivé prvky na kolébku, bylo rozhodnuto, že je třeba zjistit velikosti styčných ploch a spočítat velikost tlaku, který je vyvíjen součástmi na kolébku. Tyto hodnoty jsou poté použity jako vstupní parametry pro simulaci v Abaqusu. Dále bylo rozhodnuto rozdělit výpočet na statické a dynamické zatížení.

4.1.1 Okrajová podmínka

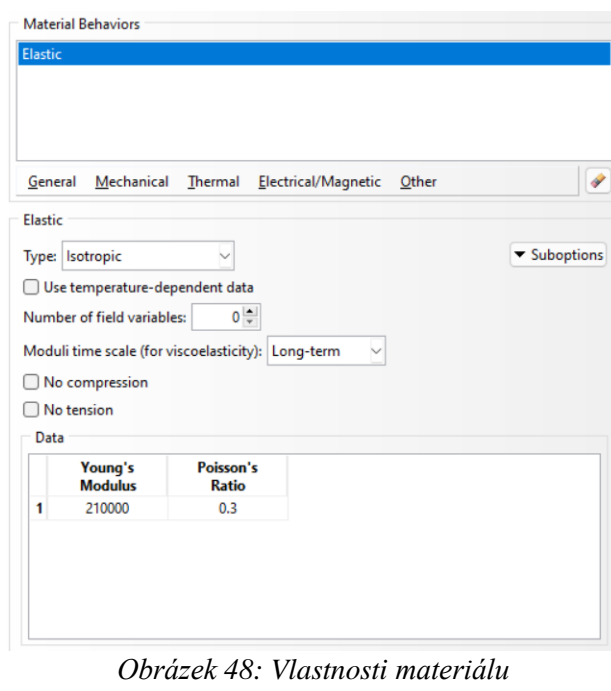
Jako okrajová podmínka byl stanoven nulový posuv a natočení styčné plochy kolébky s ložiskem. Jak bylo později zjištěno, tato okrajová podmínka není zcela ideální, jelikož skutečný spoj s ložiskem i přes jeho vysokou pevnost vykazuje jistou deformovatelnost.



Obrázek 47: Okrajová podmínka – nulový posuv a nulové natočení plochy pod ložiskem

4.1.2 Volba a definice vlastností materiálu

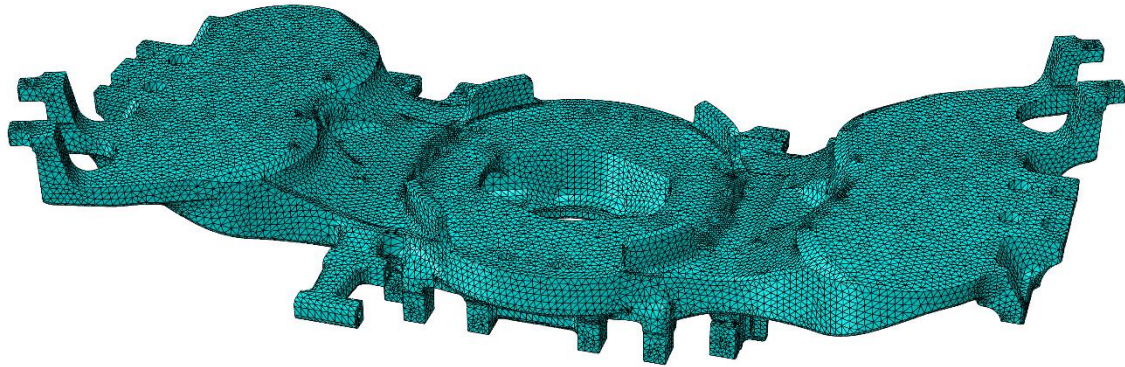
Z důvodů zachování technického know-how nejsou dostupné přesné parametry použitého materiálu, a proto byly použity parametry odpovídající klasické oceli, tedy Youngův modul pružnosti $E = 210 \text{ GPa}$ a Poissonovo číslo $\mu = 0,3$. Předpokladem je také plně elastický stav bez trvalých deformací.



Obrázek 48: Vlastnosti materiálu

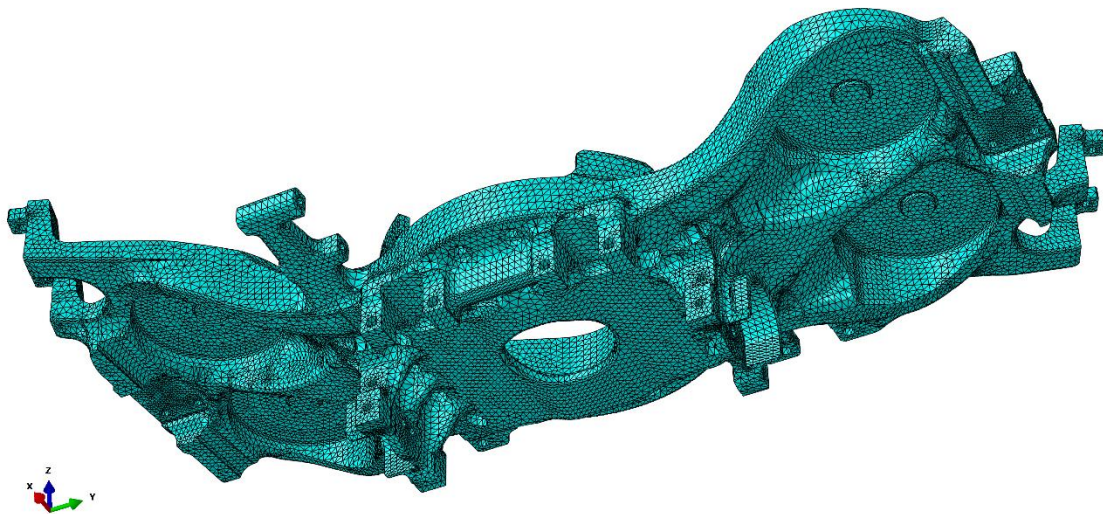
4.1.3 Sít'

Dalším krokem byla tvorba sítě. Z důvodů velké členitosti počítaného dílu jsem zvolil síť trojúhelníkovou s konstantní roztečí. Výsledná síť obsahovala 388 473 elementů. Také bylo po pár pokusech zjištěno, že je vhodné síť zhustit okolo okrajové podmínky.



z

Obrázek 49: Sít' pohled shora



Obrázek 50: Sít' pohled zespodu

4.2 Statický výpočet zatížení kolébky – jízda v přímé trati

Statický výpočet si můžeme představit jako jízdu maximálně zatížené tramvaje konstantní rychlostí po přímé trati. Cílem je tedy zjištění deformací a napětí při tomto zatížení. Pokud by pevnostní výpočet nevyšel ani pro statické zatížení, bylo by jasné, že je v konstrukci závažný problém, a je třeba celou součást znovu navrhnout.

4.2.1 Výpočet a zavedení maximálního statického zatížení

Jelikož není známá skutečná hmotnost skříně, je třeba proto zjistit maximální teoretickou hodnotu. Tu je možné určit z maximálního zatížení na nápravu, což je 11 tun. Dále je odhadnuta hmotnost podvozku na 5 tun. Z toho vyplývá následující vztah:

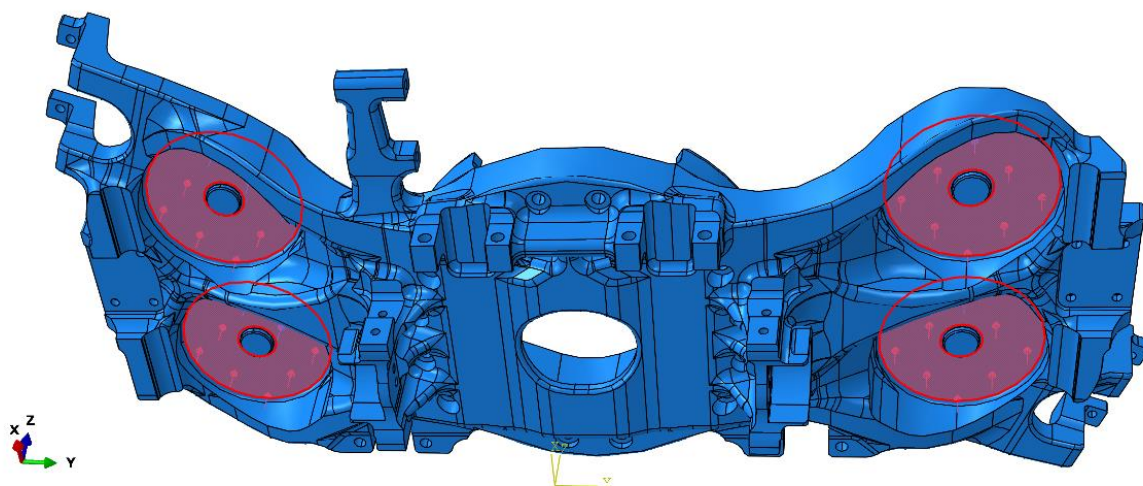
$$G_{skříně} + G_{užitečné} = 2 \cdot G_{nápravy} - m_{podvozku} = 2 \cdot 11 - 5 = 17 \text{ t} = \mathbf{17000 \text{ kg}}$$

Poté platí:

$$F_{stat.max} = m \cdot g = 17000 \cdot 9,81 = 166770 \text{ N}$$

Tato hodnota je tedy dále uvažována jako rovnoměrně rozložená na všechny čtyři vinuté pružiny. Kolébka v tomto případě nedosedá na žádné jiné dorazy. Podle následujícího vztahu byl spočítán tlak působící na kolébku na styčných plochách s vinutými pružinami viz. obr. č. 51. Výsledná data použitá pro výpočet jsou shrnuta v tabulce č. 1.

$$p_{pružin-stat.} = \frac{F_{stat.max}}{S_{celková}} = \frac{166770}{148476} = \mathbf{1,1232 \text{ MPa}}$$

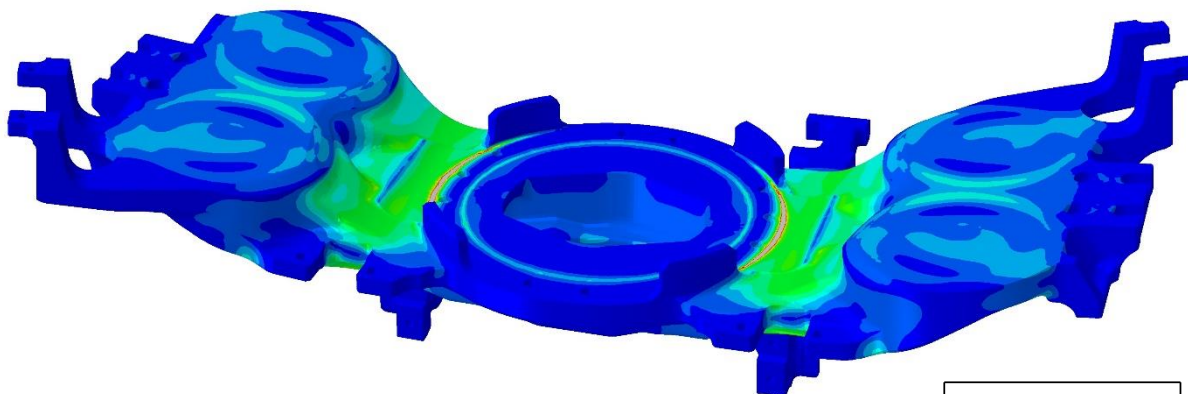


Obrázek 51: Statické zatížení v ose Z je přenášeno pouze vinutými pružinami

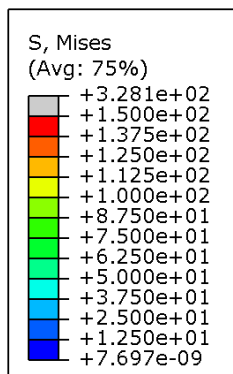
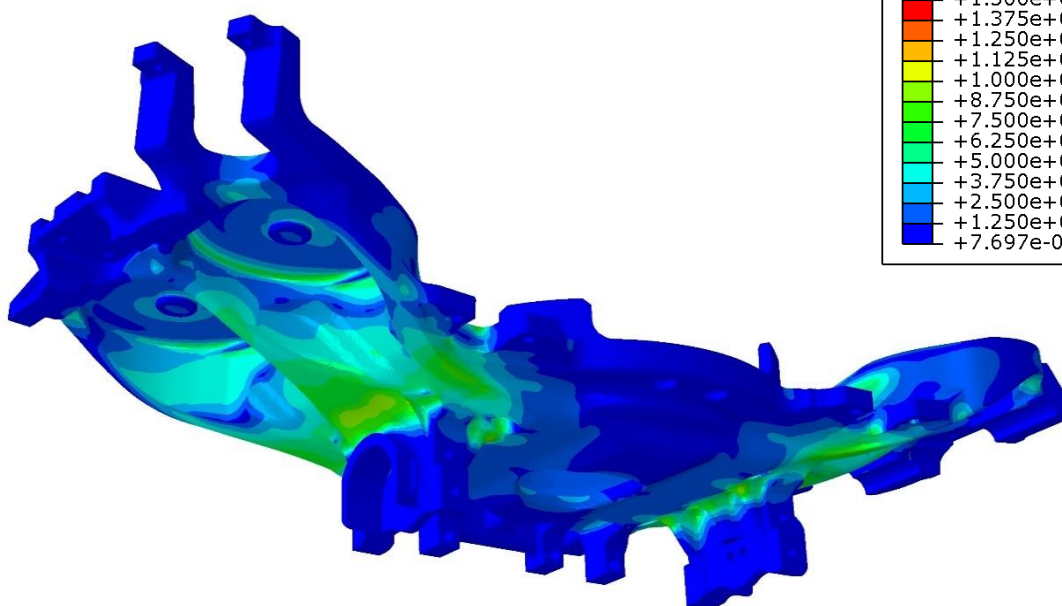
Tabulka 1: Vstupní parametry pro Abaqus – statické zatížení

Statické zatížení						
Druh síly	Síla [N]	Počet pružin [-]	Plocha [mm ²]	Celkem plocha [mm ²]	Tlak [MPa]	Síla na jednu pružinu [MPa]
Celková statická síla Fz	166770	4	37119	148476	1,1232	41692,5

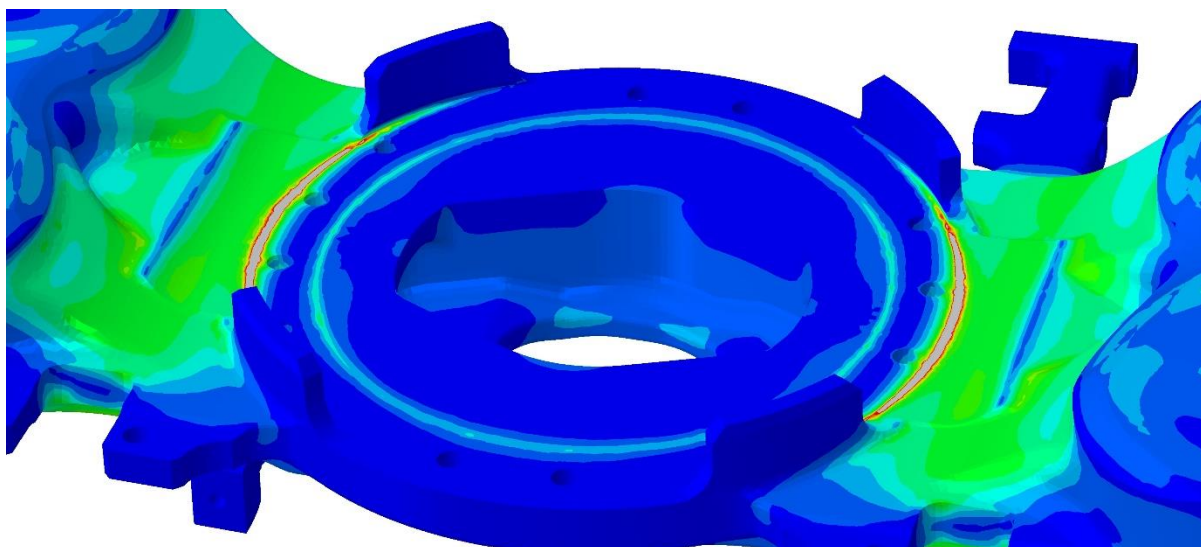
4.2.2 Výsledek statické simulace – analýza napětí



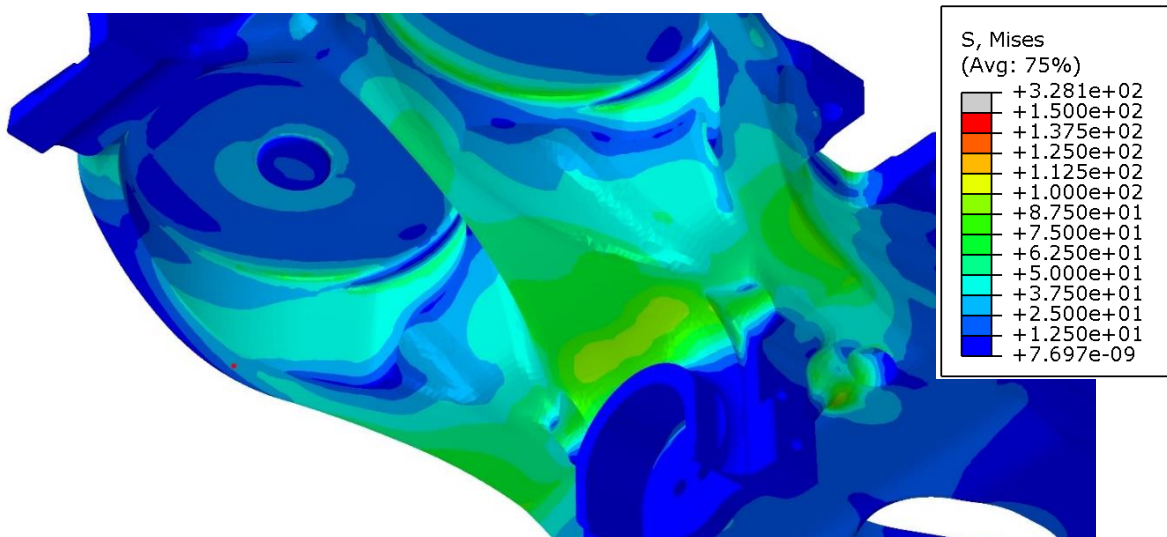
Obrázek 52: Statické zatížení – analýza napětí – pohled 1



Obrázek 53: Statické zatížení – analýza napětí – pohled 2

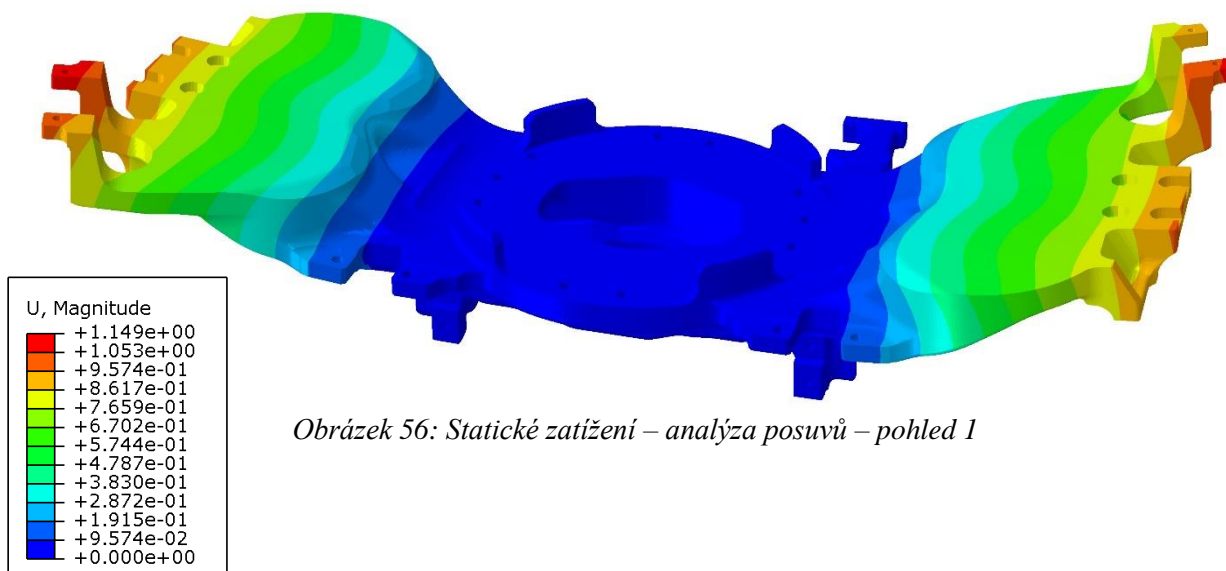


Obrázek 54: Statické zatížení – analýza napětí – detail chyby způsobené okrajovou podmínkou

