

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh dvojkolí pro regionální vozidlo

Autor: **Bc. Jiří Vik**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří VIK**
Osobní číslo: **S16N0020P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Návrh dvojkolí pro regionální vozidlo**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Provést rešerši podvozků s vnitřním rámem. Na základě získaných poznatků posoudit vhodnost řešení dvojkolí s vnitřními ložisky oproti řešení s vnějšími. Výhodnější variantu zpracovat detailně. Navrhnu varianty řešení vedení dvojkolí a pro zvolené dvojkolí vypracovat konstrukční návrh, hmotnostní analýzu, určení parametrů tuhosti vypružení, pevnostní výpočet nápravy s navrhnutím vhodné ložiskové jednotky a pevnostní výpočet vypružení. Dále bude práce obsahovat výkres sestavy dvojkolí s jeho připojením k rámu podvozku a výrobní výkres zvolené součásti.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše, posouzení vhodnosti dvojkolí s vnitřními a vnějšími ložisky
2. Porovnat obě varianty a vybranou zpracovat podrobně
3. Konstrukční návrh dvojkolí s vedením dvojkolí
4. Ověření navržené konstrukce pevnostními výpočty
5. Zhodnocení konstrukčního návrhu, závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

HELLER, P. Kolejová vozidla I. . Plzeň: ZČU KKS, 2017

HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla II. . Plzeň: ZČU KKS, 2009

HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla III. . Plzeň: ZČU KKS, 2011

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Antonín Roub**
ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.
Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Vik	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Heller, CSc.	Jméno Petr	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh dvojkolí pro regionální vozidlo		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2019
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	98	TEXTOVÁ ČÁST	82	GRAFICKÁ ČÁST	16
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce se zabývá návrhem dvojkolí pro regionální vozidlo s vnitřními ložisky. Dvojkolí je trakční s primárním vypružením a vedením kyvným ramenem. Náprava je pevnostně ověřena dle Normy ČSN EN 13 103. Dále práce obsahuje výpočet lisovaného spoje kola s nápravou, návrh ložiskové jednotky a pevnostní návrh vypružení. CAD modely jsou provedeny v programu Autodesk Inventor Profesional 2017.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>dvojkolí, železniční kolo, vnitřní rám, Duplex, válečkové jednořadé ložisko, lisovaný spoj, primární vypružení a vedení, kyvné rameno</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Vik	Name Jiří		
FIELD OF STUDY	N2301 “Transport and handling machinery“			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Heller,CSc.	Name Petr		
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Design of a wheelset for Light rail vehicle			

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2019
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	98	TEXT PART	82	GRAPHICAL PART	16
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Aim of this work is mechanical design of wheelsets for light rail vehicle with inner frame bogie. Wheelset is designed for traction bogie and includes also the suspension system between frame and wheelsets. It is chosen a suitable bearing for wheelset. Wheelset is designed with help of Norm ČSN EN 13 013. CAD design is made in Inventor Professional 2017.
KEY WORDS	wheelset, rail wheel, inner frame, Duplex, roller bearing, pressure connection, suspension and guidance of wheelset

Poděkování

Rád bych především poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu Doc. Ing. Petrovi Hellerovi, CSc. za odborné vedení práce, cenné rady a připomínky k této práci.

Obsah

1	Úvod	11
2	Základní pojmy	12
2.1	Regionální vozidlo	12
2.2	Podvozek	12
2.3	Vedení a primární vypružení dvojkolí s příklady.....	13
2.3.1	Vedení a vypružení šikmými pryžovými bloky	14
2.3.2	Vedení a vypružení pryžovými silentbloky	14
2.3.3	Vedení a vypružení kyvným ramenem.....	15
2.3.4	Vedení a vypružení úhlovou pákou.....	15
2.3.5	Ojničkové vedení s vypružením flexi-coil	16
2.3.6	Vedení a vypružení převráceným kyvným ramenem.....	17
2.4	Prvky vypružení	17
2.4.1	Vinuté pružiny.....	17
2.5	Pryžokovové pružiny.....	18
2.6	Dvojkolí.....	19
3	Porovnání dvojkolí s vnitřními ložisky oproti dvojkolí s vnějšími ložisky	21
3.1	Výhody a nevýhody jednotlivých variant	21
4	Rešerše podvozků s vnitřními ložisky	22
4.1	Rešerše současného stavu.....	22
4.1.1	Podvozky s vnitřním rámem pro regionální vozidla	22
4.1.2	Podvozky s vnitřním rámem pro tramvajová vozidla	24
4.1.3	Podvozky s vnitřním rámem vozidel metra.....	26
4.1.4	Podvozky s vnitřním rámem nákladních vozů	28
4.2	Patentová rešerše	29
4.2.1	Užitný vzor číslo 24 974 – Podvozek pro kolejová vozidla.....	29
4.2.2	Patentový spis číslo 305 145 – Trakční podvozek pro kolejová vozidla	30
5	Konstrukční návrh.....	33
5.1	Specifikace požadavků pro konstrukční návrh.....	33
5.2	Konstrukční návrh vedení dvojkolí s vnitřními ložisky	35
5.2.1	Varianta A – vedení pryžokovovými silentbloky	35
5.3	Varianta B – vedení ojničkou a vypružení Flexi-coil pružinami	36
5.4	Varianta C – vedení kyvným ramenem.....	36
5.5	Varianta D – vedení kvazikývačkou	37
5.6	Zhodnocení pružícího prvku	37

5.7	Hodnocení navržených variant vedení dvojkolí.....	38
5.8	Konstrukční návrh vedení dvojkolí s vnitřními ložisky s vedením kyvným ramenem 39	
5.9	Morfologická matice	39
5.10	Jednotlivé varianty dvojkolí	41
5.10.1	Varianta A	41
5.10.2	Varianta B	42
5.10.3	Varianta C	43
5.11	Hodnocení navržených variant.....	44
6	Výpočty	45
6.1	Výpočet nápravy dle ČSN EN 13 103.....	45
6.1.1	Rozbor hmotností	45
6.1.2	Výpočet působících sil na řídicí nápravu	45
6.1.3	Výpočet ohybových momentů	46
6.1.4	Výpočet brzdící síly	48
6.1.5	Výpočet výsledného momentu MR k jednotlivým průřezům	49
6.1.6	Kontrola navržených rozměrů	51
6.2	Návrh uložení železničního kola na sedlu kola nápravy	54
6.3	Výpočet nápravových ložisek	55
6.3.1	Vlastní kontrola trvanlivosti ložiska	56
6.4	Návrh ozubeného kola lisovaného na nápravu.....	58
6.5	Lisovaný spoj náboje ozubeného kola a náprava	60
6.6	Rovnice svislé a příčné tuhosti pro vinutou pružinu	61
6.7	Návrh primárního vypružení	63
6.7.1	Výpočet vypružení	63
6.7.2	Pevnostní analýza pružiny.....	65
6.8	Výpočet příčné tuhosti podle Grosse.....	67
6.8.1	Výpočet příčné tuhosti pro vnější pružinu	67
6.8.2	Výpočet příčné tuhosti pro vnitřní pružinu	68
6.9	Charakteristika vypružení.....	69
6.10	Shrnutí výsledků pro navržené pružiny	70
7	Vyhodnocení konstrukčních uzlů	71
7.1	Dvojkolí.....	71
7.2	Ložisková jednotka.....	73
7.3	Vypružení a vedení dvojkolí kyvným ramenem	74