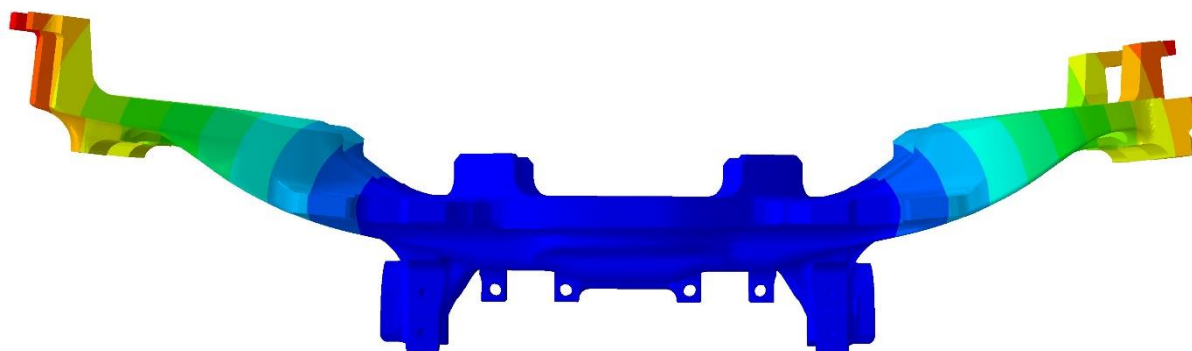


Obrázek 55: Statické zatížení – analýza napětí – detail kritického místa

4.2.3 Výsledek statické simulace – analýza posuvů



Obrázek 56: Statické zatížení – analýza posuvů – pohled 1



Obrázek 57: Statické zatížení – analýza posuvů – pohled 2

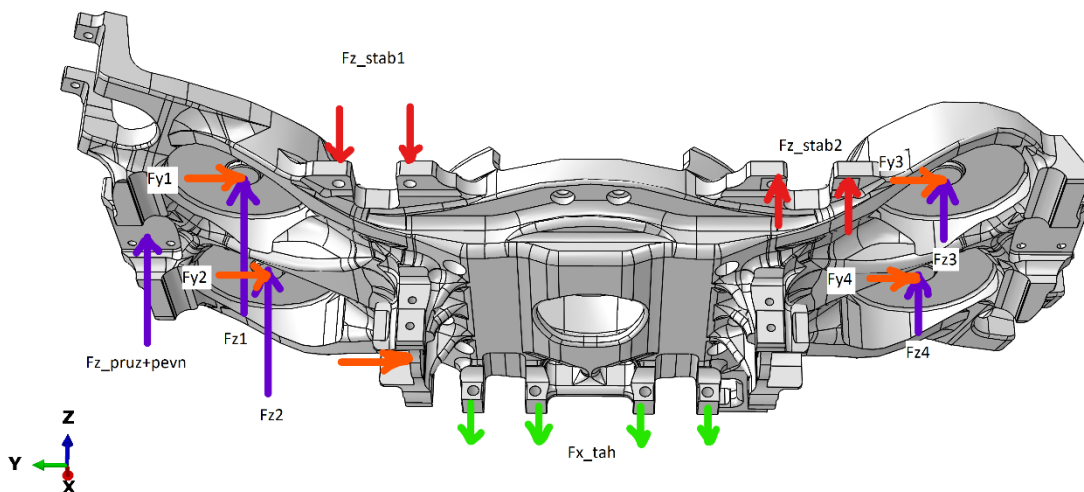
Jak je vidět z výše uvedených obrázků, je třeba zanedbat chybu vznikající v těsném okolí okrajové podmínky. Po zanedbání pak dostáváme maximální hodnotu napětí okolo **100 N/mm²**. Toto je bezpečná hodnota pod mezí kluzu a kolébka tudíž pro takovéto zatížení vyhovuje. Průhyb dosahuje maximální hodnoty cca **1 mm**. To je dáno celkově menším zatížení kolébky oproti výpočtu dynamickému.

4.3 Dynamický výpočet zatížení kolébky – jízda obloukem

Tento dynamický výpočet představuje maximální zatížení v limitním náklonu při jízdě vozidla obloukem. Data byla poskytnuta firmou Škoda Transportation a.s a jsou uvedena v tabulce č. 2. Z těchto hodnot byl spočten tlak dílů působících na příslušné dosedací plochy na kolébce. Působíště jednotlivých sil je zpracováno graficky na obr. č. 58, síly uvedené v tabulkách jsou v tomto případě dělené počtem příslušných šipek na obrázku. Použité hodnoty tlaků pro výpočet je pak uveden v tabulce č. 3.

Tabulka 2: Zadané hodnoty

KV 80	Jednotky	označení	Typ zatížení
-9,8	[m/s]	ZS_01	Vlastní hmotnost
65,2	[kN]	$F_{z1} = F_{z2}$	Svislé zatížení - vliv náklonu je zohledněn velikostí sil pro jednotlivé jízdní stavy
29,3	[kN]	$F_{z3} = F_{z4}$	
14+27,8	[kN]	$F_{zpru1} + F_{zpev1}$	
0+0	[kN]	$F_{zpru2} + F_{zpev2}$	
78,0	[kN]	$F_{zstab1} = F_{zstab2}$	
6,6	[kN]	ZV_02_ $F_{y1} = F_{y2} = F_{y3} = F_{y4}$	Příčné zatížení
47,9	[kN]	ZV_02_ $F_{ypru} + F_{ypev}$	



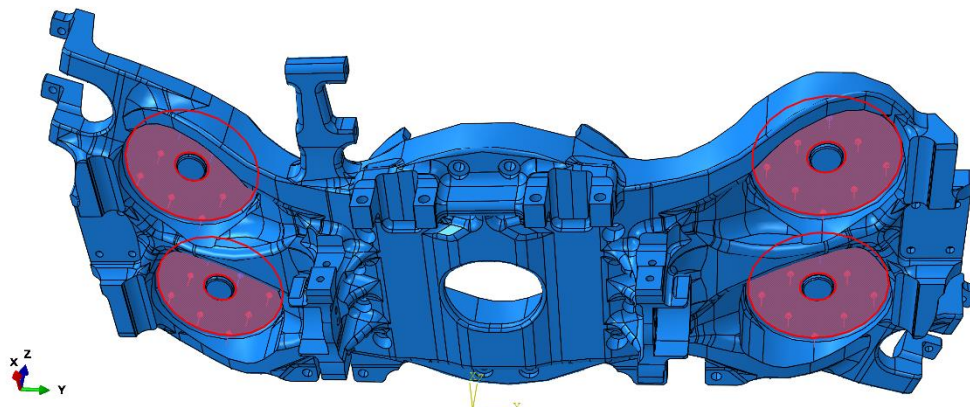
Obrázek 58: Zavedení silových účinků

Tabulka 3: Vstupní parametry pro Abaqus

Dynamické zatížení			
Název síly	Plocha [mm ²]	Síla [N]	Tlak [MPa]
Fz1,Fz2	37119	65200	1,7565
Fz3,Fz4	37119	29300	0,7894
Fzpru1+Fzpev1	11373	41800	3,6754
Fzpru2+Fzpev2	11373	0	0,0000
Fypru+Fypev	4836	47900	9,9049
Fy1, Fy2, Fy3, Fy4	37119	6600	0,1778
Fxtah	4584	40472	8,8292
Fstab1 = Fzstab2	1960	78000	39,7959

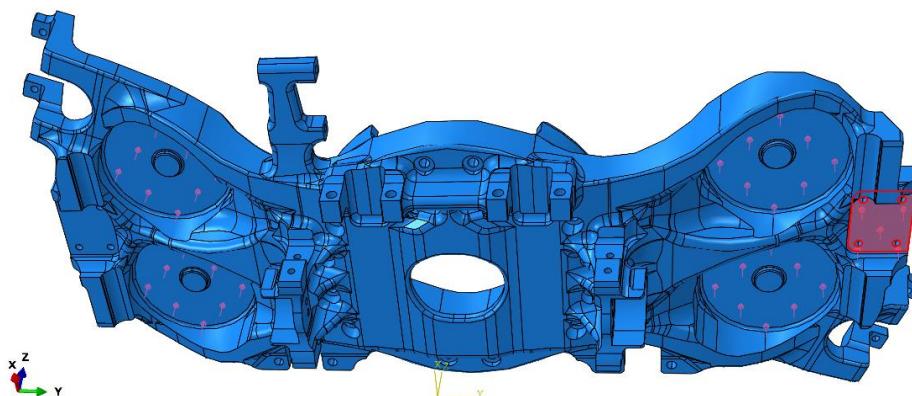
Jednotlivé síly byly zaváděny postupně a byl vytvořen pro každou sílu vlastní „step“, aby bylo dobře patrné, jaký má daná síla vliv na napětí a deformace dílu.

- Nejprve byla zavedena reakce od pružin v ose Z



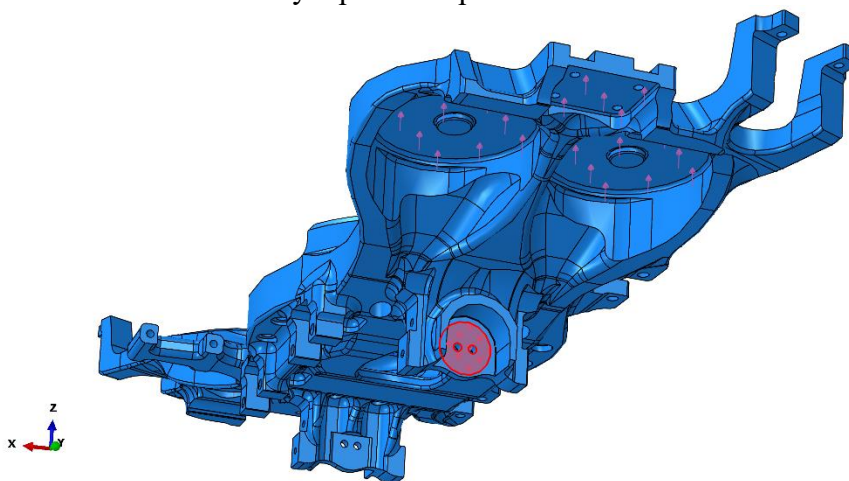
Obrázek 59: Síly působící od pružin v ose Z

- Následovala reakce od pravé narážky (skříň je limitně nakloněna, a proto je jedna strana více zatížena až na doraz)



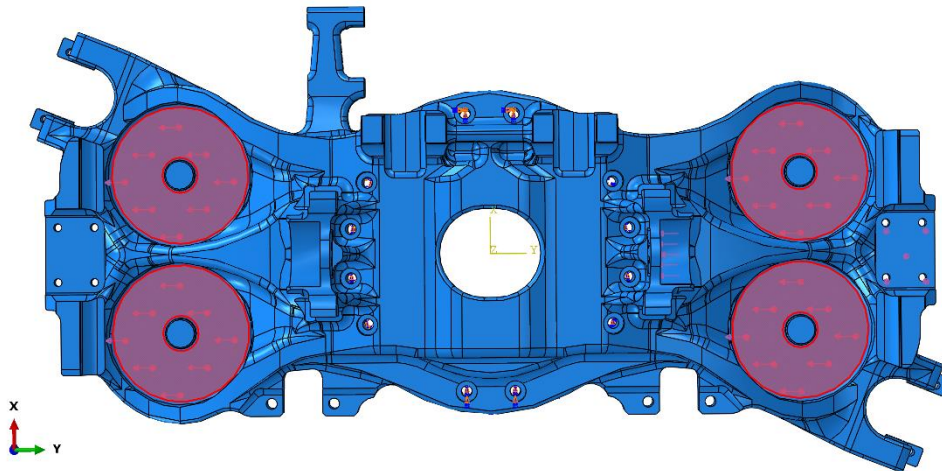
Obrázek 60: Síly působící od narážky v ose Z

- Poté reakce od narážky z příčného posuvu v ose Y



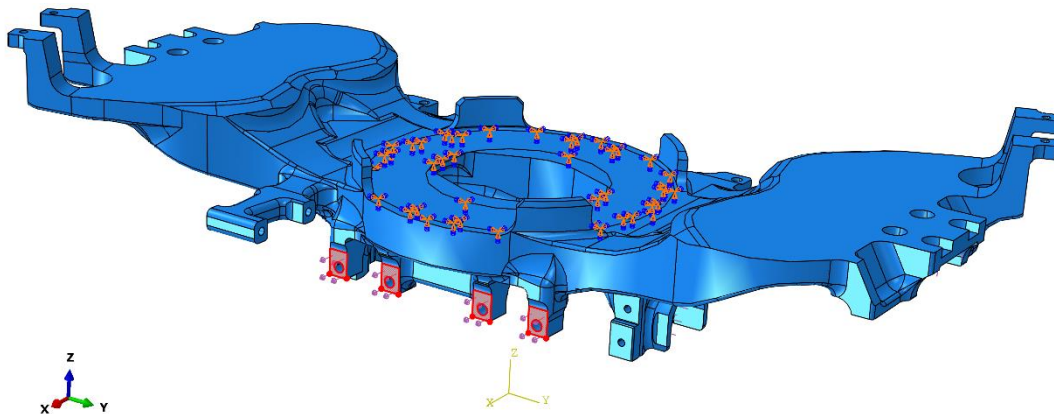
Obrázek 61: Reakce narážky v ose Y

- Následně i smykové reakce v ose Y od pružin



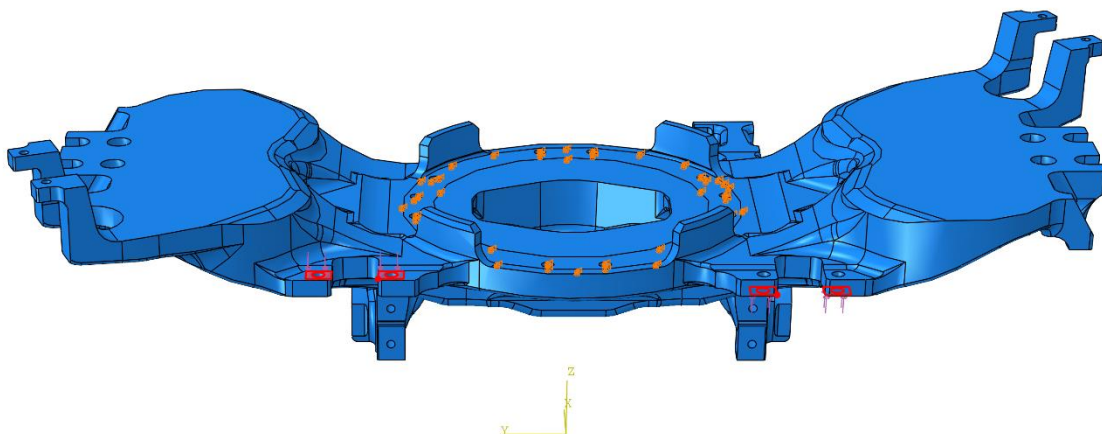
Obrázek 62: Reakce pružin v ose Y

- Poté byla přidána i tahová síla v ose X



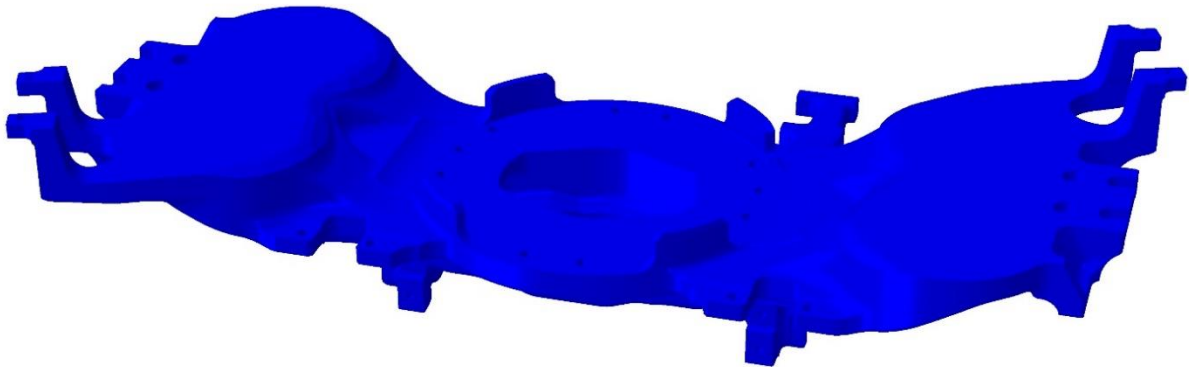
Obrázek 63: Tahová síla v ose X

- Jako poslední byly zavedeny síly od torzního stabilizátoru

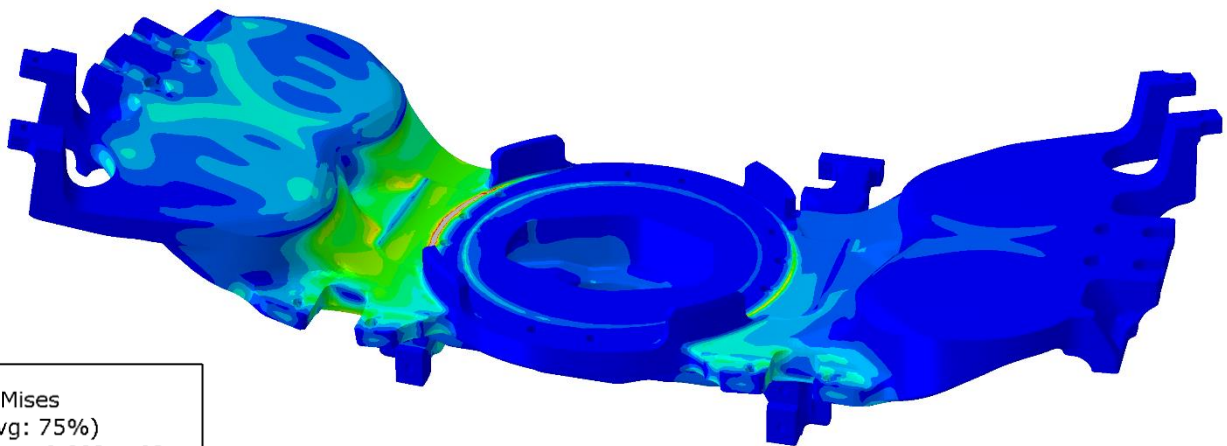


Obrázek 64: Síly v ose Z od torzního stabilizátoru

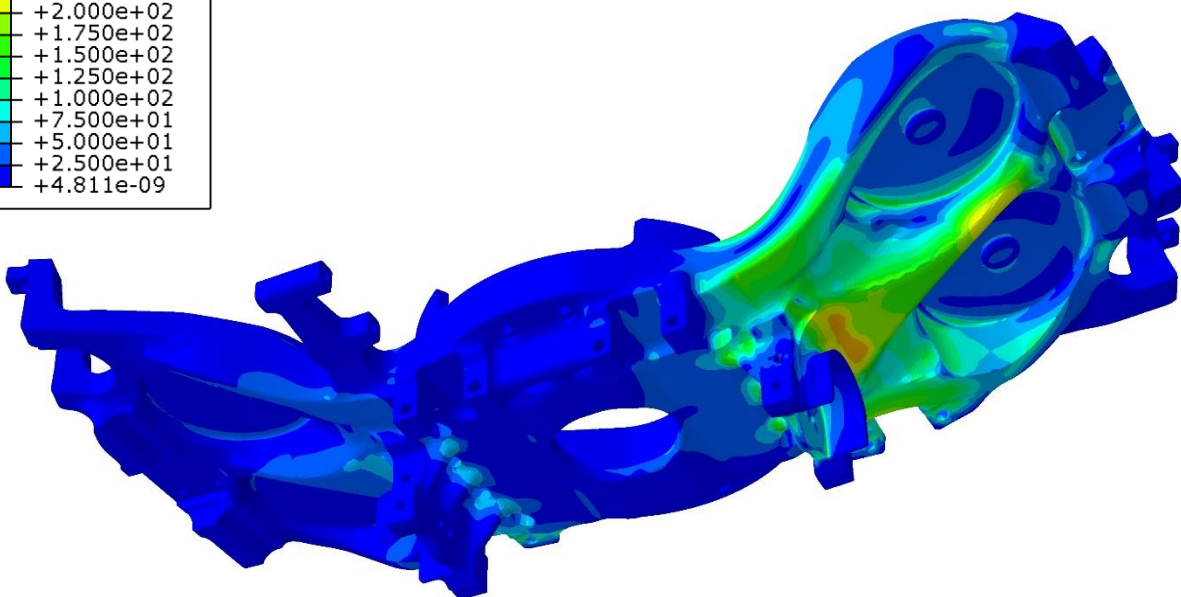
4.3.1 Výsledek dynamické simulace – analýza napětí