8	Závěr	76
9	Zdroje.....	77

Zkratky

Obr. - obrázek

Tab. - tabulka

Značky

$2b$ mm - příčná rozteč primárního vypružení

$2s$ mm - vzdálenost styčných kružnic

m kg - hmotnost

G $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ - tíhové zrychlení

P_1, P_2 kN - svislé síly

Y_1, Y_2 kN - příčné síly

H kN - příčná síla jako rozdíl sil Y_1, Y_2

Q_1, Q_2 kN - reakční síly

h_l mm - výška těžiště

F kN - síla

M Nm - moment

p MPa - tlak

z mm - stlačení pružiny

R/r mm - poloměr

D/d mm - průměr

C kN - dynamická únosnost ložiska

e [-] - poměr axiální a radiální síly

Y [-] - Součinitel, přepočítávající axiální zatížení na radiální

L_s km - kilometrová životnost ložiska

k N/m - tuhost pružiny

σ_{red} MPa - Redukované napětí

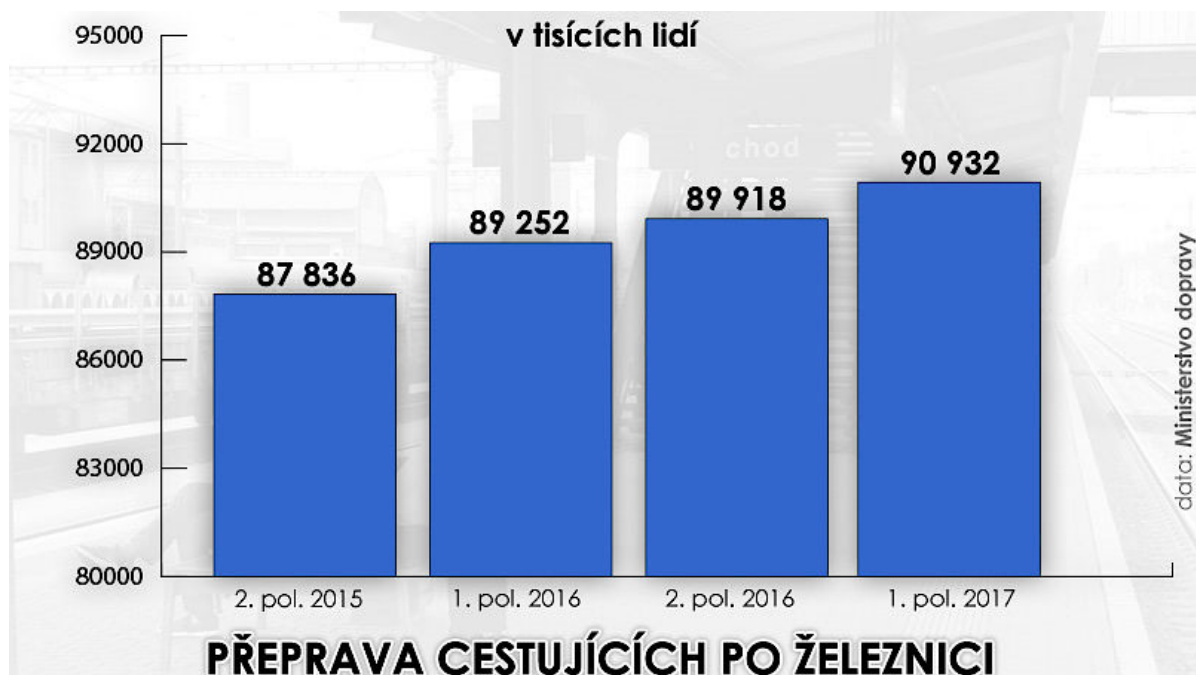
s [-] - bezpečnost

τ_{dov} MPa - dovozené napětí v krutu

1 Úvod

Po pádu socialistického režimu v Československu se snižoval na území České republiky zájem o železniční přepravu osob s prudkým rozvojem silniční dopravy. S postupem času se podíl přepravených osob po železnici opět zvyšuje. V prvním pololetí roku 2017 bylo po železnici přepraveno 90 932 000 osob. To je o 3 miliony přepravených osob více, než na konci 2. pololetí 2015. Důvodem je lepší se komfort cestování po železnici a nejvyšší bezpečnost dopravy. Nejvíce se však příliv cestujících projevuje v dálkové dopravě. V regionální a příměstské dopravě není příliv cestujících tak značný. Vznikem integrovaného systému dopravy a dalším možným navýšením spojů v rámci regionu se však situace může zlepšovat. Proto je výhodné snižovat hmotnost vozidel a tím dále snižovat energetickou náročnost na přepravu osob.

V této diplomové práci se budu zabývat návrhem vedení dvojkolí pro podvozek s vnitřním rámem. Velkou výhodou podvozku s vnitřním rámem je právě úspora hmotnosti. Dvojkolí bude určeno pro regionální či příměstskou jednotku. Cílem práce je tedy navrhnout takové vedení dvojkolí, které bude přispívat ke komfortu cestování daného regionálního vozidla. [4]



Obrázek 1 Přeprava cestujících po železnici – převzato z [7]

2 Základní pojmy

2.1 Regionální vozidlo

V dnešní době je cílem v regionální železniční dopravě pořizovat ucelené vlakové jednotky namísto soupravy vozů tažených lokomotivou. Moderní regionální jednotka má v nástupním prostoru nízkou podlahu. Nízká podlaha se nachází 580–600 mm nad temenem kolejnice. To umožňuje cestujícím snazší a rychlejší nastupování. Největší výhodou to však představuje pro cestující se sníženou pohyblivostí nebo cestující s kočárky. Dále musí být regionální jednotka lehká a mít vysokou akceleraci (1-1,2 m/s²). Hlavním důvodem pro přesvědčení cestujícího použít takové vozidlo by mělo být především zajištěním vysokého komfortu cestování. To znamená, vozidlo či jednotka musí být plně klimatizovaná, musí disponovat Wi-Fi připojením a multifunkčním prostorem pro přepravu kol nebo lyží. Pokud jednotka je pořízena na větší vzdálenosti může obsahovat např. automat s občerstvením. Samozřejmostí je WC pro cestující. [8]

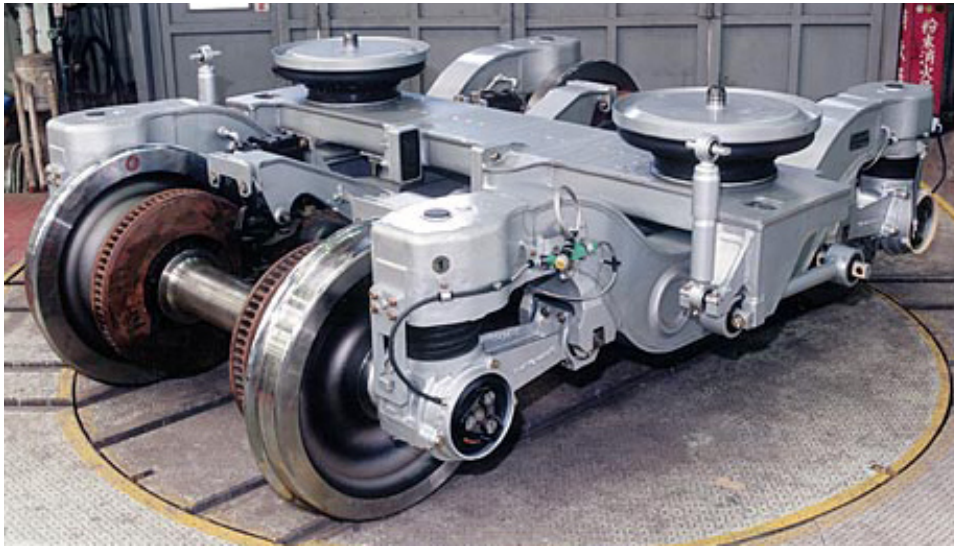


Obrázek 2 Nové regionální vozidlo Mireo od firmy Siemens – převzato z [9]

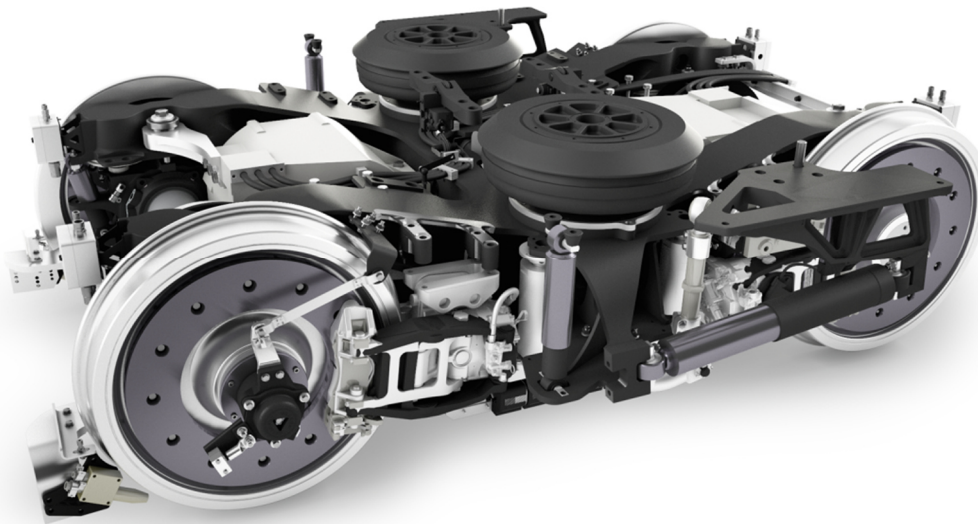
2.2 Podvozek

Podvozek kolejového vozidla je definován jako dvou nebo vícenápravový vozík. Podvozek je vložen mezi skříní vozidla a kolejí. Podvozky regionálních vozidel jsou většinou dvounápravové. Přenos tažných sil je buď řešen otočným čepem nebo tažně tlačnou tyčí. Rámy podvozku jsou nejčastěji svařované konstrukce, vnější a mohou být buď uzavřené nebo otevřené. V důsledku častého použití vzduchového sekundárního vypružení bývá podélník rámu ve střední části ponížěn. Vzduchové sekundární vypružení je výhodné hlavně z hlediska možné regulace výšky podlahy vozidla. V dnešní době se uplatňuje i stavba podvozku s vnitřním rámem. Dalším důležitým prvkem podvozku je dvojkolí. Dvojkolí je s rámem podvozku spojeno prostřednictvím vedení a primárního vypružení. Vedení dvojkolí může být

např. ojníčkou, pryží nebo kývačkou. Primární vypružení může být např. flexi-coil pružinou nebo pryžové. Podvozek může být buď trakční nebo běžný. Brzdy se používají kotoučové. Brzdové kotouče se lisují buď na nápravu, nebo často mohou být součástí kola. (1)



Obrázek 3 Příklad podvozku s vnějším rámem - převzato z [10]



Obrázek 4 Moderní podvozek s vnitřním rámem – převzato z [11]

2.3 Vedení a primární vypružení dvojkolí s příklady

Jelikož se tato práce zabývá návrhem vedení dvojkolí a primárního vypružení, je zásadní tyto pojmy vysvětlit. Jedná se o dva konstrukční prvky, které ale spolu velmi úzce souvisí a navzájem se ovlivňují. Úkolem vedení a primárního vypružení je zajištění svislého a příčného vypružení mezi rámem podvozku a ložiskovou skříní. Dále zajišťují eliminaci účinků svislých nerovností koleje, snižování dynamických účinků ve styku kola s kolejnicí mezi tratí a vozidlem a naopak. Přenáší síly mezi rámem podvozku a dvojkolím ve všech směrech. Jedná se o síly ve směru podélném, trakční a brzdící síly a rámových sil ve směru příčném. V neposlední řadě musí zajistit dostatečný jízdní komfort ve spolupráci se sekundárním vypružením. Dále jsou

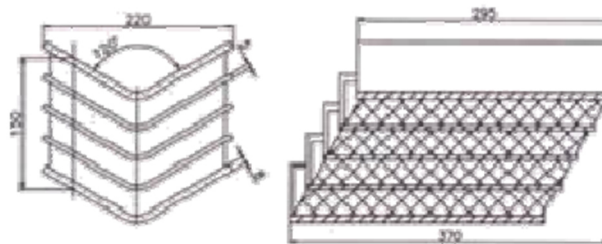
uvedeny některé možné typy vedení dvojkolí a primárního vypružení v souvislosti s jejich možným použitím v konstrukčním návrhu. (1)

2.3.1 Vedení a vypružení šikmými pryžovými bloky

Vedení a primární vypružení je realizováno šipovými pružinami MEGI. Pružiny jsou namáhány na smyk a tlak. Tuhost ve všech směrech zatěžování lze dimenzovat zejména sklonem boků, tloušťkou pryže a tvrdostí. (1)



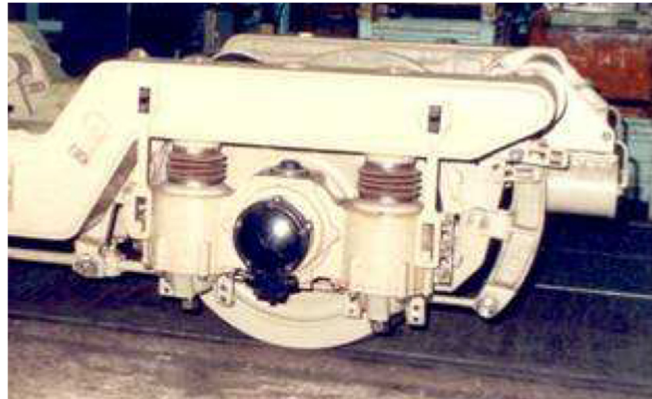
Obrázek 5 Vedení dvojkolí šipovými pružinami MEGI – převzato z [12]



Obrázek 6 Silentblok MEGI – převzato z [9]

2.3.2 Vedení a vypružení pryžovými silentbloky

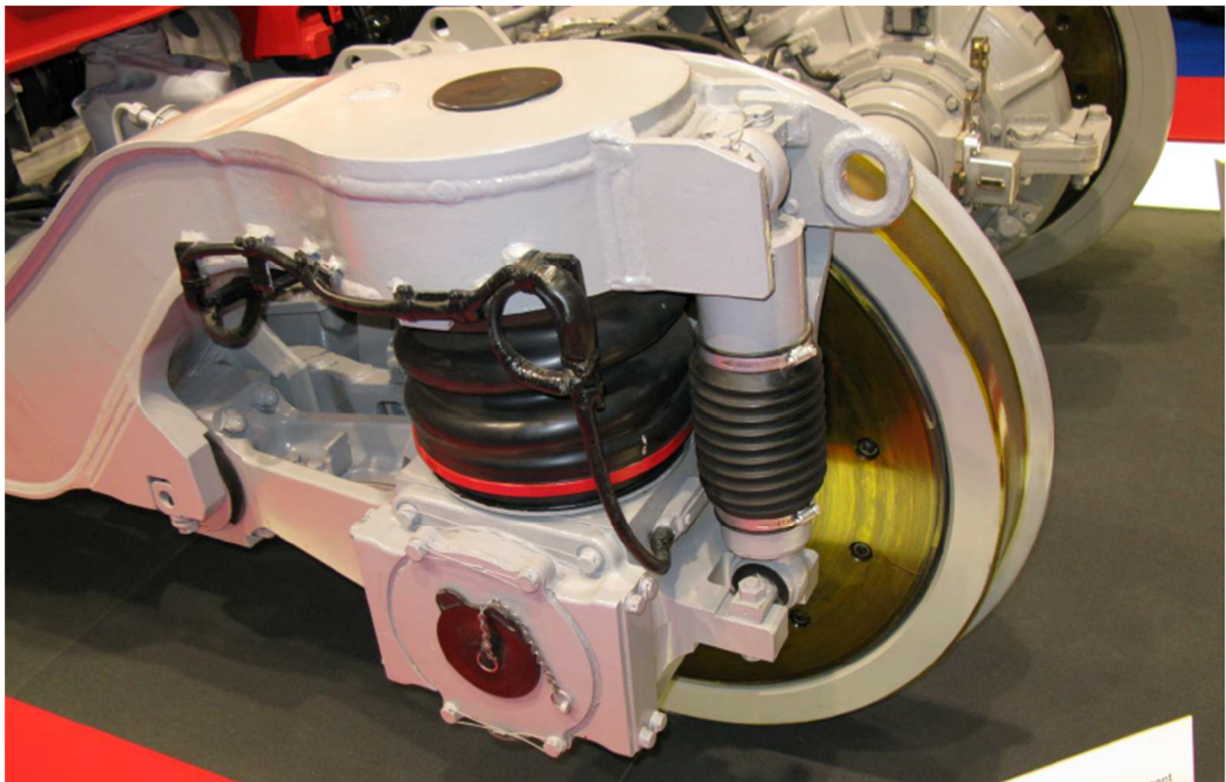
Vedení a primární vypružení je zajištěno prostřednictvím pryžových silentbloků. Je zde snaha o skloubení vlastností pryže tlumit a zároveň pružit. Na vodícím trnu je navulkanizován pryžový silentblok. Silentblok má určitou tuhost v příčném a podélném směru. Nevýhoda tohoto vedení a vypružení je hlavně v tom, že pryž podléhá stárnutí a pak může nedostatečně tlumit. Pryž vlivem stárnutí tvrdne. (1)



Obrázek 7 Vedení a vypružení pryžovými silentbloky– převzato z [12]

2.3.3 Vedení a vypružení kyvným ramenem

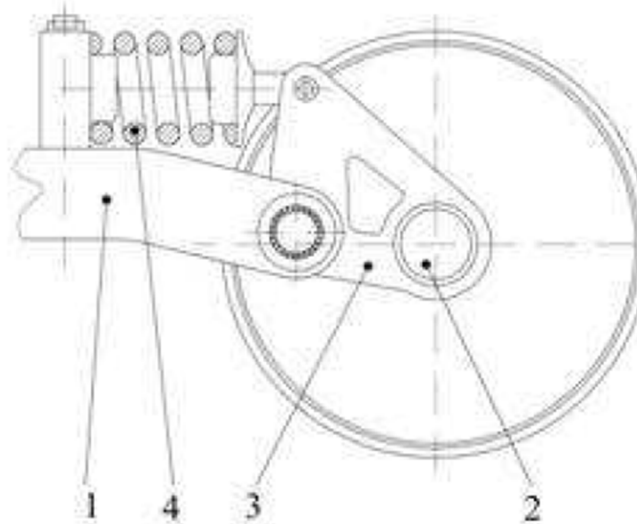
Jedná se o jeden z nejvíce používaných způsobů vypružení a vedení dvojkolí. Kývačka neboli kyvné rameno je jedním koncem uloženo v silentbloku v konzole rámu a druhý konec je ložisková skříň. Radiální tuhost silentbloku udává tuhost vedení v podélném směru. Ložisková skříň je dělená. Horní část je spojena s rámem podvozku a druhá část tvoří spodní díl skříně. Mezi flexi-coil vinutou pružinou a rámem podvozku je silentblok, který slouží ke středění pružiny vůči rámu. Primární vypružení obsahuje navíc ještě tlumič. Jako pružinu svislého vypružení lze použít např. již zmíněnou flexi-coil vinutou pružinu, pryžový blok nebo pryžokovovou pružinu MEGI. (1)



Obrázek 8 Vedení a vypružení kyvným ramenem – převzato z [12]

2.3.4 Vedení a vypružení úhlovou pákou

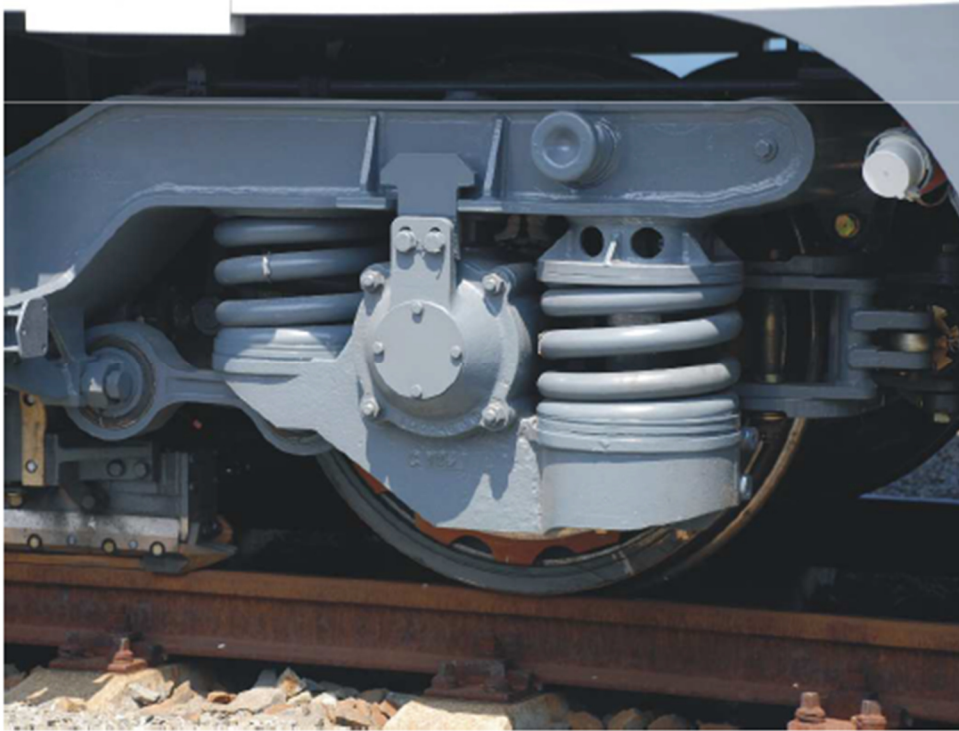
Jedná se o velmi originální řešení vedení a primárního vypružení dvojkolí. Hlavní výhodou tohoto vypružení je, že primární vypružení je dáno do místa, kde je pro něj dostatečný prostor. Vedení úhlovou pákou je demonstrováno na následujícím příkladu. V podélníku rámu podvozku je otočně na čepu zakotvena úhlová páka. Součástí úhlové páky je i ložisková skříň. Svislý pohyb rámu podvozku je přenášen přes úhlovou páku na horizontální pružinu primárního vypružení. (1)



Obrázek 9 Vedení a vypružení úhlovou pákou – převzato z [12]

2.3.5 Ojničkové vedení s vypružením flexi-coil

Jedná se o velice oblíbený způsob vedení a vypružení dvojkolí v současné době. Podélník je spojen s ložiskovou skříní prostřednictvím ojničky. V obou očích ojničky jsou pryžové silentbloky. Toto vypružení díky pružinám flexi-coil s kombinací ojničkového vedení přináší spoustu výhod pro příčné vypružení. Nenachází se zde žádné třecí dvojice ve vedení, vedení je jednoduché, není náročné na přesnost výroby a je snížena hmotnost. Primární vypružení je řešeno v kombinaci s hydraulickým tlumičem. (1)