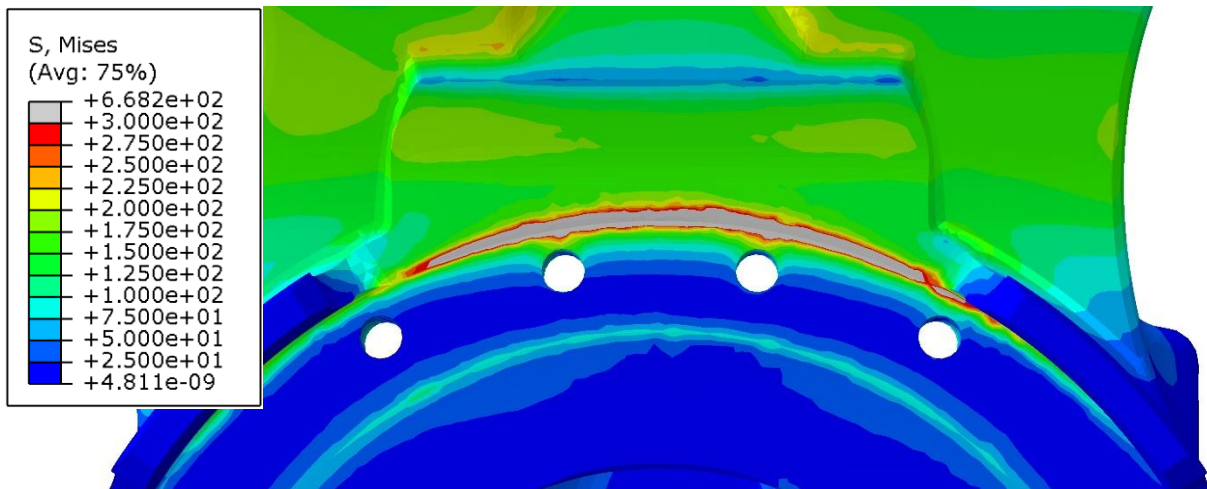
Obrázek 65: Nezatížený stav



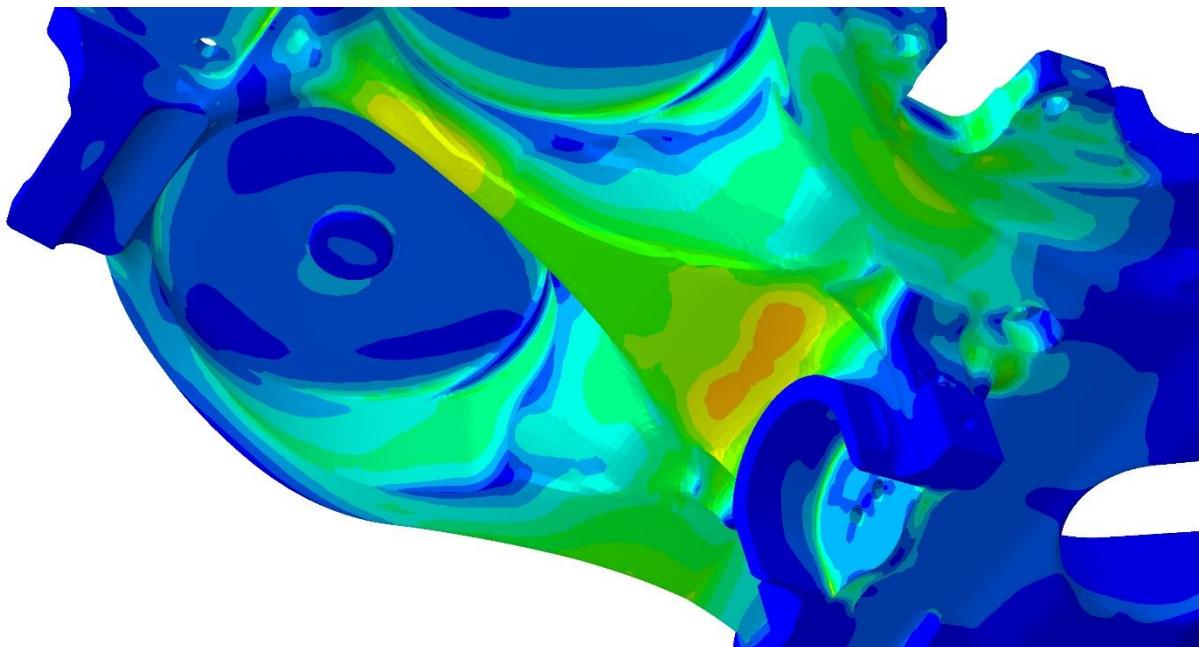
Obrázek 66: Dynamické zatížení – analýza napětí – pohled 1



Obrázek 67: Dynamické zatížení – analýza napětí – pohled 2



Obrázek 68: Dynamické zatížení – analýza napětí – detail chyby způsobené okrajovou podmínkou

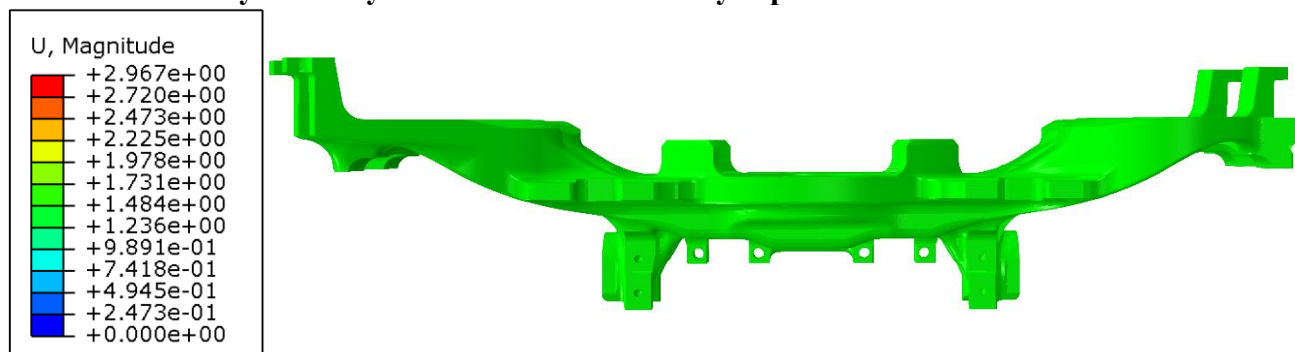


Obrázek 69: Dynamické zatížení – analýza napětí – detail kritického místa

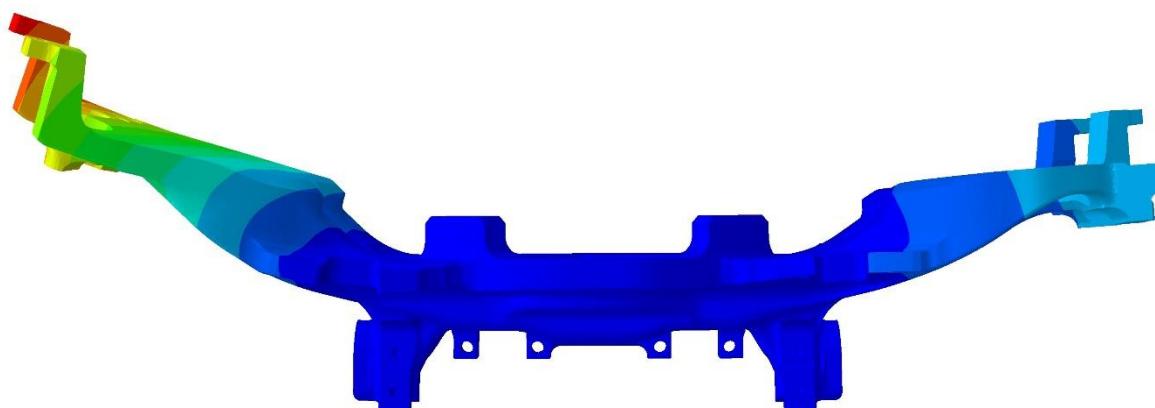
Dle provedené analýzy napětí můžeme konstatovat skutečnost, že na detailu obr. č. 68 se nachází špička napětí až **668 N/mm²**. Toto napětí vzniká v důsledku zjednodušení modelu a použití okrajové podmínky, z které vychází, že plocha pod ložiskem je absolutně tuhá a nedochází v ní k žádnému posuvu ani natočení. Jelikož ve skutečnosti ložisko absolutně tuhé není a dochází na něm k drobným deformacím, můžeme tuto špičku zanedbat – jedná se o chybu výpočtu.

Na detailu obr. č. 69 je patrné druhé kritické místo ze spodu kolébky. Tam dosahuje napětí hodnoty okolo $\sigma \cong 250 \text{ N/mm}^2$, což je hodnota velice blízká k maximálnímu dovolenému napětí, které je dle externí konzultace $\sigma_D = 266 \text{ N/mm}^2$, a proto je vhodné konstrukci upravit a snížit tak toto napětí.

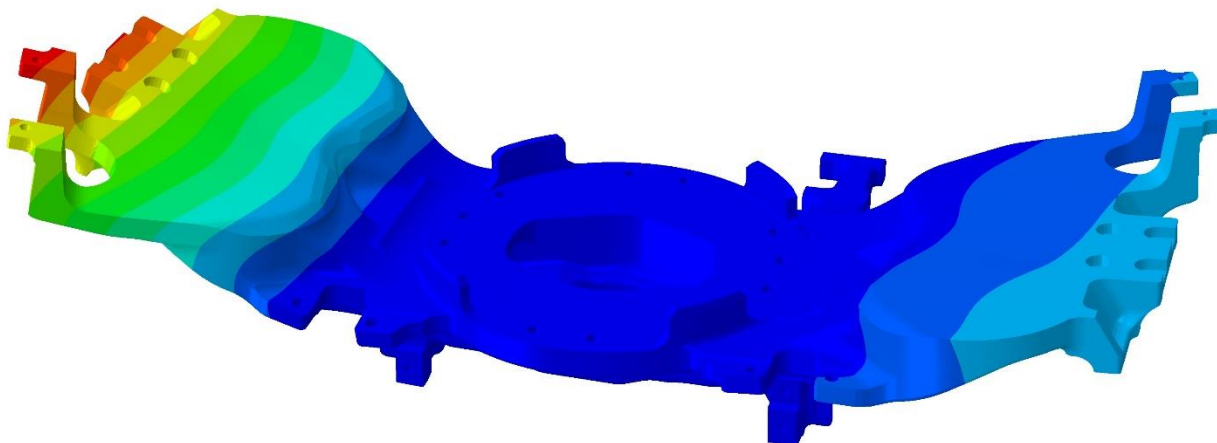
4.3.2 Výsledek dynamické simulace – analýza posuvů



Obrázek 70: Dynamické zatížení – analýza posuvů – nezatížený stav



Obrázek 71: Dynamické zatížení – analýza posuvů – pohled 1



Obrázek 72: Dynamické zatížení – analýza posuvů – pohled 2

Z výše uvedeného výstupu můžeme konstatovat maximální hodnotu ohybu na více zatížené straně a dosahuje hodnoty necelé **3 mm**. Tato hodnota pro takovéto dynamické zatížení není zcela zanedbatelná, a proto je cílem ji minimalizovat.

5 Úprava kolébky poskytnuté zadavatelem a implementace výškového stavění

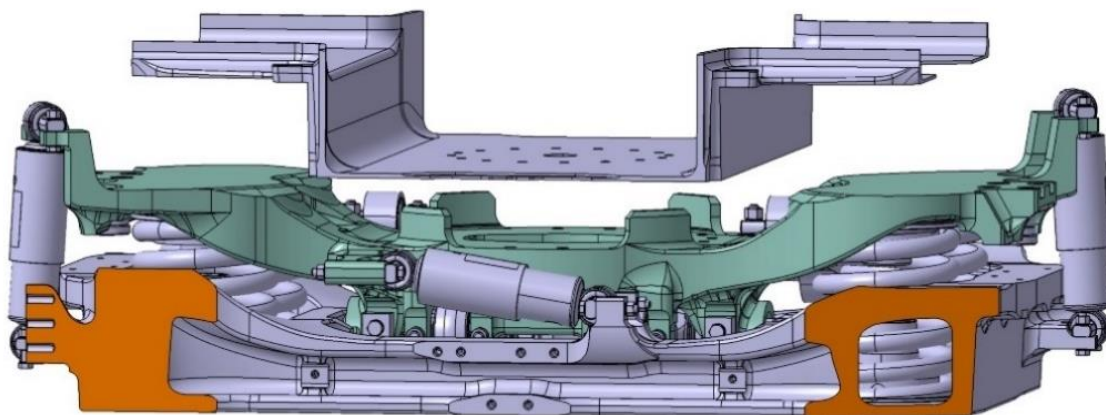
Pro tuto kapitolu vycházím z konstrukce kolébky s částí podvozku od společnosti Škoda Transportation a.s., kterou jsem analyzoval v předchozí kapitole. Cílem této části je provést návrh konstrukce kolébky s možností výškového stavění skříň. Požadavky ze strany zadavatele jsou následující:

- Navrhnout výškové stavění rámu podvozku pro kompenzaci opotřebení kol
- Zachovat připojovací rozměry
- Snížit hmotnost kolébky
- Snížit hmotnost spojení kolébka – skříň
- Zajistit co nejnižší náklady životního cyklu, tzv. LCC (Life Cycle Costs)

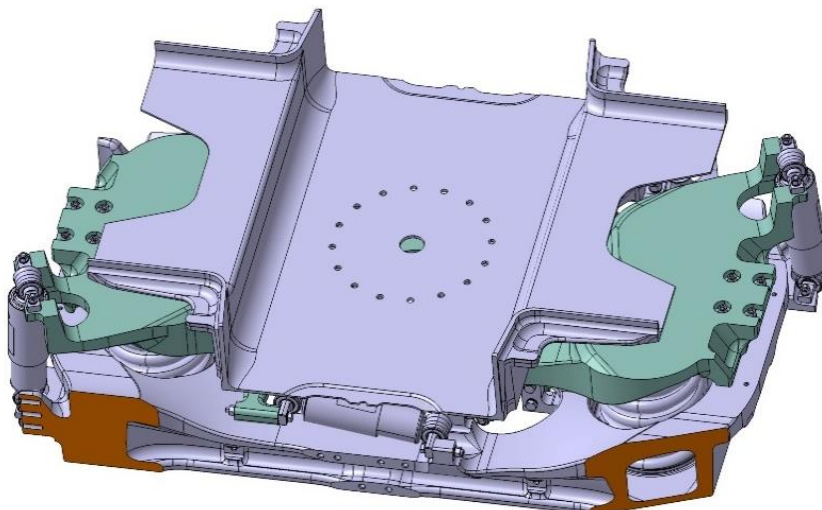
5.1 Prvotní úvaha a rešerše možných řešení

Před vlastní tvorbou konceptů a návrhů je třeba se nejdříve důkladně zamyslet, co přesně kolébka jako součást zajišťuje, co od ní očekáváme a je třeba vzít v úvahu poznatky o zatížení z předchozích kapitol. Dále je třeba brát na zřetel zástavbové možnosti, servisní přístupnost a také kinematiku kolébky vůči rámu podvozku a dalších součástí.

Víme tedy, že kolébka je součást spojující podvozek a skříň. S podvozkem je spojena přes pružiny sekundárního vypružení, tlumiče, prvky vedení a také pevnými dorazy po vyčerpání zdvihu pružin. Se skříní již uvažujeme spojení pomocí otočného čepu a kluznic. Otočný čep musí být umístěn uprostřed a zajišťuje přenos sil v příčném a podélném směru. Kluznice poté přenáší svislé zatížení a dynamické klopné momenty od skříň. Z tohoto faktu vyplývá, že ideální umístění kluznic by bylo přímo nad vinutými pružinami, jelikož by kolébka nebyla zatěžována ohybovým momentem. Na následujících obrázcích č. 73 a 74 vidíme původní konstrukci kolébky se čtyřbodovým otočným ložiskem.

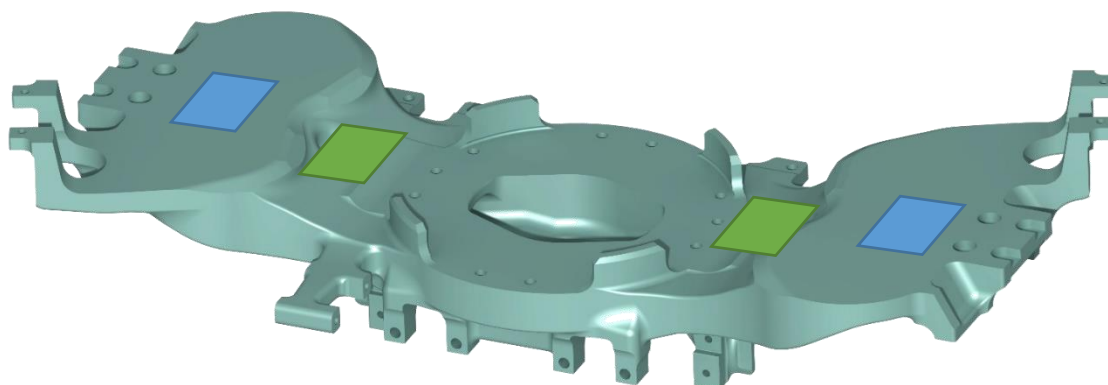


Obrázek 73: Originální sestava s otočným čtyřbodovým ložiskem – pohled 1



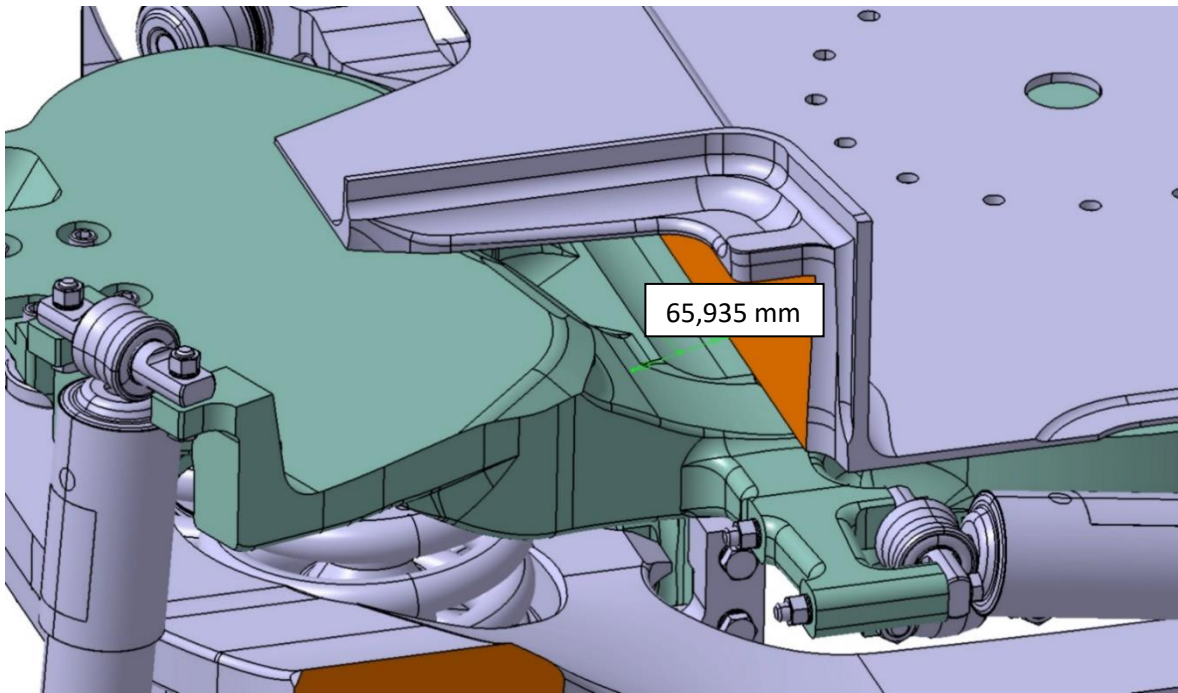
Obrázek 74: Originální sestava s otočným čtyřbodovým ložiskem – pohled 2

Z předchozího odstavce se tedy nabízí umístit kluznice na plochy přímo nad sekundární vypružení – na následujícím obrázku č. 75 označeno modrou barvou. Avšak při výběru umístění musíme zhodnotit také možnost zakomponování výškového stavění, které by mohlo být náročné na výšku zástavby do kolébky, a proto se nabízí také možnost umístit kluznice hned vedle vypružení, což by vedlo k zachování větší podobnosti k původnímu řešení, ale zároveň také k výraznému snížení ohybu. Tato varianta je na obrázku č. 75 označena zeleně.



Obrázek 75: Varianty umístění kluznic

Po zohlednění zástavbových možností přenosu sil z kolébky na skříň vyšlo najevo, že je vhodnější umístění vedle vypružení, jelikož by jejich umístění nad pružiny vedlo nevhodnému zatížení skříně. Síly by působily v místě, kde by nebyla žádná svislá stojina a působily by tedy na rovnou nevyztuženou plochu, která by se začala deformovat. Řešením by nebyla ani konstrukce dílu s příčnými nosníky, a to především z nedostatku prostoru mezi kolébkou a nadpodvozkovou částí v místě zachyceném na obrázku č. 76. Rozměr $L = 65 \text{ mm}$ je třeba ještě dále snížit o kinematiku natáčení podvozku vůči skříni. To by bylo velice málo prostoru pro optimalizaci konstrukce skříně, a proto se dále budu zabývat především umístěním kluznic právě do prostoru vedle sekundárního vypružení.

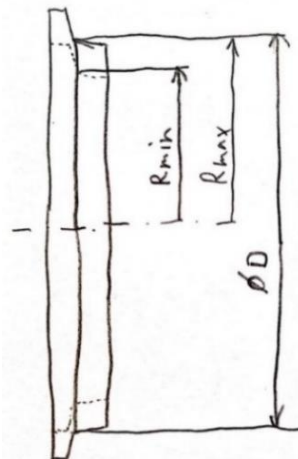


Obrázek 76: Kritické místo mezi kolébkou a nadpodvozkovou částí

Výškové stavění má za úkol kompenzovat opotřebení kol. Pro zjištění hodnoty, kterou potřebujeme kompenzovat je třeba znát průměr nového kola a průměr kola při vyřazení z provozu. Z externí konzultace vím, že rozdíl je 35 mm. Platí tedy následující rovnice:

$$\Delta R = R_{max} - R_{min} = 35 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$$

Tolerance $\pm 5 \text{ mm}$ je dána požadavky zákazníka. Z toho tedy vyplývá, že minimální výška kompenzace je 30 mm a maximální krok je pro jeden stupeň je 10 mm. Z výpočtu je tedy také patrné, že při použití ojetých kol bude nástupní rovina podlahy o 35 mm níž vůči nástupní ploše, než při použití kol nových. Z toho důvodu si zákazník přeje navrhnout mechanismus kompenzace tohoto opotřebení.

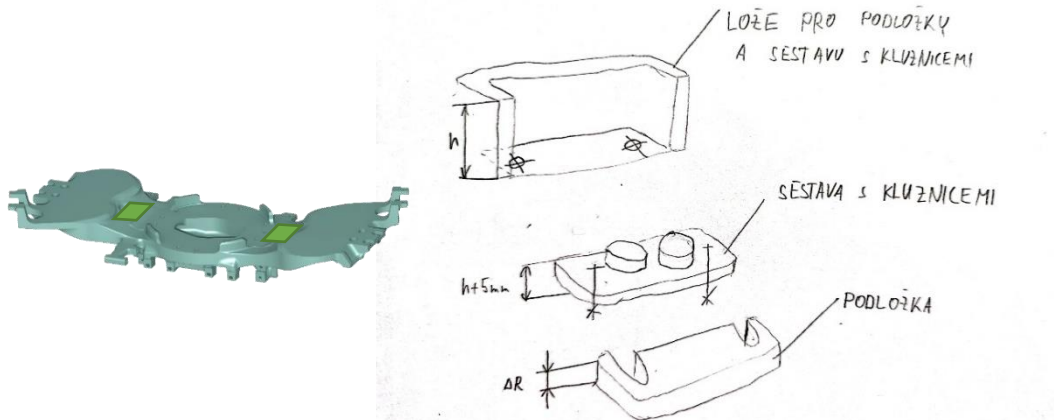


Obrázek 77: Skica opotřeбенého kola

Na základě těchto poznatků bude v následujících podkapitolách navrženo několik konceptů řešení výškového stavění a nejvhodnější řešení bude poté zkonstruováno včetně vhodného návrhu kolébkky vyhovující požadavkům, které jsou na ni kladeny, návrhu konceptu nadpodvozkového dílce s příčníky a kluznými plochami a také středového čepu pro spojení kolébkky a skříně.

5.1.1 Návrh číslo 1

Prvním, a troufnu si říct nejjednodušším návrhem, je použít pro výškové stavění kalibrovaných podložek. Celá sestava by byla umístěna vedle sekundárního vypružení, a tudíž přímo pod stojinami skříně. Bylo by zde obrobené lože, ve kterém by se nacházely dvě díry se závity pro šrouby. Do tohoto lože by se následně vložila sestava s kluznicemi a v případě potřeby kompenzace by se pod ní vložila kalibrovaná podložka a následně by se zajistila dvěma šrouby. Schéma umístění a skica řešení se nachází na obrázku č. 78.

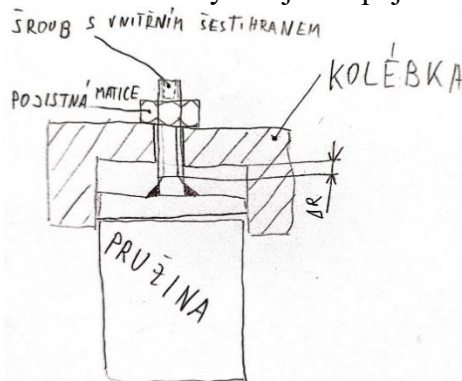


Obrázek 78: Schéma a skica návrhu výškového stavění č. 1 – kalibrované podložky pod kluznicemi

Nespornou výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost, přesně daná velikost kompenzace použitím kalibrovaných podložek a jednoduchá údržba. Zástavbové rozměry jsou rovněž vhodné. Naopak velkou nevýhodou je nepřístupnost. K provedení výměny podložek by totiž bylo naprosto nezbytné celý podvozek vyvázat a odpojit, skříň nadzvednout a zajistit a následně by teprve mohl pracovník údržby podložky vyměnit. Z tohoto důvodu bylo toto řešení ze strany zadavatele zamítnuto.

5.1.2 Návrh číslo 2

Dalším mým návrhem bylo umístění stavitelných dorazů do prostoru mezi kolébkou a vinuté pružiny sekundárního vypružení. Doraz by byl přivařený k čepu, který by byl opatřen závitem a zašroubován do kolébkky a zajištěn pojistnou maticí viz. obrázek číslo 79.

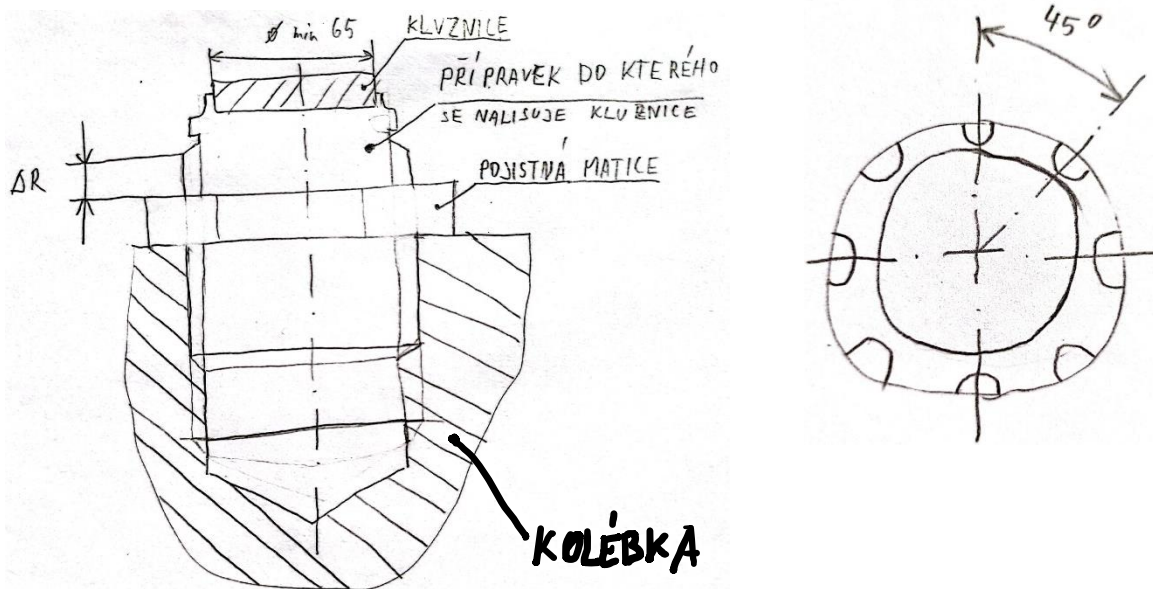


Obrázek 79: Skica návrhu výškového stavění č. 2 - stavitelný doraz pod sekundárním vypružením

Tento návrh by již splňoval požadavek na přístupnost bez nutnosti vyvázat podvozek, ale nevyhovuje svými zástavbovými rozměry. Bylo by nutné patřičně upravit sekundární vypružení a též tvar kolébkky nad pružinami. Dalšími komplikacemi by byla změna charakteristiky vedení a tlumení kolébkky, jelikož by docházelo k výškovému stavění skříně s kolébkkou vůči rámu podvozku, nikoliv mezi kolébkkou a skříní. Tyto nevýhody opět vedly zadavatele k zamítnutí tohoto návrhu.

5.1.3 Návrh číslo 3

Čtyři kluznice o průměru 65 mm umístěné pod stojinami skříně. Kluznice je v pouzdru, které je závitem zašroubované do kolébky a pojištěné maticí viz. obrázek č. 80. Při potřebě kompenzace se povolí kontramatice a kluznice se vyšroubují a poté opět zajistí.

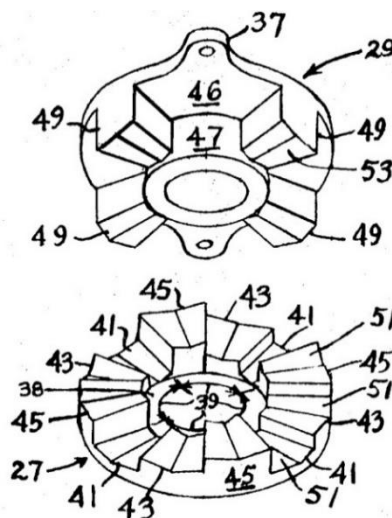


Obrázek 80: Skica návrhu výškového stavění č. 3 – Kluznice stavitelné pomocí závitů

Hlavními nevýhodami tohoto řešení je nejen špatná přístupnost, avšak také nutnost vyšroubovat závit na všech čtyřech kluznicích shodně. To je v praxi nedosažitelné, a proto byl tento návrh taktéž zamítnut.

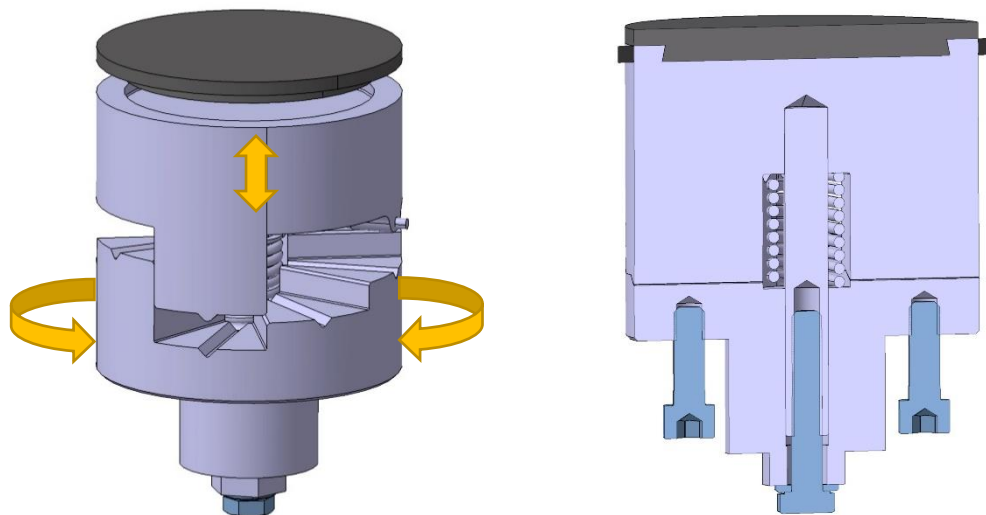
5.1.4 Návrh číslo 4

Návrh číslo 4 vychází z amerického patentu č. 3,586,306 z roku 1971. Základní myšlenka patentu je uvedena na obrázku č. 81. Podstata, kterou jsem z tohoto patentu využil, je dvojice dílů, které jsou rozdělené na několik segmentů a které do sebe zapadají tak, že je lze nadzvednout a pootočit vůči sobě a díky rozdílným výškám jednotlivých segmentů dojde k výškové kompenzaci.



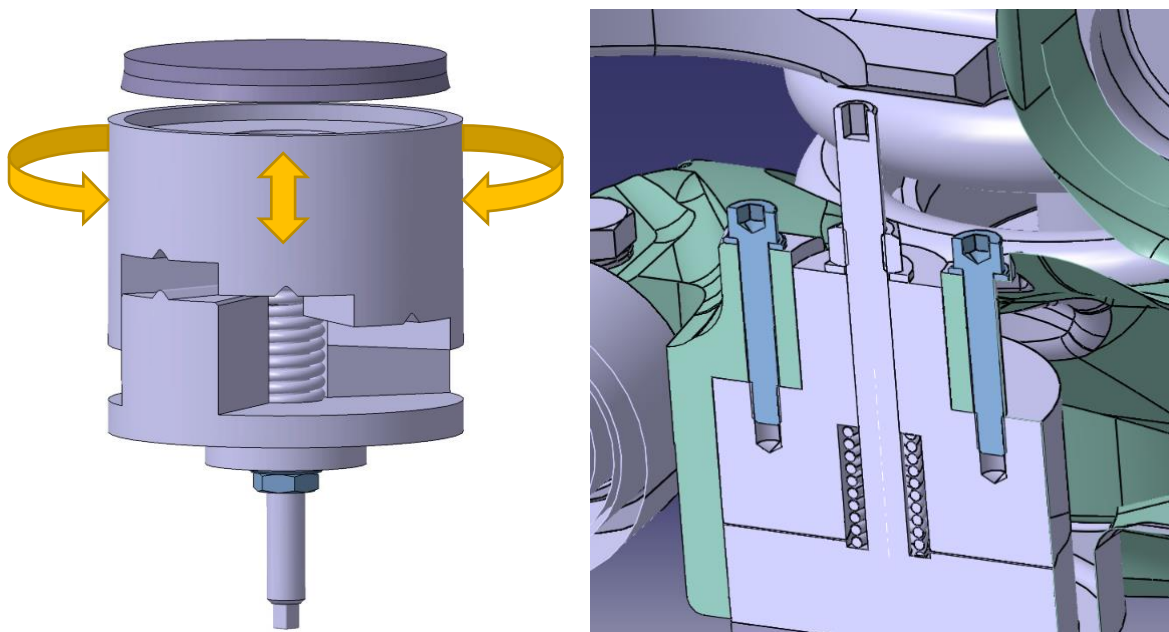
Obrázek 81: US Patent no. 3,586,306

Princip varianty 4a je tedy takový, že v kolébce je uložen spodní díl, který se může otáčet kolem vlastní osy Z. Tento kruhový díl je rozdělen na 8 segmentů, s tím, že každý protilehlý segment má shodnou výšku. Získáme tedy 4 polohy 0, +10, +20 a +30 mm. Horní díl pak obsahuje pouze 2 segmenty, které zapadají do segmentů ve spodním díle. Horní díl se tedy posouvá v ose Z, což je nahoru a dolů. Jeho rotaci v ose Z musí být zamezeno. Kinematika tohoto řešení je zachycena na obrázku č. 82.