Obrázek 10 Ojničkové vedení s vypružením flexi-coil – převzato z [12]

2.3.6 Vedení a vypružení převráceným kyvným ramenem

Jedná se o obdobný princip primárního vypružení a vedení dvojkolí jako s kývačkou. Toto řešení vyžaduje dostatečný průměr kol a to cca. 950 mm. Tím je možné rám umístit pod ložiskovou skříň. Tím se získá dostatek prostoru mezi rámem a spodkem vozu pro umístění ostatních komponent podvozku. Lůžko pro jeden konec kyvného ramene je vytvořeno silentblokem, který je situován do konzole na pásnici rámu. Ve střední části ramene se nachází ložisko. Druhý konec ramene je přes závěsku, na jejímž spodním konci je vytvořena hlava, přes kterou se plochý silentblok závěsky opírá do podélníku rámu. Na druhém konci závěsky je matice. Mezi maticí a kyvné rameno je vložena vinutá pružina primárního vypružení. Příčné táhlo spojuje kyvné rameno s rám podvozku. Úkolem příčného táhla je přenos příčných sil a zmenšení nápravového přetížení ložisek. (1)



Obrázek 11 Vedení převráceným kyvným ramenem – převzato z [12]

2.4 Prvky vypružení

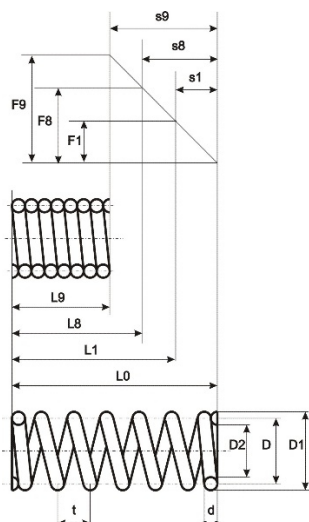
2.4.1 Vinuté pružiny

Vinuté pružiny jsou nejčastěji používaným pružícím prvkem v systému primárního vypružení. Téměř výhradně se používají vinuté pružiny s kruhovým průřezem. Největší výhodou vinutých pružin je jejich snadný návrh a bezúdržbový provoz. Dobré dosednutí pružin se zajistí přihnutím koncových závitů a jejich zabroušením. Počet koncových závitů je 1,5. Vinuté pružiny jsou buď s definovanou svislou a příčnou tuhostí, nebo jen s definovanou svislou tuhostí. Charakteristika je lineární. Duplexním uspořádáním pružin o různých volných výškách lze získat lomenou charakteristiku. Příčná tuhost se dá vypočítat mnoha způsoby a každý způsob dává odlišné výsledky, proto je tento výpočet pouze orientační. (2) (14)

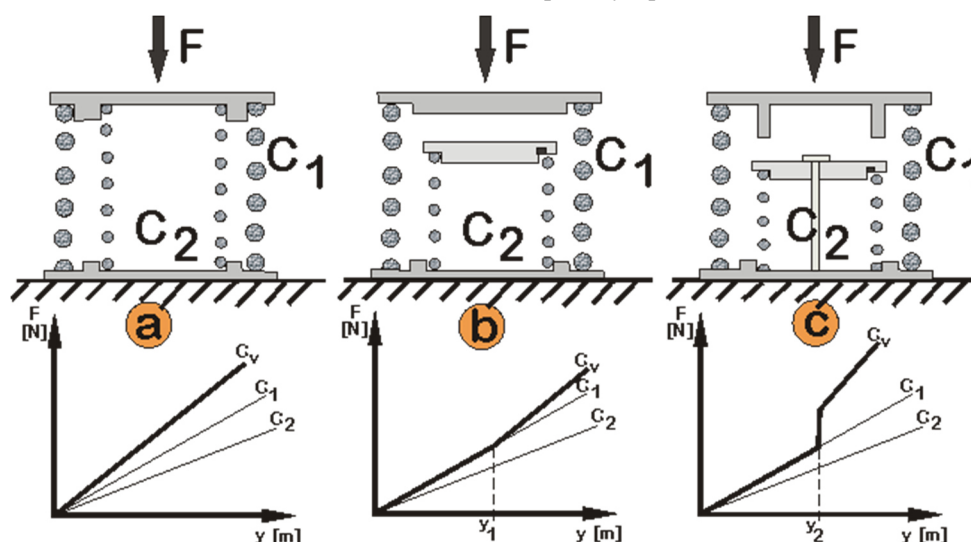
Základní parametry vinuté pružiny:

- Střední průměr D
- průměr drátu d
- počet činných závitů n
- počet závěrných závitů n'
- volná délka pružiny H_0
- stoupání s

Volná délka se navrhne tak, aby při největším stlačení z_{\max} nedošlo k dosednutí závitů. Vůle by měla zůstat cca. $0,1d$. (2) (14)



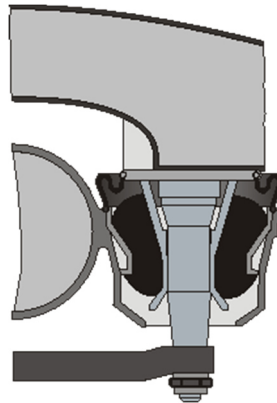
Obrázek 12 Charakteristika vinuté pružiny – převzato z [115]



Obrázek 13 Lomená charakteristika paralelně řazených pružin (Duplex) – převzato z [13]

2.5 Pryžokové pružiny

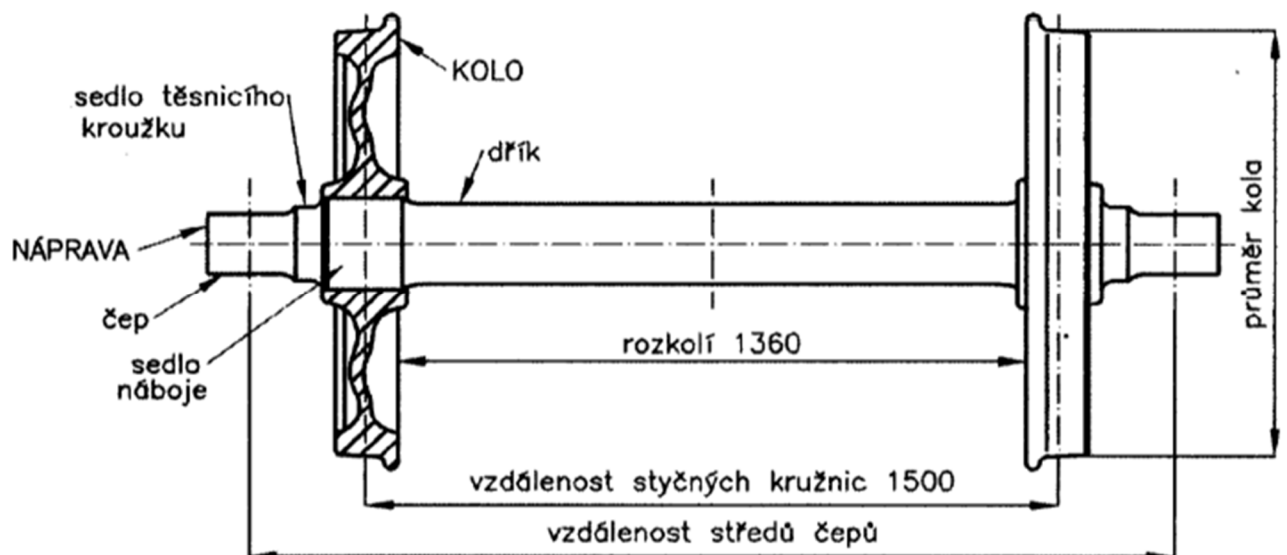
Pryžové pružiny jsou v současnosti také velmi používaný prvek primárního vypružení. Jedná se o pryž, která se navulkanizuje na ocelový prvek. Vlastnosti pryžokovového prvku jsou od ocele odlišné. Pryž má schopnost velkého přetvoření bez poškození, zachovává stálý objem a má rozdílné vlastnosti v závislosti na zatěžování. Dále vnitřně tlumí, což se projevuje hysterézni křivkou. Poměrný útlum bývá obvykle v rozmezí 0,02 až 0,06. Vlastnosti pryže závisí na chemickém složení, tvrdosti, způsobu zatěžování, tvaru prvku, věku. Charakteristika je nelineární. Důležitou charakteristikou je tvrdost pryže, ta by měla být u železničních vozidel 45–55 Sh. Další negativní vlastností je tečení pryže vlivem zatěžování. Výhodou pryžokovového vedení je jeho snadná montáž a vlastní tlumící schopnost pryže. (2) (14)



Obrázek 14 Pryžokovový silentblok – převzato z [16]

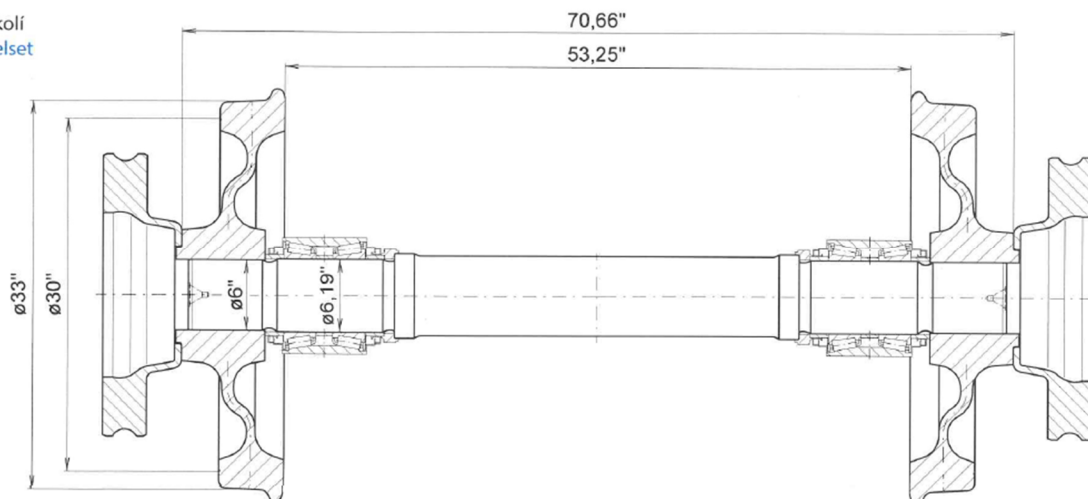
2.6 Dvojkolí

Jedná se o samostatný konstrukční a funkční celek tvořený nápravou a dvěma koly nalisovanými na nápravě. Nápravová ložiska, která se nasazují na nápravu, spojují dvojkolí s ostatními díly pojezdu a se skříní vozidla. Dále může dvojkolí obsahovat prvky brzd či pohonu. Dvojkolí se dělí na dvojkolí s vnějšími ložisky nebo vnitřními ložisky. (2)