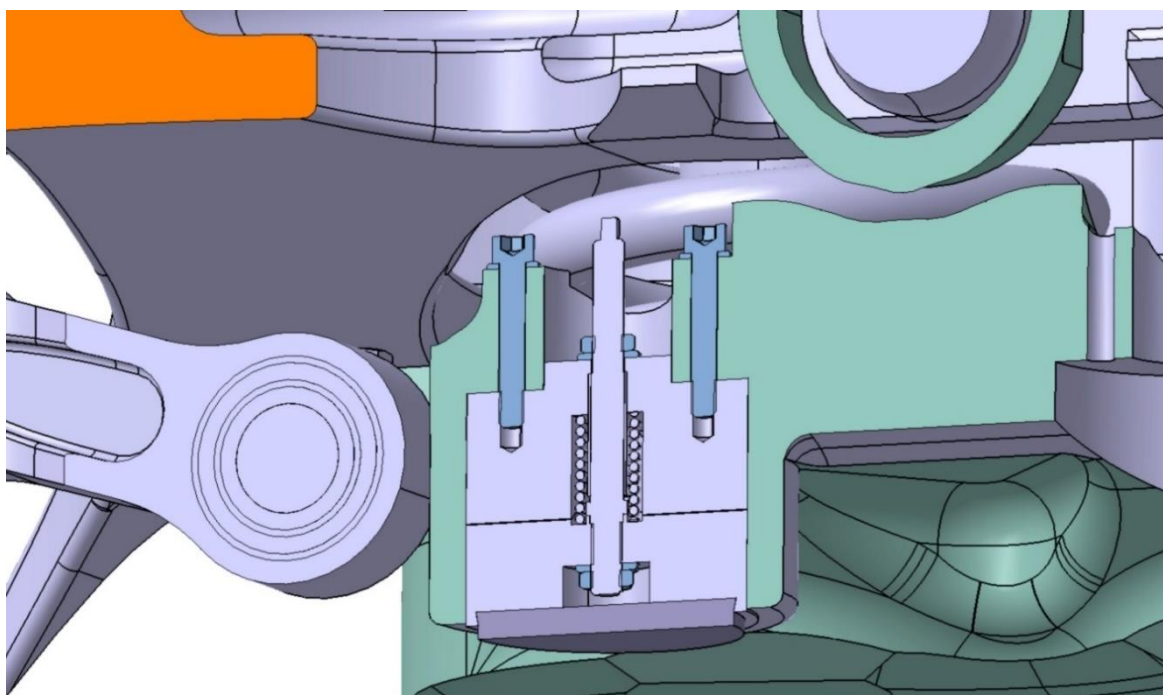


Obrázek 82: Kinematika a řez návrhu výškového stavění číslo 4a

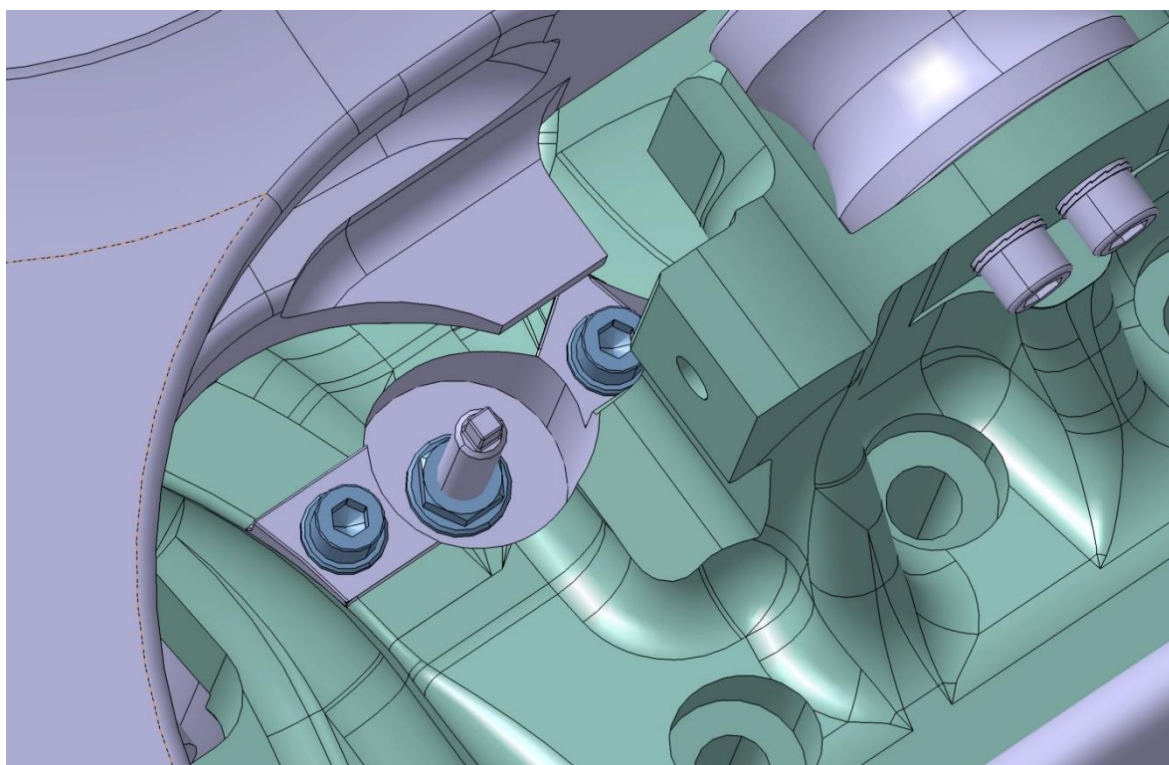
K tomuto řešení byla vytvořena ještě druhá varianta 4b, kdy je spodní díl pevně uchycen a veškeré pohyby vykonává díl horní viz. obrázek č. 83. Tato konstrukce se však vyznačuje velice dlouhým vodícím čepem a složitějším pootáčením. Kompenzace by probíhala tak, že by se povolila spodní matice a za spodní čtyřúhelník na čepu by se horní díl pootočil do další polohy. Nevýhodou této konstrukce byla složitá až nemožná identifikace právě zvolené polohy. Dalším problémem byla kolize vodícího čepu s podvěškou, což se podařilo vyřešit viz. obrázek č. 84.



Obrázek 83: Kinematika návrhu výškového stavění 4b a kolize vodícího čepu s podvěškou



Obrázek 84: Zkrácení vodícího čepu pomocí použití vodícího pouzdra – 4b



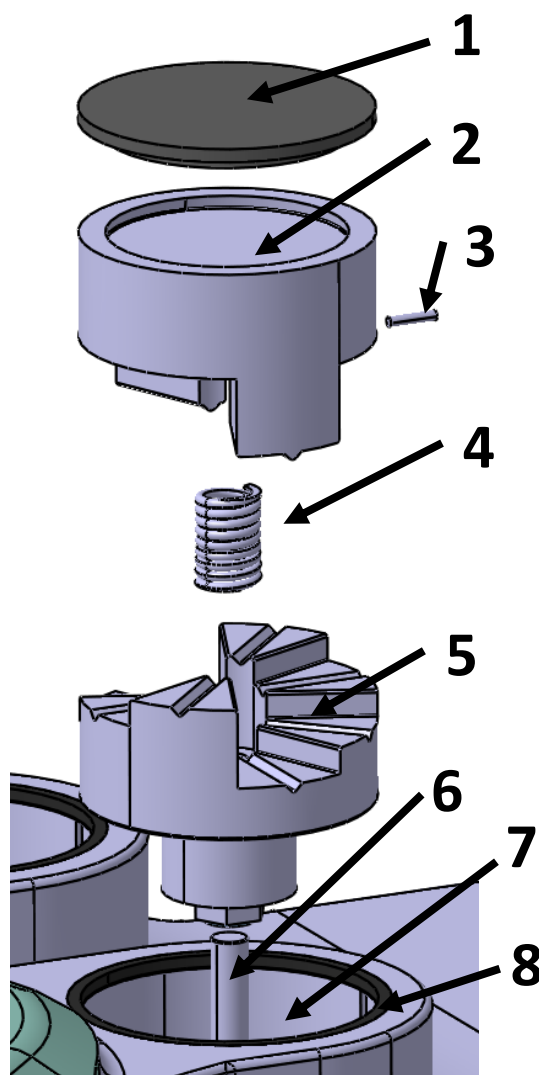
Obrázek 85: Pohled na mechanismus kompenzace č. 4b

5.2 Volba nejvhodnějšího návrhu a jeho konstrukční řešení

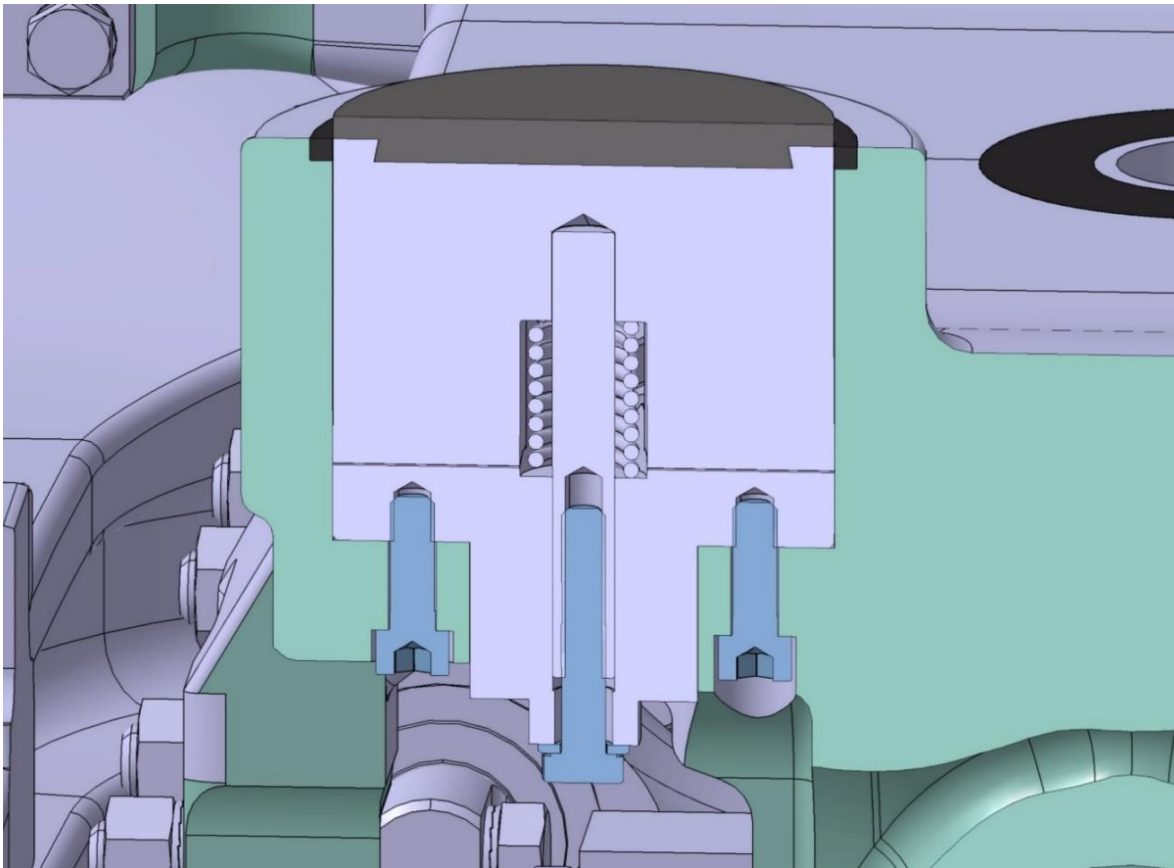
Ze všech výše uvedených variant byla po dlouhých úvahách se zadavatelem vybrána varianta 4a, jelikož plní nejvíce z požadavků, které jsou na tento mechanismus kladeny. V této kapitole se budu věnovat tomuto řešení podrobněji. Jelikož s návrhem mechanismu na výškové stavění úzce souvisí středový čep, konstrukce samotné kolébky a napodvozkové části, budou zde všechny tyto součásti taktéž popsány.

5.2.1 Výškové stavění

Jak již bylo uvedeno v předchozí kapitole, celý tento mechanismus je uložen s vůlí v obrobeném loži (7), které je součástí kolébky. Dále se pak skládá ze spodního (5) a horního (2) dílu. Do horního dílu je nalisován vodící čep (6), který umožňuje hornímu dílu posuv nahoru a dolů a spodnímu dílu rotaci právě okolo tohoto čepu. Aby se zamezilo otáčení horního dílu, je do něj nasunut vodící čep (3), který má vyfrézovanou drážku v loži. Pro usnadnění změny polohy se mezi horním a spodním dílem nachází pružina, která zajišťuje, aby po povolení pojistného šroubu a odlehčení skříně došlo k odtlačení horního dílu a byla tak umožněno pootočit díl spodní. Do horního dílu je nalisována také kluznice (1). Vodotěsnost a prachotěsnost je zajištěna těsnícím O-kroužkem, případně jiným vhodným těsnícím prvem (8).



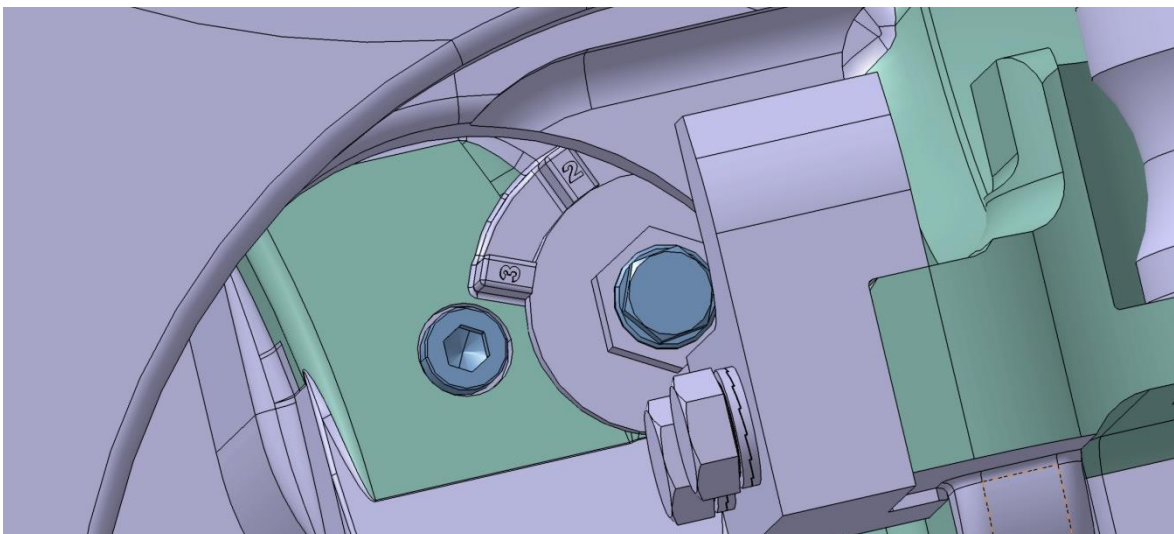
Obrázek 86: Rozpad sestavy výškového stavění



Obrázek 87: Řez výškovým stavěním

Na obrázku č. 87 je znázorněn řez mechanismem výškového stavění. Spodní díl je přišroubován dvěma šrouby ke kolébce a můžeme si všimnout pojistného šroubu, který spojuje horní a spodní díl přes nalisovaný vodící čep.

Při pohledu zespod na celou sestavu (viz. obr. č. 88) je na první pohled patrné, že pro provedení kompenzace je třeba jako první odmontovat sestavy podchytek, které zajišťují při havárii, aby nedošlo k oddělení podvozku od skříně. Dále je také patrné, že vhodnému přístupu také brání část podvěsky na rámu podvozku. Po konzultaci se zadavatelem bylo dohodnuto, že dojde k úpravě těchto podvěsek, a tudíž je nemusím při mém návrhu a konstrukci zohledňovat.



Obrázek 88: Pohled na sestavu výškového stavění zespodu

Návrh rozměrů výškového stavění

Při výpočtu potřebných rozměrů výškového stavění budu vycházet z maximálního svislého dynamického zatížení. Víím tedy, že více namáhaná strana působí na kolébku silou 172200 N. K této hodnotě ještě připočítám koeficient bezpečnosti $k=1,5$. Nejprve si spočítám minimální průměr kluznice. Dovolovaný tlak na kluzné plochy je 15 MPa.

$$P = \frac{F * k}{2 * S} \leq P_D \dots S = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Z toho plyne:

$$d \geq \sqrt{\frac{2 * F * k}{\pi * P_D}} = \sqrt{\frac{2 * 172200 * 1,5}{\pi * 15}} \Rightarrow d \geq 104,7 \text{ mm} \Rightarrow \mathbf{d = 110 \text{ mm}}$$

Dále si spočítám (ověřím) vyhovující velikost dosedacích ploch mezi horním a spodním dílem. Je známo, že potřebuji vnitřní průměr $d_2=28$ mm, aby se dovnitř vešla vinutá pružina a dále víím, že bezpečná hodnota tlaku je 80 MPa. Koeficient bezpečnosti uvažuji $k=1,5$. Znáím také neúčinnou plochu vedení dosedacích ploch $S_x=740$ mm². Počet poloh je 4 a počet kluznic na jedné straně je 2.

$$P_D \geq \frac{F/2 * k}{S}$$

$$S = \frac{1}{4} \pi * (d_1^2 - d_2^2) * \frac{1}{4} - S_x$$

Po dosazení a vyjádření:

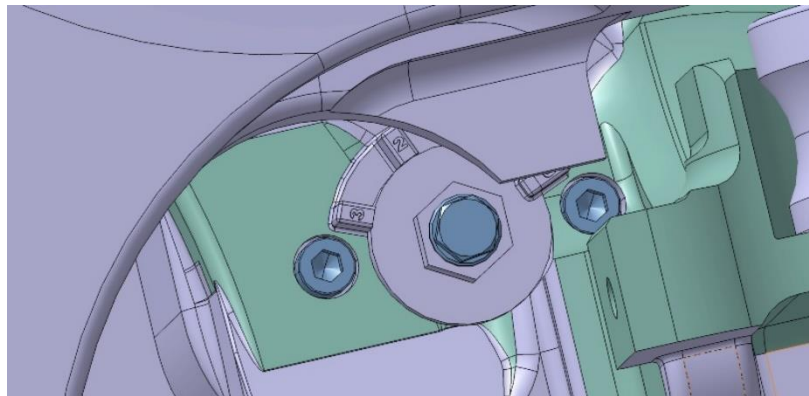
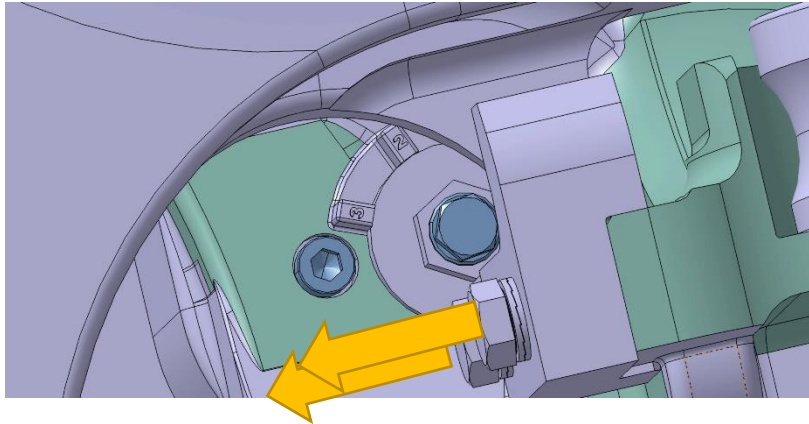
$$d_1 \geq \sqrt{\frac{8 * F * k}{P_D * \pi} + d_2^2 + \frac{8 * S_x}{\pi}} = \sqrt{\frac{8 * 172200 * 1,5}{80 * \pi} + 28^2 + \frac{8 * 740}{\pi}}$$

$$\Rightarrow \mathbf{d_1 \geq 104,4 \text{ mm} \leq 110 \text{ mm}}$$

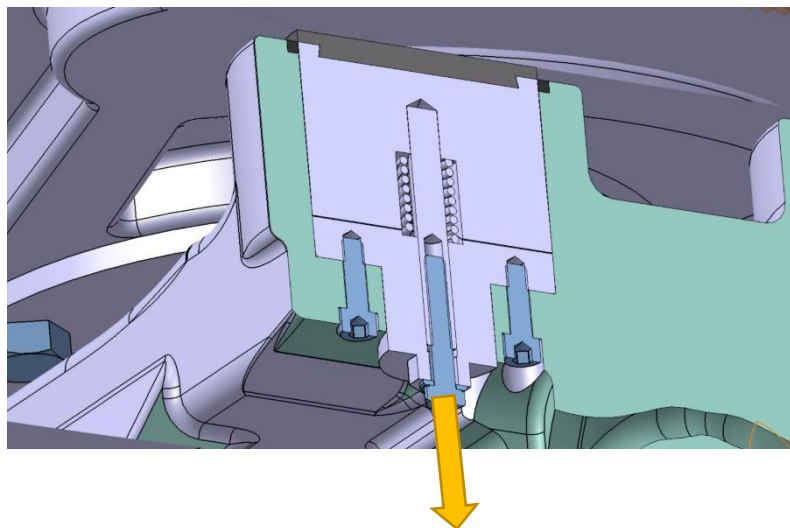
Těmito výpočty je tedy ověřeno, že navržené rozměry mechanismu jsou vhodné a plně vyhovují danému zatížení s dostatečnou mírou bezpečnosti.

Postup kompenzace opotřebení kol pomocí výškového stavění

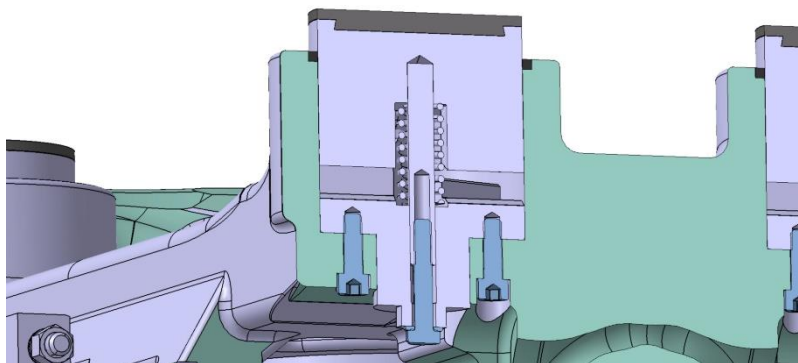
1. Nazdvihneme skříň vozidla nad právě servisovaným podvozkem alespoň o 50 mm.
2. Odmontujeme podchytku, která je přišroubovaná dvěma šrouby ke kolébce.



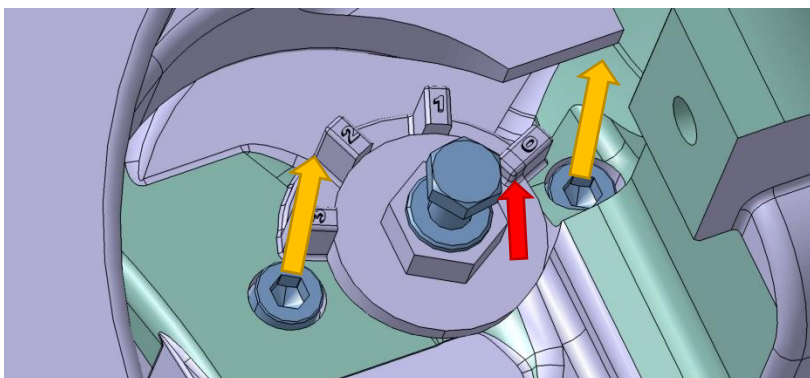
3. V dalším kroku pak povolíme a povyšroubujeme středový šroub M10x60.



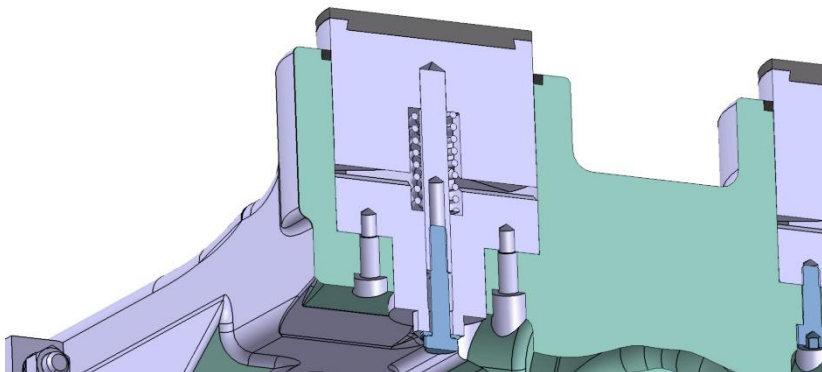
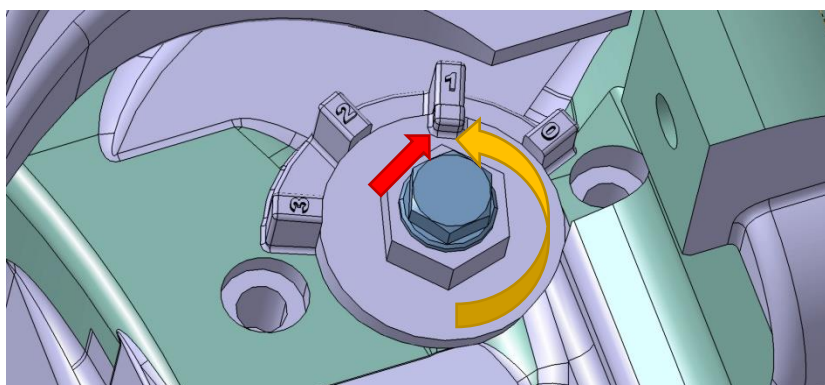
Tím dojde vlivem odlehčení pružiny k automatickému nazdvihnutí horního dílu. Pokud by k tomu nedošlo, můžeme si pomoci několika klepnutími gumovou paličkou na hlavu šroubu.



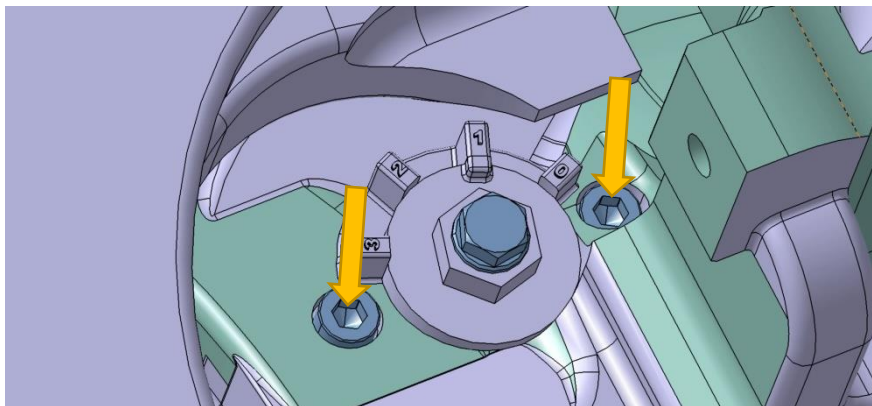
4. Dále vyšroubujeme dva šrouby M10x30. Tím povolíme spodní díl a bude možné ho v dalším kroku pootočit.



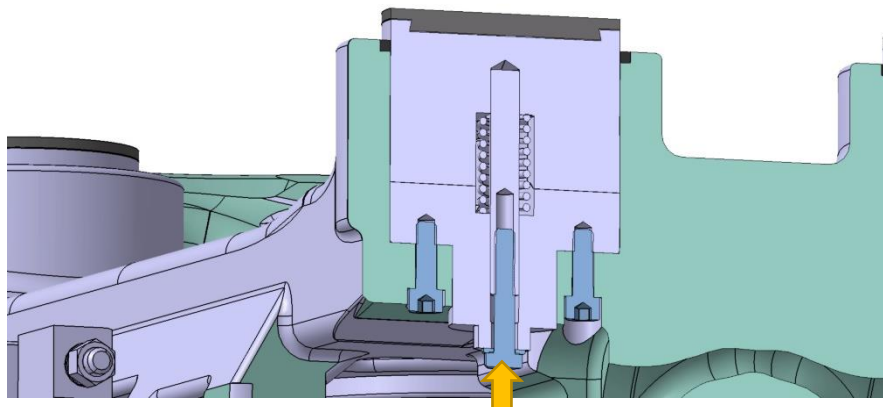
5. Nyní nasadíme trubkový nástavec o velikosti 24 mm na šestihran spodního dílu a pootočíme ho z polohy 0 do polohy 1. Poloha je vyznačena nálitkem, který je na obrázcích označen červenou šipkou. Tento nálitek je součástí spodního dílu.



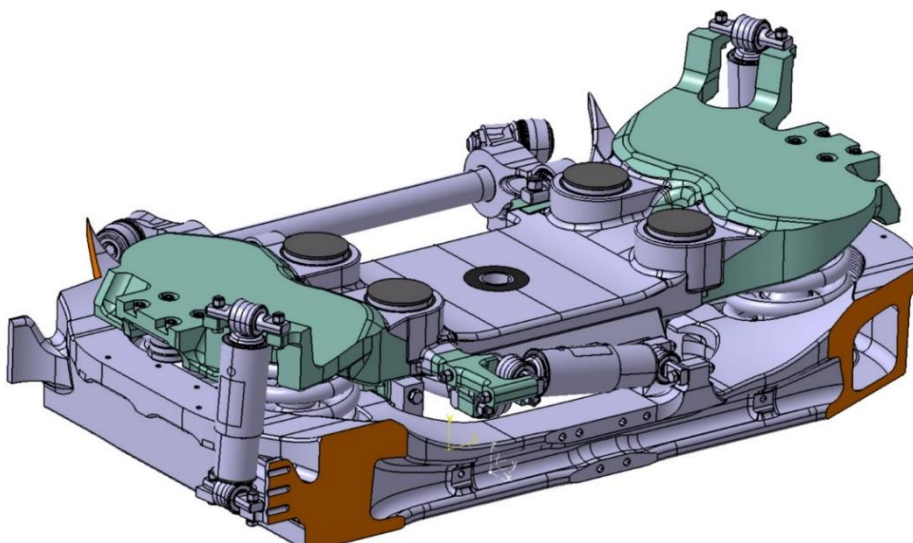
6. Následně zašroubujeme zpět dva šrouby M10x30, a tak si pojistíme, aby byl spodní díl ve správné poloze – jinak by šrouby nebylo možné zašroubovat.



7. V sedmém kroku dotáhneme středový šroub M10x60, čímž dojde k dosednutí horního dílu do správné polohy s dílem spodním.



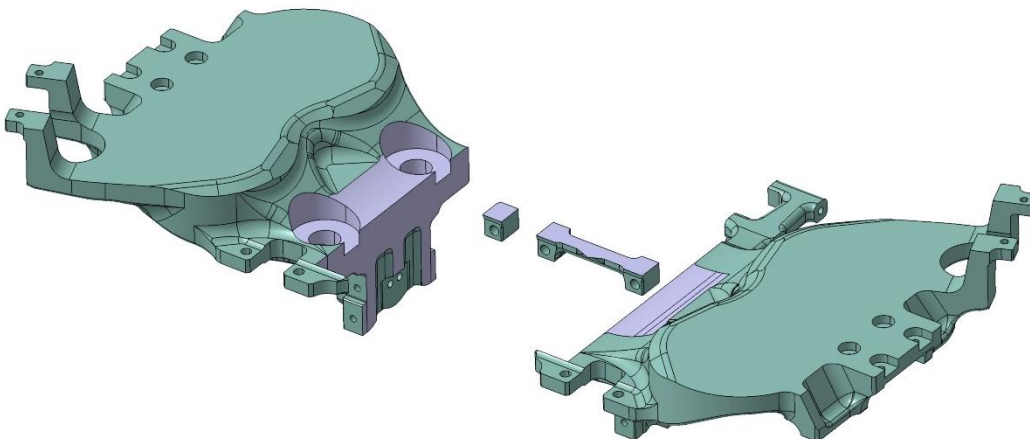
8. Body 2 až 7 opakujeme na všech 4 kluznicích. **POZOR**, je naprosto nezbytné zkontrolovat, aby byly všechny kluznice na stejném stupni! Nedodržení by vedlo k poškození a havárii! Stupně jsou označeny 0, 1, 2 a 3, což znamená kompenzaci o 0 mm, +10 mm, +20 mm a +30 mm.
9. Kompenzace je hotova a je možno podvozek opět zatížit skříní.



Obrázek 89: Pohled na celou sestavu s provedenou kompenzací

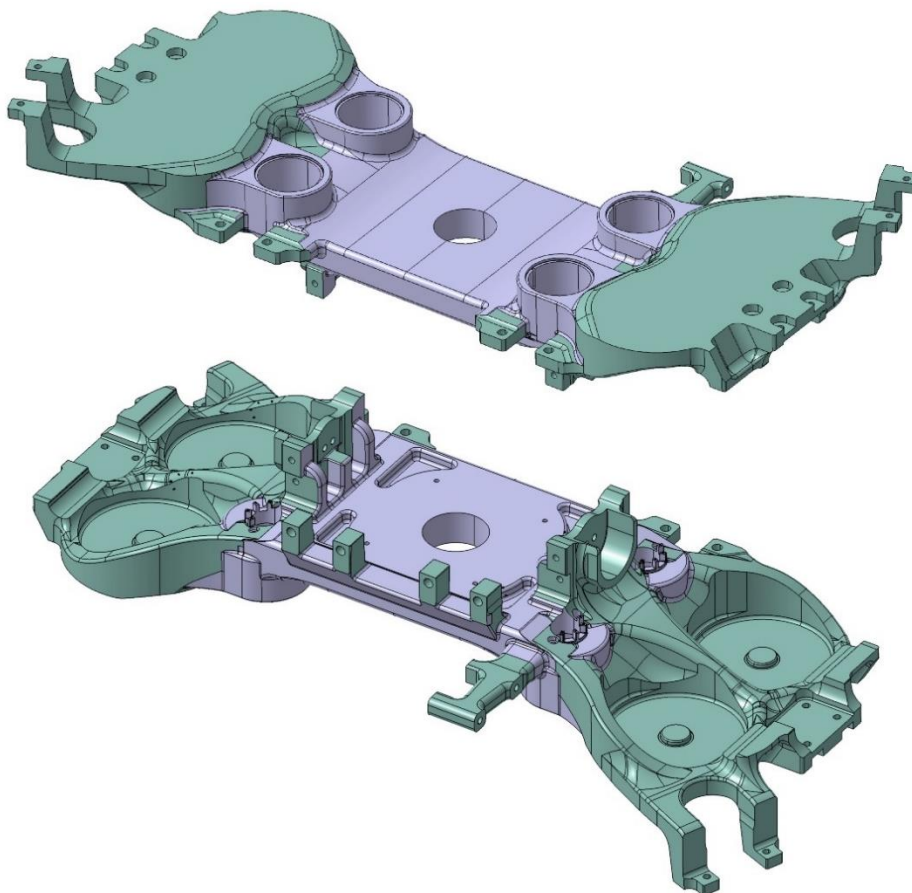
5.2.2 Kolébka

Jak již z předchozích částí vyplývá, další součástí, která byla kvůli mechanismu výškového stavění potřeba překonstruovat, je kolébka. Při návrhu jsem postupoval tak, že jsem si nejprve navrhnul koncept mechanismu výškového stavění v souladu s přístupností v celkové sestavě. Dále jsem odebral celou střední část kolébky, kde bylo původně uloženo čtyřbodové kuličkové ložisko viz. obrázek č. 90.



Obrázek 90: Odebraná prostřední část kolébky

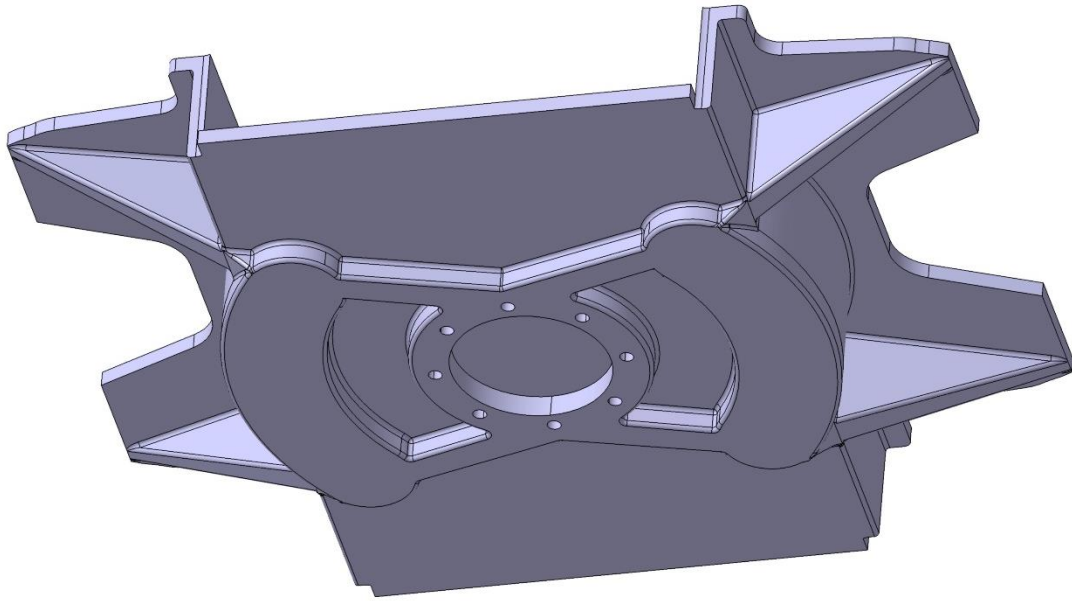
Dle požadavků byly zachovány všechny připojovací rozměry a postupně domodelovávány prostřední část a uložení pro mechanismus výškového stavění. Uprostřed se pak nachází otvor, do kterého bude nalisován silentblok, do něhož se následně zasune středový čep s kluzným ložiskem.



Obrázek 91: Nově navržená kolébka

5.2.3 Nadpodvozková část

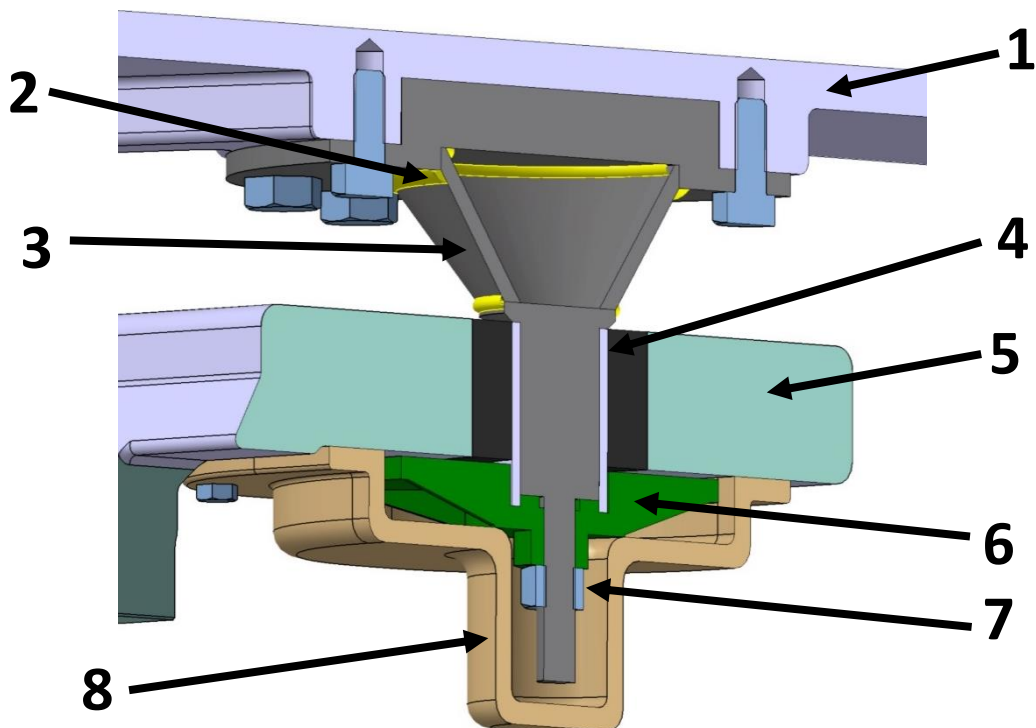
Jelikož musím prokázat, že navrženou kolébkou s výškovým stavěním bude možné spojit se skříní a použít, bylo nutné navrhnout také nadpodvozkovou část. Tato část není primárním cílem této práce, proto je navržena pouze jako koncept a její konstrukce není podložena výpočty, avšak respektuje veškerou dostupnou geometrii a kinematiku. Na obrázku č. 92 je vidět pohled zespod na tento díl. Zde můžeme vidět dosedací plochy kluznic, uprostřed pak přírubu pro uchycení středového čepu a také čtveřici příčných nosníků.