Obrázek 15 Dvojkolí s čepem pro nalisování vnějších ložisek – převzato z (2)

Běžné dvojkolí
Trailer wheelset



Obrázek 16 Dvojkolí s vnitřními ložisky - převzato z [5]

3 Porovnání dvojkolí s vnitřními ložisky oproti dvojkolí s vnějšími ložisky

3.1 Výhody a nevýhody jednotlivých variant

Tato diplomová práce se zabývá návrhem dvojkolí pro regionální vozidlo. V současné době se nabízejí dvě varianty řešení. První variantou je použití standardního dvojkolí, které je používáno nejvíce. Ložiskové skříně se nacházejí vně kol. Druhou variantou je inovační řešení v podobě dvojkolí s vnitřními ložisky. Obě varianty mají své přednosti a nedostatky, které jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 1 Porovnání dvojkolí s vnitřními a vnějšími ložisky – vlastní zdroj

Vlastnost	Dvojkolí s vnějšími ložisky	Dvojkolí s vnitřními ložisky
Hmotnost	-	+
Technologická náročnost výroby	+	-
Montáž	+	-
Opravitelnost	+	-
Standardní řešení	+	-
Životnost ložisek	+	-
Inovativnost	-	+
Ekologická, energetická náročnost	-	+

Mezi nevýhody varianty vnitřními ložisky patří například větší technologické nároky náprav na výrobu. Sedla pro čep a kolo mají podobný průměr, důsledkem toho je náchylnost nalisovaného spoje na fretting korozí. Tomu lze zabránit molybdenováním, válečkováním nebo indukčním kalením sedel. Toto opatření je však nad rámec požadavků norem a tím pádem je výroba těchto náprav nákladnější. Další nevýhodou je větší nárok na montáž ložisek. Ložiska jsou lisována dorazem na osazení na nápravě, což má za následek nutnost přísných tolerancí. Dále v místě ložisek je ohybové namáhání. Právě z důvodu většího namáhání je nutné použít ložiska o větších průměrech. Tím způsobená vyšší obvodová rychlost valivých tělísek způsobí nižší životnost tuku. Z hlediska opravitelnosti a výměny ložisek je nutná demontáž kola, což má negativní dopad na servis. [17]

Ačkoli se může zdát, že volba dvojkolí s vnějšími ložisky je lepší variantou, má dvojkolí s vnitřními ložisky jednu zásadní výhodu a tou je výrazně nižší hmotnost podvozku a tím celé jednotky. Příkladem pro toto tvrzení je běžný podvozek jednotek Thameslink od společnosti Siemens, který váží 4,4 t. Tím je o cca. 35% lehčí než běžný podvozek jednotek Desiro s vnějšími ložisky. Tím, že se vedení dvojkolí nachází uvnitř kol, není nutné stavět velký rám podvozku, a to představuje největší úsporu hmotnosti. To má za následek i nižší ekologickou a energetickou náročnost provozu jednotky, následně i možné vyšší zrychlení jednotky. Jednoduše se musí rozpočítat nižší hmotnost. [17]

Velice citelná úspora hmotnosti podvozku je důvodem, proč se v této práci zaměřím na návrh dvojkolí s vnitřními ložisky. [17]

4 Rešerše podvozků s vnitřními ložisky

4.1 Rešerše současného stavu

Ačkoli bude dvojkolí a jeho vedení určeno primárně pro regionální vozidlo, jsou pro potřeby rešerše vybrána nejen regionální vozidla disponující podvozky s vnitřním rámem, ale i vozidla městské, či příměstské dopravy, vozidla metra nebo nákladních vozů. Rešerše demonstruje možná řešení podvozků s vnitřním rámem s ohledem na primární vypružení a vedení dvojkolí s vnitřními čepy. Rešerše slouží pro zmapování současného stavu techniky a inspiraci pro vlastní konstrukční návrh.

4.1.1 Podvozky s vnitřním rámem pro regionální vozidla

4.1.1.1 Podvozek řady SF 7000

Tento podvozek byl v poslední době vyvinut pro regionální vozidla Desiro UK pro britský Thameslink. Podvozek SF 7000 má nahradit podvozek SF 5000. Podvozek je podstatně lehčí a tím pádem energeticky výhodnější. Snížení hmotnosti je dosaženo především nahrazení vnějšího rámu, rámem vnitřním. Dalším prvkem úspory hmotnosti bylo vyřešení příčnicku podvozku. Obvykle příčnicku podvozku obsahuje zásobník vzduchu pro sekundární vzduchové vypružení, na tomto podvozku ale rezervoár není a byl přesunut na skříň vozidla. Další těžkou součástí na podvozku je náprava. Snížení hmotnosti nápravy bylo vyřešeno použitím duté nápravy. Zajímavostí je řešení brzd na podvozku. Trakční a běžný podvozek mají brzdy řešeny jinak. U trakčního podvozku je použito rekuperační brzdění. Trakční motor funguje jako generátor a spotřebovává kinetickou energii. Toto je primární brzdění. Dále je na trakčním podvozku použita špalíková brzda. Aby nedocházelo k nadměrnému opotřebením jízdní plochy kola je použito kompozitních špalíků. Špalíková brzda je určena pro dobrzdování a k čištění jízdní plochy kola a tím zlepšování adhezních podmínek. Na běžném podvozku je brzdění zajištěno dvěma brzdovými kotouči na každé nápravě. Všechna tato konstrukční řešení a mnohá další vedla k významné úspoře hmotnosti podvozku SF 7000 oproti podvozku SF 5000. U trakčního podvozku hmotnost klesla z 9,3 tuny na 6,3 tuny u běžného podvozku klesla hmotnost z 6,8 tuny na 4,4 tuny. Primární vypružení je tvořeno několika vrstvy pryžokovových pružin s paralelně umístěným tlumičem. Vedení je zajištěno kývačkou. Sekundární vypružení je zajištěno vzduchovými měchy. Kola jsou monobloková. [18]



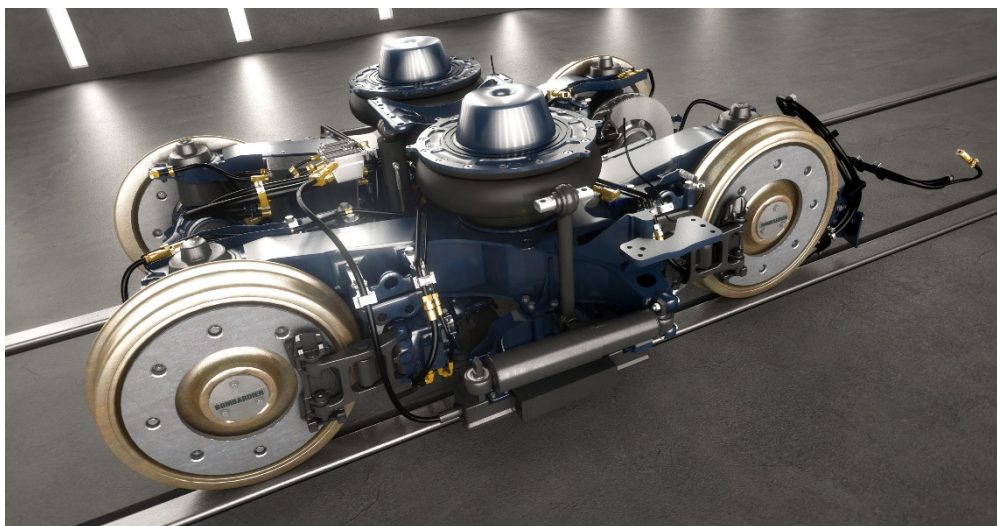
Obrázek 17 Podvozek regionálního vozidla SF 7000 – převzato z [19]

Tabulka 2 Technické parametry - SF 7000 [18] [19]

Hlavní parametry podvozku	Trakční	Běžný
Max. rychlost	160 km/h	160 km/h
Rozchod	1435 mm	1435 mm
Rozvor kol	2200 mm	2200 mm
Hmotnost	6,3 t	4,4 t
Typ primárního vypružení	Pryžokovové pružiny	Pryžokovové pružiny
Vedení dvojkolí	Kyvné rameno	Kyvné rameno
Typ sekundárního vypružení	Vzduchový měch	Vzduchový měch
Průměr kola nové/opotřebované	820/760 mm	820/760 mm
Mechanická brzda	Špalíková	Kotoučová

4.1.1.2 Podvozek Flexx – ECO od firmy Bombardier

Počet těchto podvozků čítá v současnosti skoro 1000 kusů. Jeho velice dobrá stabilita umožňuje využití nejen pro vozidla regionální přepravy, ale i pro vysokorychlostní vozidla. Podvozek je vysoce kompaktní a lehký. Hmotnost byla snížena oproti konvenčnímu podvozku o 30 %. Rám podvozku je vnitřní a torzně flexibilní. Primární vypružení je řešeno pryžokovovou pružinou a dvojkolí je vedeno ojnicí. Jako u předchozího podvozku je použito duté nápravy s vnitřními ložisky. Sekundární vypružení je vzduchové. Kotoučová brzda brzdí přímo každé kolo. Disk je tedy součástí kola. Možnost instalace kolejnicové brzdy. Kola jsou s tlumiči hluku. [20] [21]



Obrázek 18 Podvozek Flexx-ECO – převzato z [21]

Tabulka 3 Technické parametry – Flexx – ECO [20]