Obrázek 92: Nadpodvozková část

5.2.4 Středový čep

Středový čep je také navržen pouze principiálně a není podložen výpočty. Jak již bylo zmíněno výše, čep je spojen s kolébkou přes pryžokovový silentblok a ke skříni je přišroubován pomocí příruby. Řez tímto konstrukčním uzlem se nachází na obrázku č. 93.

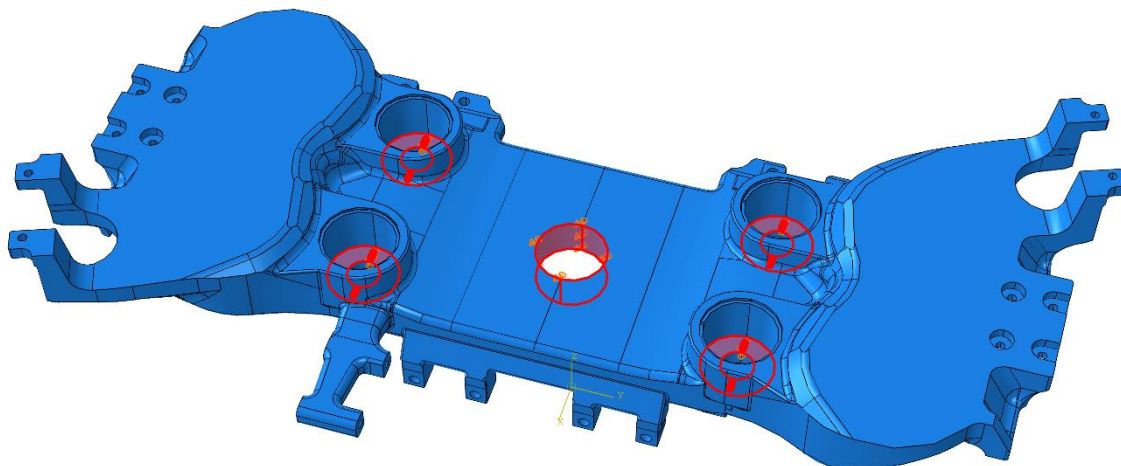


Obrázek 93: Řez středovým čepem

K nadpodvozkové části (1) je přišroubovaný středový čep (3). Ten je svařen ze tří částí (svary jsou naznačeny žlutou barvou (2)). Čep se následně vsune do pryžokovového silentbloku (4) nalisovaného do kolébky (5). Poté se nasadí pojistná podložka (6), která slouží při havárii k tomu, aby nedošlo k vytržení silentbloku vlastní vahou podvozku. Podložku dotáhneme maticí (7). Jako poslední krok pak nasadíme kryt (8), který slouží k tomu, aby se do vůle mezi pojistnou podložkou a dosedací plochu kolébky nemohly dostávat nečistoty (malé kameny, písek, prach atd.).

5.3 Výpočet MKP navržené kolébky

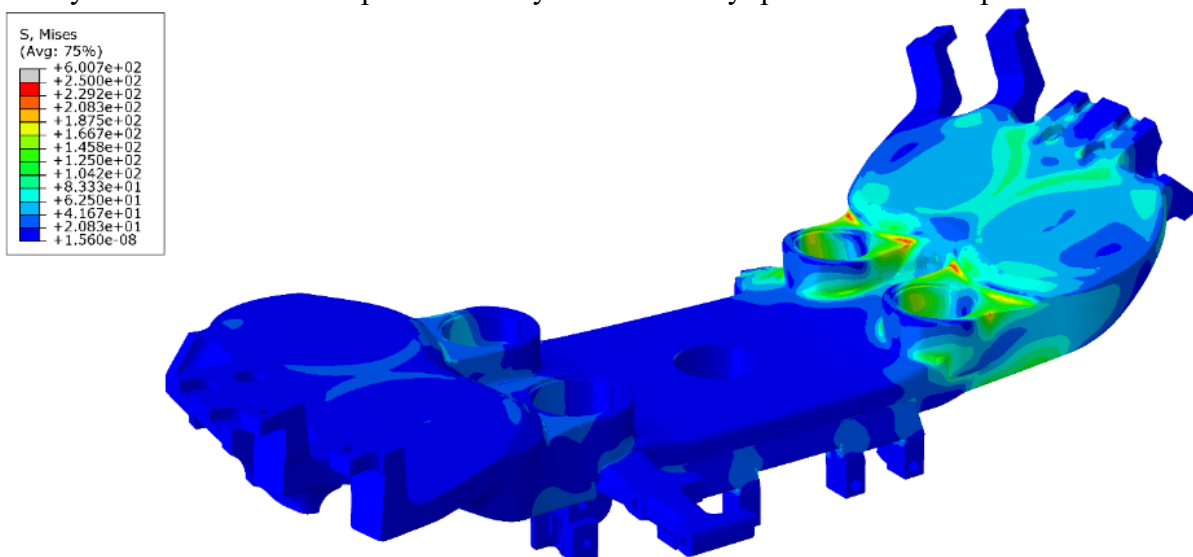
Po dokončení návrhu kolébky jsem se rozhodl pro ověření dosažených výsledků. Provedl jsem tedy její analýzu výpočtem MKP, ačkoliv nebyla dle zadání požadována. Při výpočtu bylo opět využito známého dynamického limitního zatížení jako v předchozím případě. Ostatní parametry jsou také shodné, pouze okrajové podmínky byly upravené pro nově navržené spojení kolébky se skříní viz. obrázek č. 94. Dosedacím plochám výškového stavění zachycující svislé zatížení byly odebrány stupně volnosti ve svislém směru a styčné ploše nalisovaného silentbloku středového čepu zase v příčném i podélném směru.



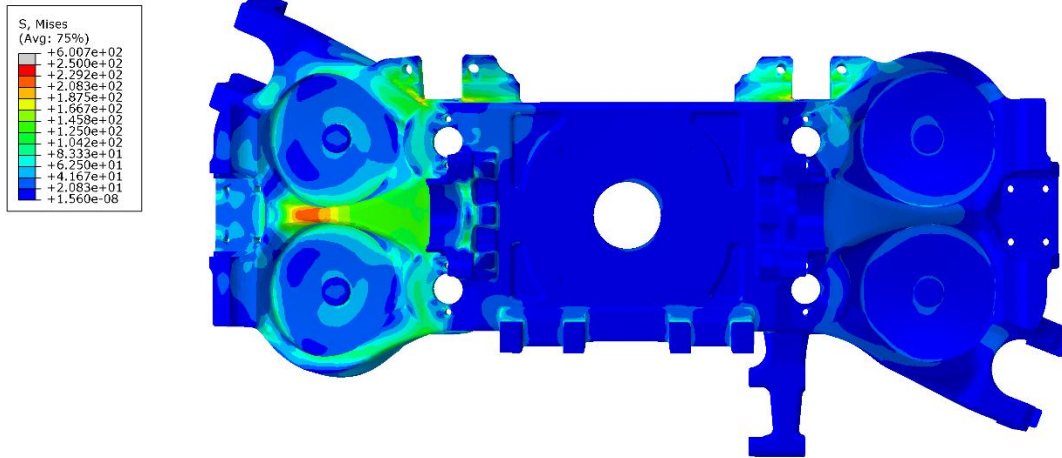
Obrázek 94: MKP – okrajové podmínky

5.3.1 Výsledek dynamické simulace navržené kolébky – analýza napětí

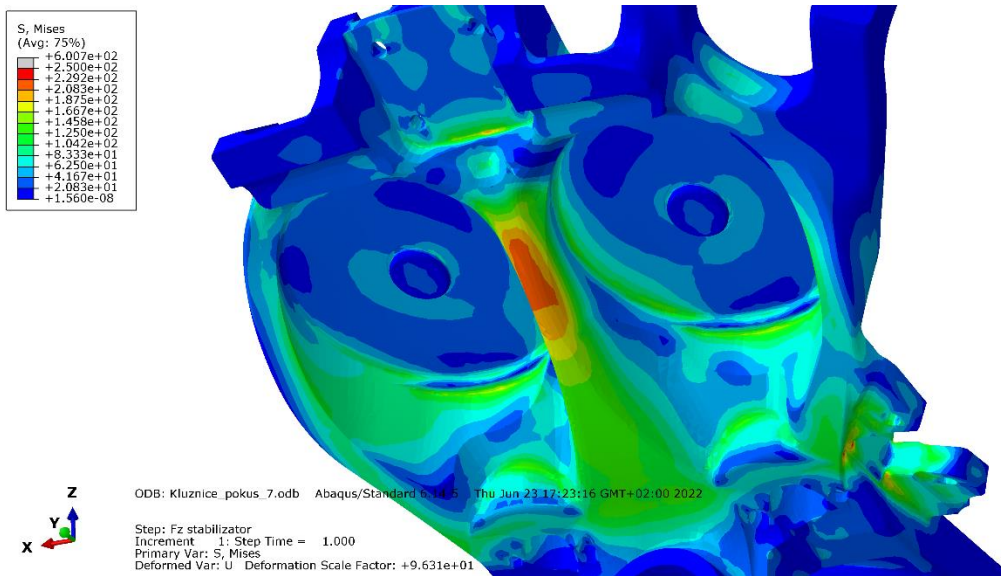
Jak vyplývá z obrázku č. 95, nejvyšší hodnota vypočítaného napětí je 600 N/mm^2 . To je však opět chybová hodnota vzniklá nevhodným síťováním chybové geometrie. Kritická místa se pak nachází v rozích zaoblení, především u torzního stabilizátoru, a to s hodnotami okolo $\sigma = 260 \text{ N/mm}^2$ viz. následující obrázky. To je hodnota na samé hranici dovoleného napětí, které je dle informací z externí konzultace $\sigma_D = 266 \text{ N/mm}^2$. Tato napětí by se dala snížit použitím větších rádiusů zaoblení a plynulejších přechodů. Dále by bylo možné kolébku odlehčit v oblasti okolo středového čepu, kde je kolébka zbytečně masivní. Tato optimalizace by však mohla být předmětem další práce.



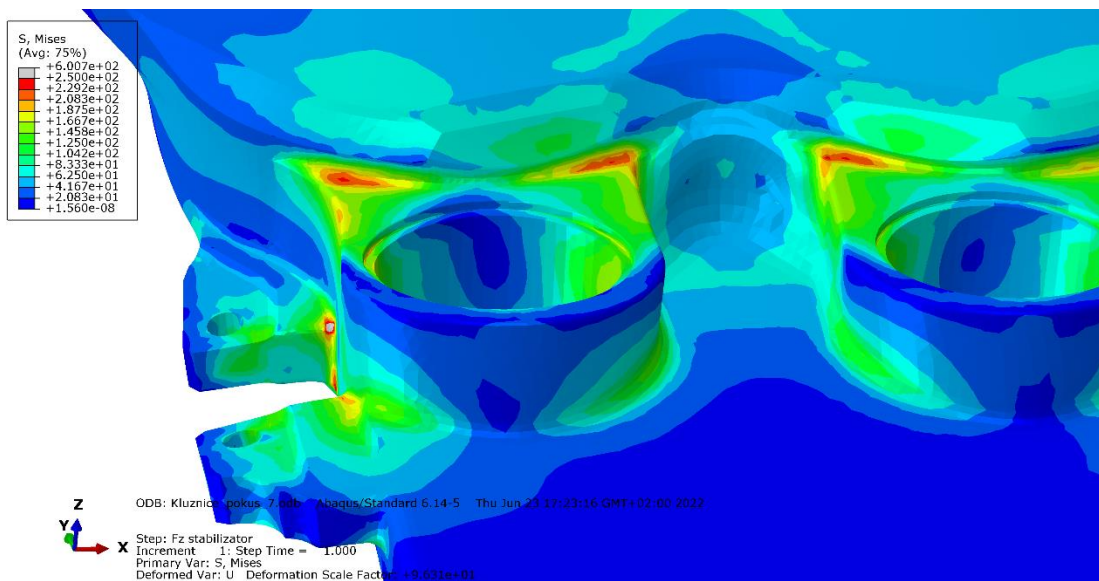
Obrázek 95: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – pohled 1



Obrázek 96: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – pohled 2

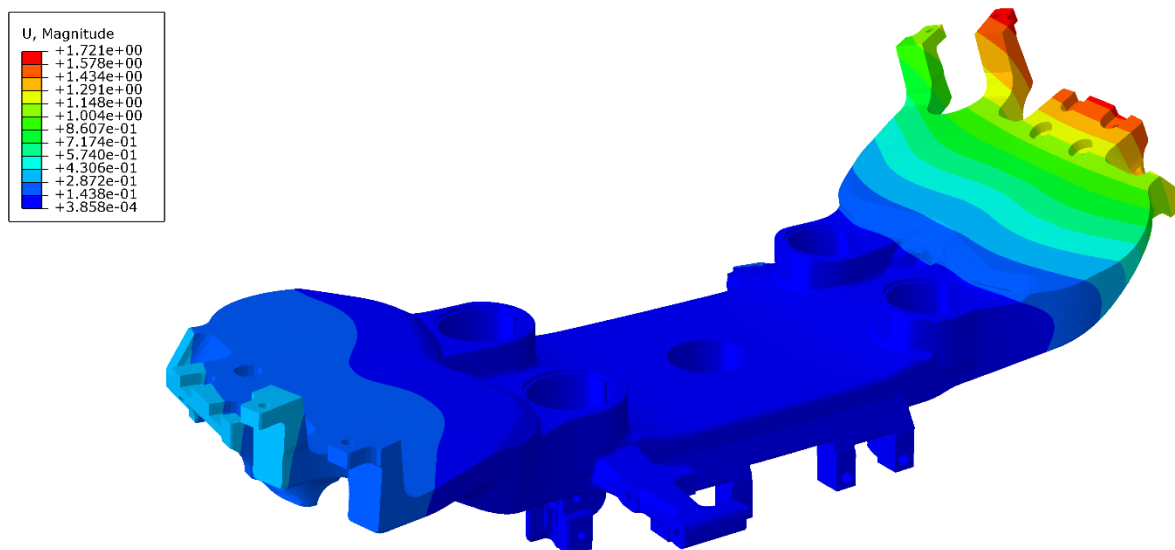


Obrázek 97: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – detail kritického místa 1



Obrázek 98: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – detail kritických míst 2

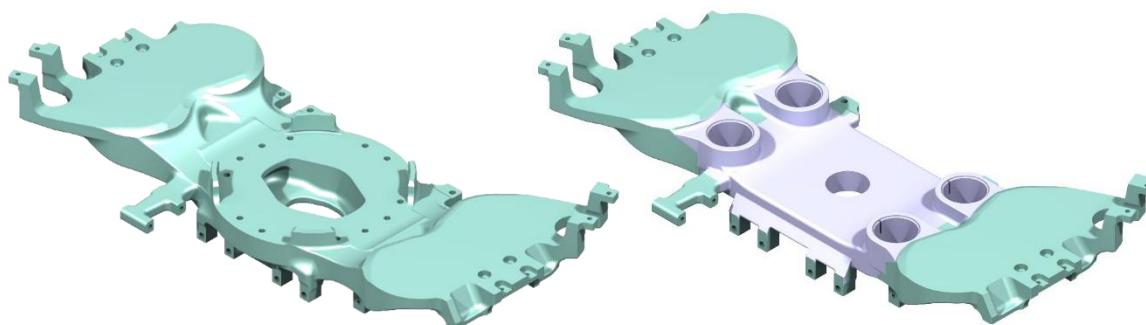
5.3.2 Dynamické zatížení – analýza posuvů navržené kolébky – pohled 1



Obrázek 99: Výsledek dynamické simulace navržené kolébky – analýza posuvů

Podle výše uvedeného obrázku č. 99 je maximální posuv **1,7 mm**. To je již velice dobrá hodnota daná především menším ramenem ohybu umístěním kluznic blíže k sekundárnímu vypružení.

5.4 Porovnání původní a navržené kolébky



Obrázek 100: Originální kolébka (vlevo) a nově navržená kolébka (vpravo)

Na obrázku č. 100 je porovnán rozdíl mezi originální a nově navrženou kolébkou. Pro názornost jsou původní plochy zobrazeny zelenou a ty upravené šedivou. V následující tabulce jsou uvedeny a porovnány všechny důležité parametry.

Tabulka 4: Porovnání původní a nové kolébky

	Původní kolébka	Nová kolébka	Rozdíl	Procentuálně
Hmotnost	289,7 kg	266,7 kg	-23 kg	-8%
Max. napětí	225 MPa	250 MPa	+25 MPa	+11%
Max. posuv	2,98 mm	1,72 mm	-1,26 mm	-42%

6 Závěr

V této bakalářské práci jsem si nejprve v rešeršní části rozšířil znalosti o otočných tramvajových podvozcích. Tyto poznatky byly následně využity v teoretickém rozboru, kde byla řešena kinematika vedení kolébky. V praktické části bylo navrženo spojení kolébky a tramvajové skříně pomocí čepu a kluznic s výškovým stavěním.

Navrhnul jsem řešení, které splňuje všechny požadavky zadavatele Škoda Transportation a.s. Konstrukční studie se týkala nejen mechanismu výškového stavění, ale i kolébky, středového čepu a nadpodvozkové části. Výsledné řešení dokumentuje sestavný výkres uzlu rám – sekundární vypružení – kolébka s výškovým stavěním nacházející se v příloze č. 1. Výsledný návrh kolébky jsem ověřil výpočtem MKP. Dle výpočtu kolébka dosahuje lepších parametrů při podobné hodnotě maximálního napětí, které nepřekračuje hodnotu dovoleného napětí.

Tímto byly splněny všechny body zadání BP. V práci by se jistě dalo dál pokračovat celkovou topologickou a technologickou optimalizací kolébky a snížit tak dále její hmotnost, a ještě více zlepšit její parametry.