Hlavní parametry podvozku	Trakční	Běžný
Max. rychlost	160 - 200 km/h	160 – 200 km/h
Rozchod	1435 mm	1435 mm
Rozvor kol	2250 - 2500 mm	2250 - 2500 mm
Hmotnost	-	4-4,6 t
Typ primárního vypružení	Pryžokovový silentblok	Pryžokovový silentblok
Vedení dvojkolí	Ojnička	Ojnička
Typ sekundárního vypružení	Vzduchový měch	Vzduchový měch
Průměr kola nové/opotřebované	780/- mm	780/- mm
Mechanická brzda	Kotoučová	Kotoučová

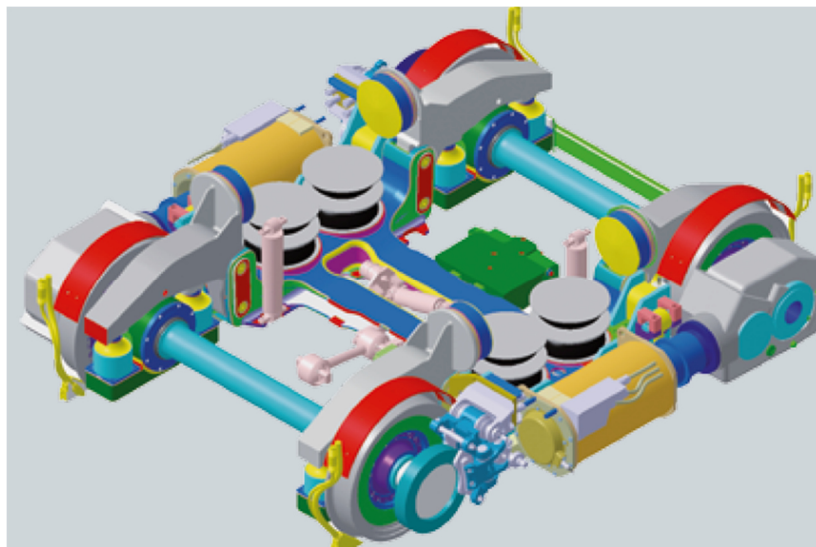
4.1.2 Podvozky s vnitřním rámem pro tramvajová vozidla

4.1.2.1 Podvozek Flexx – Urban 3000 od firmy Bombardier

Tramvajový neotočný podvozek 100% nízkopodlažní tramvaje. Jedná se o moderní lehký podvozek s vnitřním rámem a dvojkolím s vnitřními nápravovými ložisky. Pohon dvojkolí zajišťuje trakční motor s kuželočelní převodovkou a je poháněno vždy jedno dvojkolí. Na druhé straně je dvojkolí brzděno kotoučovou brzdou. Primární vypružení a vedení dvojkolí je buď řešeno dvěma pryžokovovými konickými silentbloky, respektive šikmo uloženou vícevrstvou MEGI pružinou a kývačkou. Sekundární vypružení zajišťuje čtveřice čtyř pryžových pružin. Vazba mezi skříní vozidla a podvozkem je přes krátkou tažně tlačnou tyč. Torzní stabilizátor zabraňuje houpání vozidla. Kola jsou skládaná pryží tlumená. [22] [23]



Obrázek 19 Podvozek Flexx – Urban 3000 – Primární vypružení a vedení dvojkolí kyvným ramenem [20]



Obrázek 20 Podvozek Flexx - Urban 3000 - vedení a vypružení dvojkolí pryžokovovými silentbloky – převzato z [22]

Tabulka 4 Technické parametry - Flexx - Urban 3000 – Vedení a vypružení dvojkolí kyvným ramenem [22] [23]

Hlavní parametry podvozku	Trakční	Běžný
Max. rychlost	80 km/h	80 km/h
Rozchod	1000-1435 mm	1000-1435 mm
Rozvor kol	1850 mm	1850 mm
Hmotnost	4,7-4,95 t	-
Typ primárního vypružení	Pryžokovové pružiny	Pryžokovové pružiny
Vedení dvojkolí	Kyvné rameno	Ojnička
Typ sekundárního vypružení	Pryžový silentblok	Pryžový silentblok
Průměr kola nové/opotřebované	640/560 mm	640/560 mm
Mechanická brzda	Kotoučová	Kotoučová

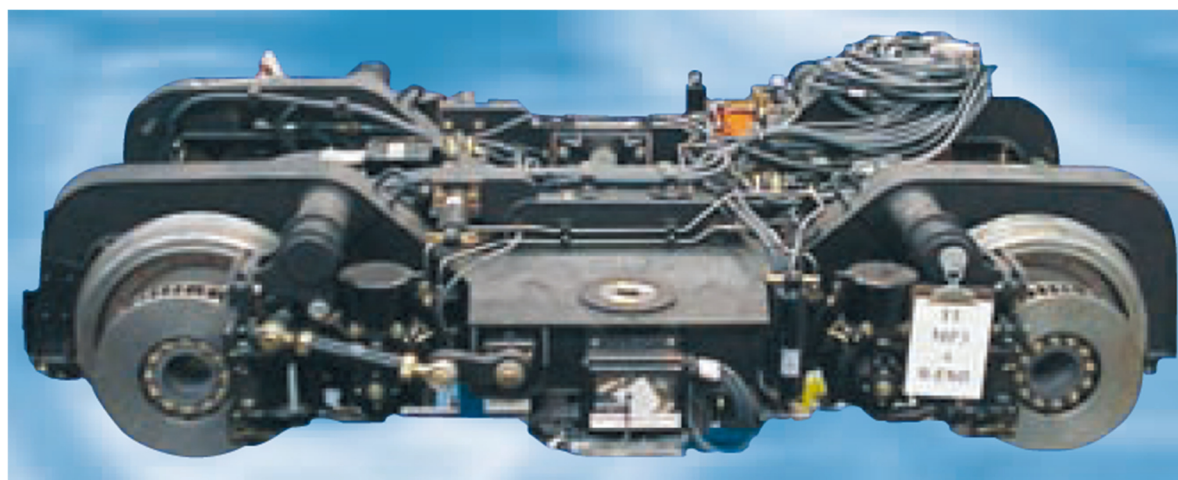
Tabulka 5 Technické parametry - Flexx - Urban 3000 – Vedení a vypružení dvojkolí pryžokovovými silentbloky [22]

Hlavní parametry podvozku	Trakční	Běžný
Max. rychlost	80 km/h	80 km/h
Rozchod	1000-1435 mm	1000-1435 mm
Rozvor kol	1850 mm	1850 mm
Hmotnost	4,7-4,95 t	-
Typ primárního vypružení	Pryžokovový silentblok	Pryžokovový silentblok
Vedení dvojkolí	Pryžokovový silentblok	Pryžokovový silentblok
Typ sekundárního vypružení	Pryžový silentblok	Pryžový silentblok
Průměr kola nové/opotřebované	640/560 mm	640/560 mm
Mechanická brzda	Kotoučová	Kotoučová

4.1.3 Podvozky s vnitřním rámem vozidel metra

4.1.3.1 Podvozek SF 2100 od firmy Siemens

Podvozek pro vozidla metra SF2100 má dvojkolí s vnitřními ložisky. Rám podvozku je proto vnitřní. Rám je H tvaru a je tvarově velmi komplikovaný. Rám se skládá ze dvou podélníků a jednoho příčnicku, který obsahuje „balkonky“ pro instalaci vzduchového sekundárního vypružení. Sekundární vypružení je dále vybaveno svislými hydraulickými tlumiči a torzním stabilizátorem. Primární vypružení a vedení dvojkolí je zajištěno pryžokovovými pružinami MEGI. Pružiny MEGI mají vlastní tlumení a příčnou a podélnou elasticitu a montují se mezi rám podvozku a ložiskovou skříň mezi koly. Podélná a příčná síla z rámu podvozku a skříní vozidla je přenášena otočným čepem. Aby bylo omezeno odlehčení dvojkolí je otočný čep vyveden co nejnižší od TK. Kotoučové brzdy se nachází z obou stran na konci každého dvojkolí. (1) [24]



Obrázek 21 Podvozek SF 2100 IB převzato z [24]

Tabulka 6 Technické parametry SF 2100 IB (1) [24]

Hlavní parametry podvozku	Trakční	Běžný
Max. rychlost	100 km/h	100 km/h
Rozchod	1435 mm	1435 mm
Rozvor kol	2450 mm	2450 mm
Hmotnost	6,8 t	4,8 t
Typ primárního vypružení	Šípové pryžokovové pružiny	Šípové pryžokovové pružiny
Vedení dvojkolí	Šípové pryžokovové pružiny	Šípové pryžokovové pružiny
Typ sekundárního vypružení	Vzduchový měch	Vzduchový měch
Průměr kola nové/opotřebované	710/635 mm	710/635 mm
Mechanická brzda	Kotoučová	Kotoučová

4.1.3.2 Vývojový podvozek Syntegra od firmy Siemens

U tohoto podvozku se jedná o zcela inovační řešení podvozku pro vozidla metra. Mezi hlavní inovace patří bezpřevodkový pohon neboli přímý pohon synchronním motorem s permanentními magnety. Rám je vnitřní, obsahuje dva podélníky a kloubově připojený příčník. Náprava dvojkolí je integrována s hřídelí trakčního motoru. Se štítovými ložisky motoru jsou integrována vnitřní nápravová ložiska. Kola dvojkolí jsou monobloková. Primární vypružení je zajištěno vinutými pružinami a dvojkolí je vedeno trojúhelníkovou ojnicí. Vedení je ukotveno na příčník, aby bylo zamezeno působení sil na podélník, který je namáhán pouze svislými silami. Sekundární vypružení je provedeno vzduchovými pružinami. Podílná síla mezi podvozkem a skříní vozidla je přenesena dvěma ojnicemi mezi motory a hlavním příčníkem a následně dvěma ojnicemi mezi předním motorem a konzolou na spodku vozidlové skříně. Přenos je rovněž uložen nízko TK a tím je omezeno nadlehčování dvojkolí. Přednosti je vysoká účinnost vodou chlazeného trakčního motoru, není převodovka, a nízká hmotnost pohonu. Další výhodou je celková nízká výška podvozku. (1)



Obrázek 22 Vývojový podvozek Syntegra - převzato z [25]