Seznam obrázků

Obrázek 1: Konstrukce spojení podvozku se skříní u železničního vagónu [5]	10
Obrázek 2: Kolébka [2]	11
Obrázek 3: Ukázka tramvajového podvozku [2]	11
Obrázek 4: Řez podvozkem [2]	11
Obrázek 5: Tramvaj T3 [6]	12
Obrázek 6: Podvozek Tatra T3 [5]	12
Obrázek 7: Řez nápravou u T3 [5]	13
Obrázek 8: Půdorys podvozku T3 [5]	13
Obrázek 9: Podvozek Komfort 1. generace [3]	14
Obrázek 10: Podvozek Komfort Plus [3]	14
Obrázek 11: Podvozek komfort 2. generace [7]	15
Obrázek 12: Sestavný výkres podvozku Komfort 2. generace [5]	16
Obrázek 13: ČKD Tatra RT6N [8]	17
Obrázek 14: 3D model podvozku RT6N [5]	17
Obrázek 15: Vlevo podvozek Alstom LHB NGT8D [5] a tramvaj NGT8D vpravo [10]	18
Obrázek 16: Vlevo podvozek DUEWAG Siemens [5] a vlevo tramvaj GT8Z [9]	18
Obrázek 17: Alstom Citadis 304 [12]	19
Obrázek 18: Schéma mechanismu primárního vypružení [5]	19
Obrázek 19: Podvozek Alstom iXege [5]	19
Obrázek 20: Alstom Citadis 301 CIS [11]	20
Obrázek 21: 3D model podvozku Ipomos [5]	20
Obrázek 22: Podvozek Alstom Ipomos [5]	20
Obrázek 23: Podvozek Alstom Ipomos – koncept [13]	21
Obrázek 24: Alstom Citiadis Spirit [14]	22
Obrázek 25: Podvozek Iponam [5]	22
Obrázek 26: Škoda 15T – použité podvozky a rozložení zatížení podvozků [5]	23
Obrázek 27: Škoda 15T – Prostřední Jacobsův podvozek [5]	23
Obrázek 28: Krajní otočný podvozek Škoda 15T [15]	24
Obrázek 29: Neotočný prostřední podvozek Škoda 15T [15]	24
Obrázek 30: Podvozek Inecon – řez osou otáčení kolébky [16]	25
Obrázek 31: Podvozek Inecon – konstrukce Ing. Tomáš Míka [5]	25
Obrázek 32: Pragoimex EVO1 [17]	26
Obrázek 33: Tatra T3 podvozek Komfort 1. generace [3]	26
Obrázek 34: Krajní otočný podvozek Škoda 15T [15]	27
Obrázek 35: Podvozek Alstom iXege [5]	27
Obrázek 36: Bombardier Flexity Classic netrakový podvozek LF [18]	28
Obrázek 37: Bombardier Flexity Classic trakční podvozek HF [19]	28
Obrázek 38: Alstom CL300 [20]	29
Obrázek 39: Siemens SF70 [21]	29
Obrázek 40: Silové poměry na kolébce tramvaje Tatra T3	30
Obrázek 41: Svislé zatížení vedení táhly do paralelogramu	32
Obrázek 42: Příčné zatížení vedení táhly do paralelogramu	33
Obrázek 43: Svislé zatížení vedení táhly do antiparalelogramu	34
Obrázek 44: Příčné zatížení vedení táhly do antiparalelogramu	35
Obrázek 45: Definice os	36
Obrázek 46: Kolébka v sestavě	36
Obrázek 47: Okrajová podmínka – nulový posuv a nulové natočení plochy pod ložiskem	37
Obrázek 48: Vlastnosti materiálu	37
Obrázek 49: Síť pohled shora	38
Obrázek 50: Síť pohled zespodu	38
Obrázek 51: Statické zatížení v ose Z je přenášeno pouze vinutými pružinami	39
Obrázek 52: Statické zatížení – analýza napětí – pohled 1	40
Obrázek 53: Statické zatížení – analýza napětí – pohled 2	40
Obrázek 54: Statické zatížení – analýza napětí – detail chyby způsobené okrajovou podmínkou	40
Obrázek 55: Statické zatížení – analýza napětí – detail kritického místa	41

Obrázek 56: Statické zatížení – analýza posuvů – pohled 1	41
Obrázek 57: Statické zatížení – analýza posuvů – pohled 2	41
Obrázek 58: Zavedení silových účinků	42
Obrázek 59: Síly působící od pružin v ose Z	43
Obrázek 60: Síly působící od narážky v ose Z	43
Obrázek 61: Reakce narážky v ose Y	43
Obrázek 62: Reakce pružin v ose Y	44
Obrázek 63: Tahová síla v ose X	44
Obrázek 64: Síly v ose Z od torzního stabilizátoru	44
Obrázek 65: Nezatížený stav	45
Obrázek 66: Dynamické zatížení – analýza napětí – pohled 1	45
Obrázek 67: Dynamické zatížení – analýza napětí – pohled 2	45
Obrázek 68: Dynamické zatížení – analýza napětí – detail chyby způsobené okrajovou podmínkou	46
Obrázek 69: Dynamické zatížení – analýza napětí – detail kritického místa	46
Obrázek 70: Dynamické zatížení – analýza posuvů – nezatížený stav	47
Obrázek 71: Dynamické zatížení – analýza posuvů – pohled 1	47
Obrázek 72: Dynamické zatížení – analýza posuvů – pohled 2	47
Obrázek 73: Originální sestava s otočným čtyřbodovým ložiskem – pohled 1	48
Obrázek 74: Originální sestava s otočným čtyřbodovým ložiskem – pohled 2	49
Obrázek 75: Varianty umístění kluznic	49
Obrázek 76: Kritické místo mezi kolébkou a nadpodvozkovou částí	50
Obrázek 77: Skica opotřebeného kola	50
Obrázek 78: Schéma a skica návrhu výškového stavění č. 1 – kalibrované podložky pod kluznicemi	51
Obrázek 79: Skica návrhu výškového stavění č. 2 - stavitelný doraz pod sekundárním vypružením	51
Obrázek 80: Skica návrhu výškového stavění č. 3 – Kluznice stavitelné pomocí závitu	52
Obrázek 81: US Patent no. 3,586,306	52
Obrázek 82: Kinematika a řez návrhu výškového stavění číslo 4a	53
Obrázek 83: Kinematika návrhu výškového stavění 4b a kolize vodícího čepu s podvěskou	53
Obrázek 84: Zkrácení vodícího čepu pomocí použití vodícího pouzdra – 4b	54
Obrázek 85: Pohled na mechanismus kompenzace č. 4b	54
Obrázek 86: Rozpad sestavy výškového stavění	55
Obrázek 87: Řez výškovým stavěním	56
Obrázek 88: Pohled na sestavu výškového stavění zespodu	56
Obrázek 89: Pohled na celou sestavu s provedenou kompenzací	60
Obrázek 90: Odebraná prostření část kolébky	61
Obrázek 91: Nově navržená kolébka	61
Obrázek 92: Nadpodvozková část	62
Obrázek 93: Řez středovým čepem	63
Obrázek 94: MKP – okrajové podmínky	64
Obrázek 95: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – pohled 1	64
Obrázek 96: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – pohled 2	65
Obrázek 97: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – detail kritického místa 1	65
Obrázek 98: Dynamické zatížení navržené kolébky – analýza napětí – detail kritických míst 2	65
Obrázek 99: Výsledek dynamické simulace navržené kolébky – analýza posuvů	66
Obrázek 100: Originální kolébka (vlevo) a nově navržená kolébka (vpravo)	66

Seznam Tabulek

Tabulka 1: Vstupní parametry pro Abaqus – statické zatížení	39
Tabulka 2: Zadané hodnoty dynamického zatížení	42
Tabulka 3: Vstupní parametry pro Abaqus	42
Tabulka 4: Porovnání původní a nové kolébky	66

Seznam grafů

Graf 1: Nástup cestujících do Tatry T3	31
Graf 2: Tlumení dynamického rázu – narážky	31

Seznam příloh

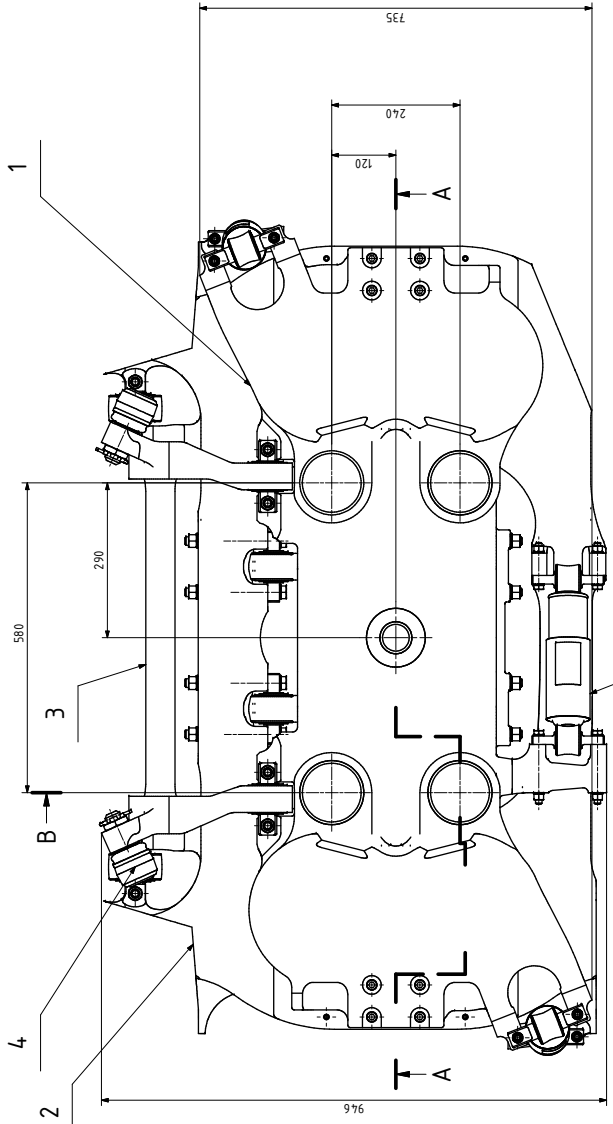
Příloha č. 1 – Sestavný výkres konstrukčního uzlu rám – sekundární vypružení – kolébka

Zdroje

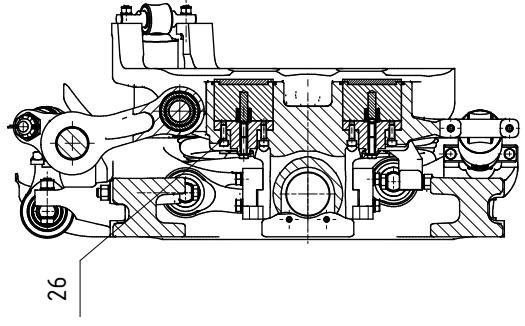
- [1] KREJČÍK, Stanislav. *STUDIE PODVOZKU PRO NÍZKOPODLAŽNÍ TRAMVAJOVÉ VOZIDLO*. Plzeň, 2015. Dostupné také z: https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/20304/1/DP_Krejcik_Stanislav.pdf. Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.
- [2] BLÁHA, Petr. *Studie podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo*. Plzeň, 2014. Dostupné také z: https://otik.uk.zcu.cz/bitstream/11025/13560/1/DP_Blaha_Petr.pdf. Diplomová práce. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI.
- [3] *Podvozek Komfort* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: [http://kos.cz/index.php?id=podvozky&lang=cz#!prettyPhoto\[podvozek-komfort\]/2/](http://kos.cz/index.php?id=podvozky&lang=cz#!prettyPhoto[podvozek-komfort]/2/)
- [4] *Tramvaj VarioLF3, VarioLF3/2* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <http://www.pragoimex.cz/page/tramvaj-variolf3-variolf3-2-46>
- [5] DOC. ING. KOLÁŘ CSC., Josef. *Výukové prezentace*. Praha.
- [6] *Tramvaj T3* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cisloclanku=2006040810>
- [7] *Podvozek Komfort 2. generace* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <http://www.kll.cz/pages/t3sumtramvajpodvozek.html>
- [8] *Tatra RT6N* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <http://www.tramvaje.net/tramvaje-vyrobene-v-cr/ckd-tatra-praha/tatra-rt6n1>
- [9] *Tramvaj GT6N* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/GT8Z_Tramway_de_Freiburg_VAG.JPG
- [10] *Tramvaj NGT8D* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: http://www.tram2000.com/Magdeburg/start_magdeburg_fahrzeugpark_1301.htm
- [11] *Tramvaj Citadis 301 CIS* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://ttransport.ru/photo/78592.html>
- [12] *Tramvaj Citadis 304* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://imhd.sk/po/gallery-media/3499/Alstom-Citadis-304/148636/829-route-T1-Sirkeci-Gar%C4%B1-Ankara-Cd?ref=po%2Fgallery%2F3499%2FAlstom-Citadis-304>

- [13] BC. SLAVÍK, Radek. *Návrh sekundárního vypružení pro otočný podvozek nízkopodlažní tramvaje*. Praha, 2018. Dostupné také z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74035/F2-DP-2018-Slavik-Radek-Diplomova_prace_s_prilohama.pdf?sequence=-1&isAllowed=y
- [14] *Tramvaj Citadis Spirit* [online]. In: . [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: <https://www.railfans.ca/otrain/trains/alstom-citadis-spirit>
- [15] ZELINGR, Tomáš Ing., Jan Ing. KURAL a Tomáš Ing. HEPTNER. *Podvozek s malou stavební výškou pro nízkopodlažní kolejové vozidlo, zejména tramvajové*. 2007. Česká republika. 2007-519. Uděleno 11.2.2009. Zapsáno 3.8.2007. Dostupné také z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/4a/10/79/47096c5d1c582f/CZ2007519A3.pdf>
- [16] MÍKA, Tomáš Ing. *Podvozek kolejového trakčního vozidla*. 2008. Česká republika. 301 278. Uděleno 22.7.2009. Zapsáno 14.1.2008. Dostupné také z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/6e/d7/9d/c30be5dfd53aff/CZ301278B6.pdf>
- [17] Prospekt Pragoimex EVO 1 Low Floor Tram. In: *Pragoimex a.s.* [online]. [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <http://www.pragoimex.cz/en/download/default/90>
- [18] *Bombardier Flexity Classic LF netrakční podvozek* [online]. In: . [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schwerin_Nahverkehr_Betriebshof_Haselholz_SN2001-Drehgestell_2008-08-30_013.jpg
- [19] *Bombardier Flexity Classic HF trakční podvozek* [online]. In: . [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: http://tdu.to/Flexity-truck_high-bolster_Adelaide_Mar2010.jpg
- [20] *Alstom CL300* [online]. In: . [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://pdfcoffee.com/qdownload/alstom-bogies-catalogue-2015-englishpdf-pdf-free.html>
- [21] *Podvozek Siemens SF70* [online]. In: . [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://vdocuments.mx/reader/full/first-class-bogies-siemens>

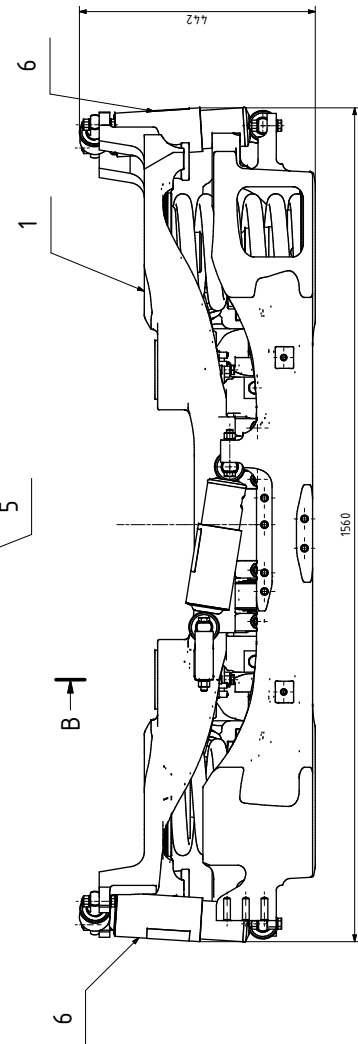
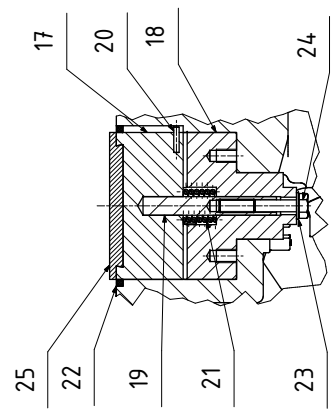
Přílohy:



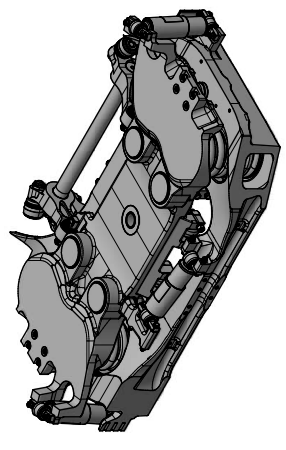
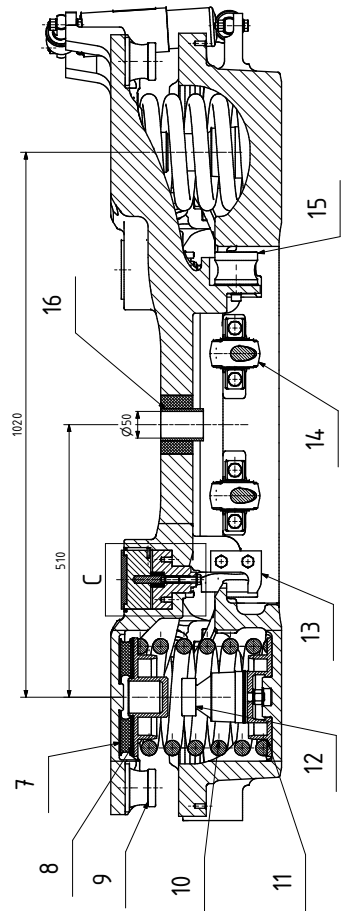
B-B



C (1:2)



A-A



POZOROVÁNÍ: některých závitů není správně z důvodu migrace 3D dat mezi softwary

Číslo	Název součásti	Velikost	Velikost	Velikost	Velikost
25	Prvek 1 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
26	Prvek 2 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
27	Prvek 3 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
28	Prvek 4 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
29	Prvek 5 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
30	Prvek 6 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
31	Prvek 7 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
32	Prvek 8 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
33	Prvek 9 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
34	Prvek 10 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
35	Prvek 11 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
36	Prvek 12 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
37	Prvek 13 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
38	Prvek 14 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
39	Prvek 15 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
40	Prvek 16 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
41	Prvek 17 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
42	Prvek 18 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
43	Prvek 19 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
44	Prvek 20 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
45	Prvek 21 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
46	Prvek 22 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
47	Prvek 23 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
48	Prvek 24 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
49	Prvek 25 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
50	Prvek 26 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
51	Prvek 27 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
52	Prvek 28 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
53	Prvek 29 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
54	Prvek 30 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
55	Prvek 31 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
56	Prvek 32 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
57	Prvek 33 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
58	Prvek 34 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
59	Prvek 35 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
60	Prvek 36 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
61	Prvek 37 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
62	Prvek 38 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
63	Prvek 39 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
64	Prvek 40 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
65	Prvek 41 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
66	Prvek 42 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
67	Prvek 43 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
68	Prvek 44 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
69	Prvek 45 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
70	Prvek 46 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
71	Prvek 47 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
72	Prvek 48 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
73	Prvek 49 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
74	Prvek 50 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
75	Prvek 51 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
76	Prvek 52 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
77	Prvek 53 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
78	Prvek 54 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
79	Prvek 55 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
80	Prvek 56 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
81	Prvek 57 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
82	Prvek 58 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
83	Prvek 59 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
84	Prvek 60 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
85	Prvek 61 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
86	Prvek 62 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
87	Prvek 63 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
88	Prvek 64 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
89	Prvek 65 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
90	Prvek 66 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
91	Prvek 67 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
92	Prvek 68 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
93	Prvek 69 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
94	Prvek 70 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
95	Prvek 71 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
96	Prvek 72 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
97	Prvek 73 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
98	Prvek 74 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
99	Prvek 75 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100
100	Prvek 76 součásti 1	Ø100	Ø100	Ø100	Ø100

Firma: FAKULTA VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
 Sestava RÁM-SEKUNDÁRNÍ VÝPRUŽENÍ-KOLEBKA
 BP-01-01-0001