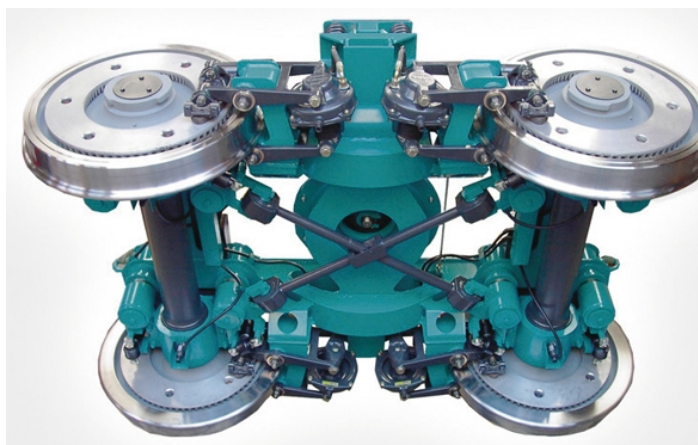
Tabulka 7 Technické parametry - Podvozek Syntegra (1)

Hlavní parametry podvozku	Trakční
Max. rychlost	90 km/h
Rozchod	1435 mm
Rozvor kol	1690 mm
Hmotnost	-
Typ primárního vypružení	Flexi-coil pružiny
Vedení dvojkolí	Trojúhelníková ojnice
Typ sekundárního vypružení	Vzduchový měch
Průměr kola nové/opotřebované	690/630 mm
Mechanická brzda	Špalíková

4.1.4 Podvozky s vnitřním rámem nákladních vozů

4.1.4.1 Podvozek LEILA

Tento podvozek zařazují do své rešerše hlavně z hlediska jeho zajímavě řešeného vedení dvojkolí a primárního vypružení. Jedná se o zcela moderně řešený podvozek pro nákladní vozy. Prvním ze změn oproti konvenčním podvozkům pro nákladní vozy je použití kotoučových brzd v kolech. Další hlavní výhodou je jeho lehké provedení. To je dáno právě použitím vnitřního rámu, který je uložen na vnitřních nápravových ložiskách. Vedení dvojkolí je řešeno dvěma miskovými soupravami u každého kola. Dvojkolí je radiálně stavitelné v obloucích díky použití křížové vazby na principu Scheffel, která spojuje obě dvojkolí. Tím pádem mají dvojkolí ve vedení horizontální vůle a mohou být radiálně stavitelná. Vnitřní ložiska umožňují větší natáčení dvojkolí ve srovnání s pojezdy s vnějšími ložisky. Oproti klasickému podvozků pro nákladní vozy Y25 potvrdila měření snížení opotřebení okolků a hlavy kolejnice o 30% a snížení energetické náročnosti jízdy v oblouku o 5%. Primární vypružení je řešeno třemi pryžokovovými pružinami u každého kola. Tato pružina přenáší převážně vertikální vypružení. Dvě pryžová pouzdra určena k vedení dvojkolí zajišťují přenos podélných a příčných sil. Pružiny jsou vsazeny do ocelových misek po stranách ložiskové skříně. Přídavné druhotné vypružení je řešeno pružným pryžovým kroužkem, vsazeným do dolní torny. Je dosažena velice nízká hmotnost podvozku a to o 4 tuny. (1)



Obrázek 23 Podvozek Leila – pohled na spodní část – převzato z [26]

Tabulka 8 Technické parametry – Podvozek Leila (1)

Hlavní parametry podvozku	Běžný
Max. rychlost	120 km/h
Rozchod	1435 mm
Rozvor kol	1800 mm
Hmotnost	6,8 t
Typ primárního vypružení	Pryžokovové pružiny
Vedení dvojkolí	Pryžové kroužky
Typ sekundárního vypružení	Pryží vypružená torna
Průměr kola nové/opotřebované	920 mm
Mechanická brzda	Kotoučová

4.2 Patentová rešerše

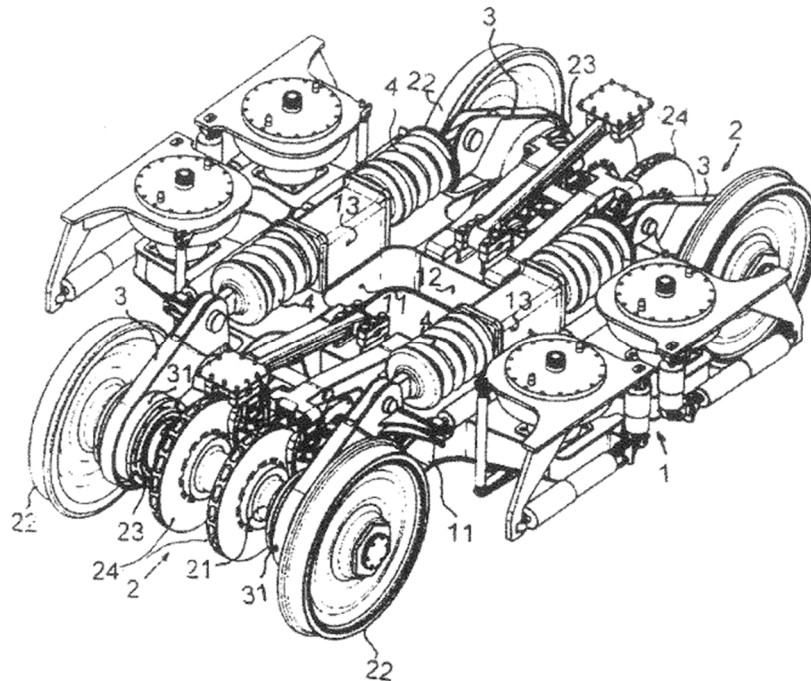
Pro návrh vlastního dvojkolí pro regionální vozidlo s jeho primárním vypružením a vedením je vhodné zmapovat i některá patentovaná řešení nebo užité vzory podvozků s vnitřním rámem. V následujících kapitolách bude proto pro potřeby rešerše zařazen i užitý vzor pro podvozek typu Jacobs a patent trakčního podvozku s vnitřním rámem.

4.2.1 Užitý vzor číslo 24 974 – Podvozek pro kolejová vozidla

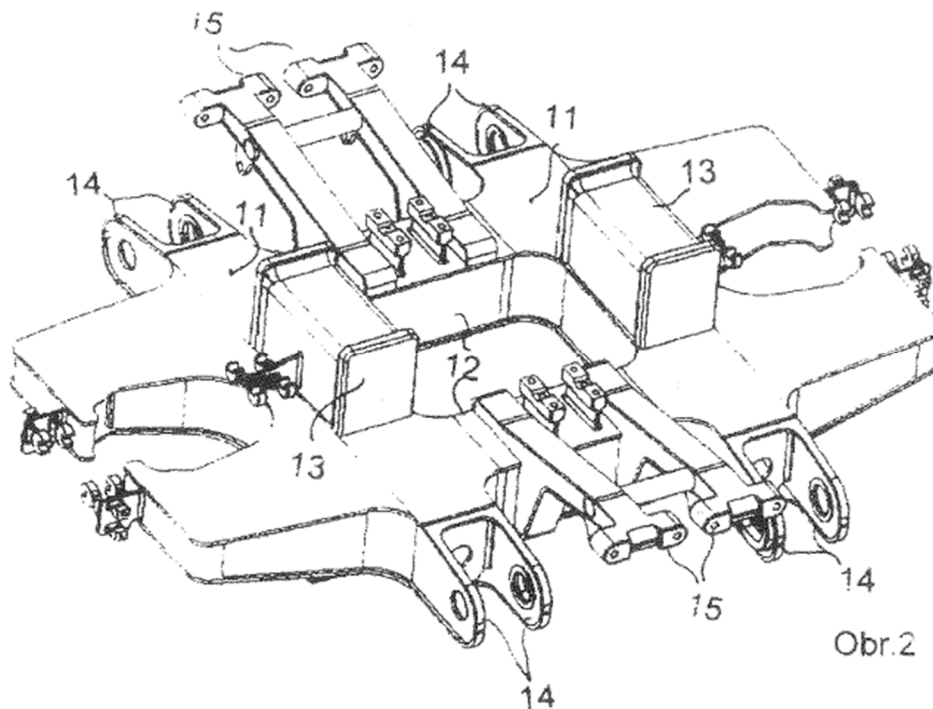
Podle tohoto užitého vzoru je možné navrhnout podvozek s vnitřním ráme typu Jakobs. Majitelem užitého vzoru je Západočeská univerzita v Plzni a původci jsou Ing. Vlastimil Hroník a doc. Ing. Petr Heller. [31]

V řešení se jedná o běžný podvozek typu Jakobs určený převážně pro regionální, ale i vysokorychlostní članková vozidla. Navržený podvozek disponuje vnitřním rámem, který je tvořen dvojicí podélníku a hlavním příčným. Tvar rámu je tedy H. Použitím vedení a primárního vypružení pomocí úhlové páky bylo docíleno velice lehkého rámu podvozku. Nápravy dvojkolí se nacházejí před konci podélníku a nápravová ložiska se nacházejí v pouzdře úhlové páky. Druhý konec páky je přiklouben k podélníku. Mezi zarážkou a protilehlým koncem úhlové páky se nachází pružina. Protilehlé pružiny mohou být opřeny o společnou zarážku, což zajišťuje omezení hmotnosti podvozku. Pružiny mohou být použity buď vinuté nebo elastomerické. [31]

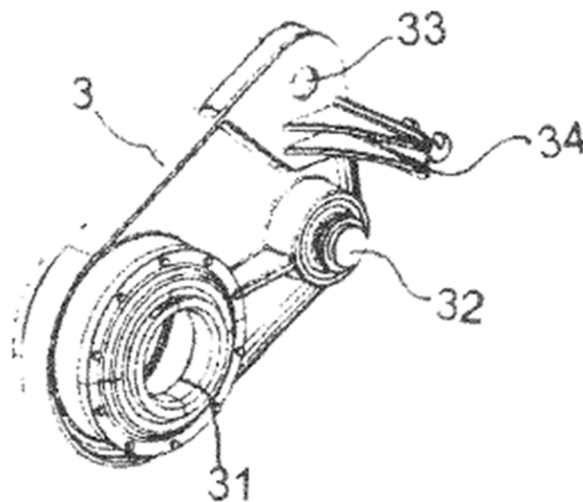
Sekundární vypružení jakobsova podvozku je zajištěno vzduchovými měchy. Přenos podélné síly mezi podvozkem a skříní vozidla je řešen prostřednictvím tažně tlačné tyče. Mechanická brzda je kotoučová. Na každé nápravě jsou umístěny dva kotouče. [31]



Obrázek 24 Podvozek typu Jakobs dle užitého vzoru číslo 24 974 - převzato z [31]



Obrázek 25 Vnitřní rám dle užitého vzoru číslo 24 974 - převzato z [31]



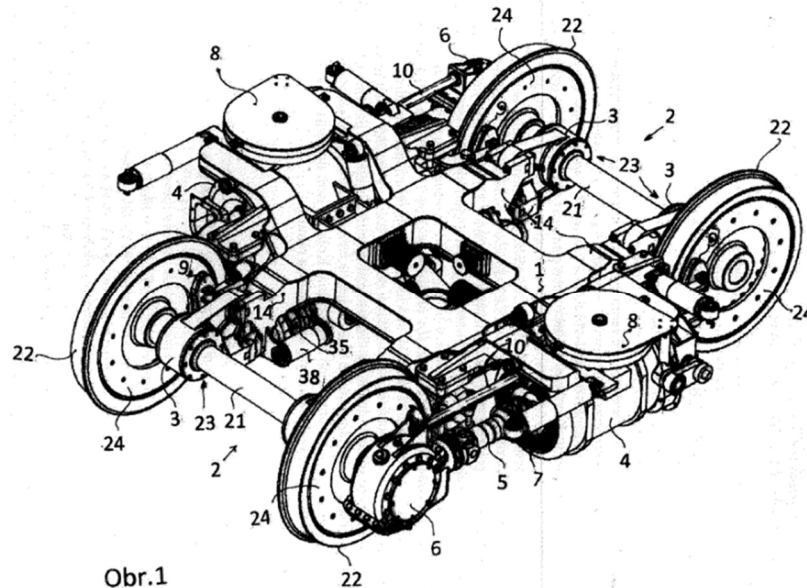
Obrázek 26 Úhlová páka dle užitého vzoru číslo 24 974 - převzato z [31]

4.2.2 Patentový spis číslo 305 145 – Trakční podvozek pro kolejová vozidla

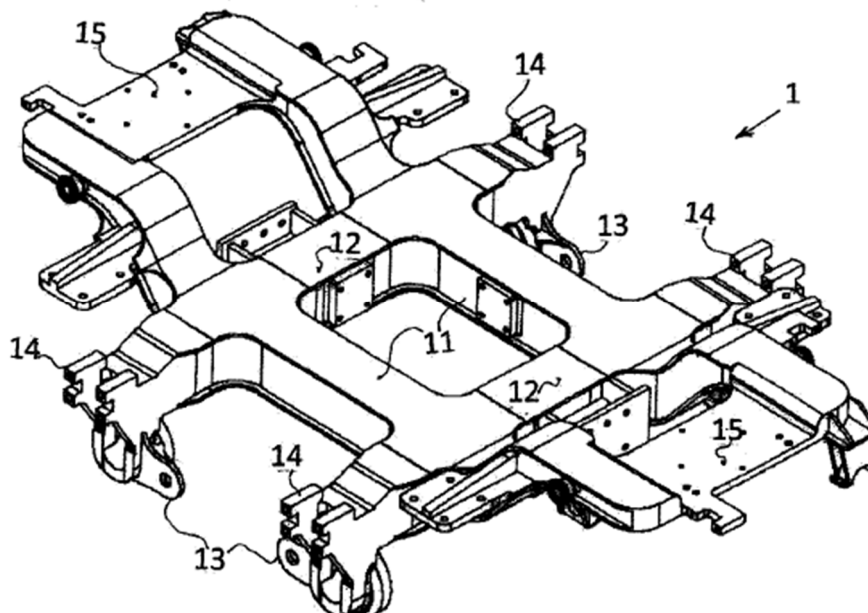
Podle tohoto patentu je možné navrhnout trakční podvozek s vnitřním rámem. Majitelem užitého vzoru je Západočeská univerzita v Plzni a původci jsou Ing. Tomáš Berezňák a doc. Ing. Petr Heller. [32]

Vnitřní rám trakčního podvozku je tvořen párem podélníků, který navzájem spojují dva příčné. Trakční motory jsou umístěny z vně dvojkolí a pohání přes kuželovou převodovku jedno dvojkolí. Trakční motor je s kuželovou převodovkou spojen kloubným hřídelem. Sekundární vypružení je vzduchové. [32]

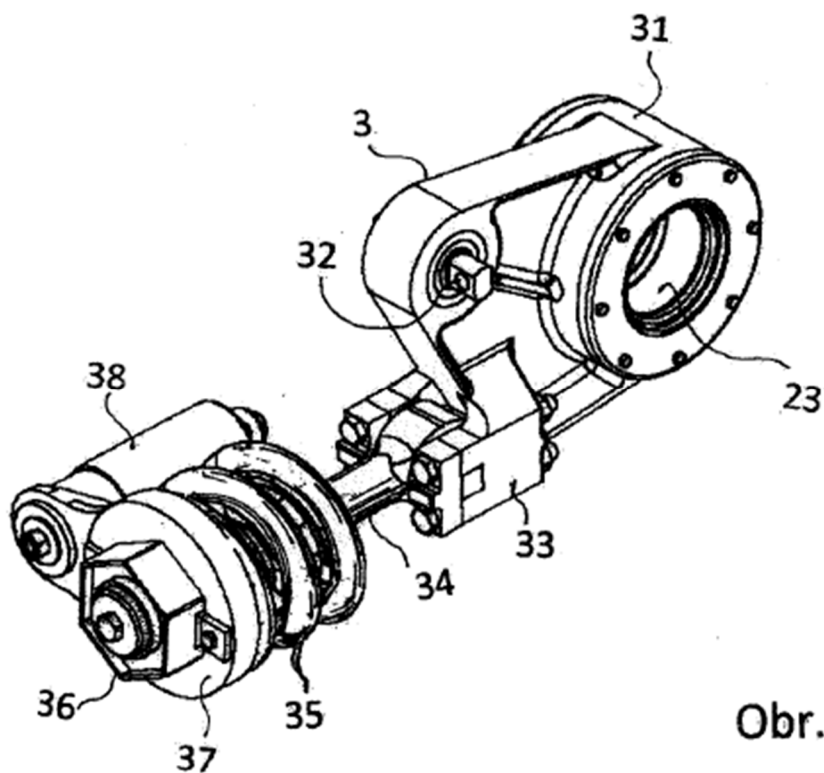
Čím je však tento patent zajímavý pro potřeby této diplomové práce je řešení primárního vypružení a vedení dvojkolí s vnitřními nápravovými ložisky. Ke každému z podélníkových nástavců je přikloubena úhlová páka, na jejímž konci je pouzdro pro nápravové ložisko. Mezi úhlové rameno, které vystupuje z úhlové páky a konzolou na rámu je včleněna vinutá pružina. Dále je mezi úhlové rameno a konzolu včleněn tlumič. Celé vedení a primární vypružení je umístěno pod rám podvozku viz. následující obrázky. Tímto řešením je horní část podvozku oprostěna od rušivých elementů a podvozek je dokonale kompatibilní pro umístění nízké podlahy. [32]



Obrázek 27 Trakční podvozek dle patentového spisu číslo 305 145 - převzato z [32]



Obrázek 28 Vnitřní rám trakčního podvozku dle patentového spisu číslo 305 145 - převzato z [32]



Obrázek 29 Úhlová páka s pružinou primárního vypružení dle patentového spisu číslo 305 145 - převzato z [32]

5 Konstrukční návrh

5.1 Specifikace požadavků pro konstrukční návrh

Před zahájením vlastního konstrukčního návrhu je důležité stanovit specifikaci požadavků na daný konstrukční návrh. Specifikaci požadavků sestaví vykonavatel se zákazníkem. Podmíněné požadavky je nutné dodržet. Podmínky označené jako přání je vhodné dodržet z hlediska konkurenční výhody, není však stěžejní. V následující tabulce jsou shrnuty požadavky na návrh dvojkolí s vedením dvojkolí. [6]

Tabulka 9 Specifikace požadavků

Požadavky na vnější vlastnosti/chování TS vztahující se k transformačním procesům TrP			
a. Požadavky na hlavní i asistující pracovní funkce	Požadovaná hodnota	Podmínka	Přání
Přenos výkonu z motoru na dvojkolí v případě poháněného dvojkolí	Nutné	X	
Přenos brzdných účinků	Nutné	X	
Přenos podélných sil mezi dvojkolím a rámem podvozku	Nutné	X	
Přenos rámových sil ve směru příčném	Nutné	X	
Svislé a příčné vypružení mezi rámem podvozku a dvojkolím	Nutné	X	
Rozchod dvojkolí	1435 mm	X	
Průjezd dvojkolí v přímé koleji	Nutné	X	
Průjezd dvojkolí v oblouku	Nutné	X	
Průjezd dvojkolí přes svislé nerovnosti kolej	Nutné	X	
Hmotnost dvojkolí	1200 kg		X
Maximální rychlost	160 km/h		X
b. Požadavky na ostatní funkční vlastnosti pro provoz			
Prostředí	Venkovní	X	
Použití	Celoročně	X	
Kontrolní prohlídka	Snadná	X	
Manipulace	Snadná	X	
Výměna opotřebovaných dílů	Dostatečná		X
Údržba	Minimální		X
c. Požadavky na vlastnosti konstrukce předvýrobních etap a výroby			
Vhodnost pro konstruování	Maximální		X

Vhodnost pro organizační a technologickou přípravu výroby	Maximální		X
Vhodnost pro výrobu a montáž	Maximální	X	
Druh výroby	Malosériová	X	
Možnost automatizace výroby	Středně vysoká		X
d. Požadavky na vlastnosti pro distribuci			
Možnost manipulace s dvojkolím	Jeřábem	X	
Náročnost na skladovací prostory	Nízká		X
e. Požadavky na vlastnosti likvidace			
Požadavky pro demontáž	Jednoduchá		X
Požadavky na recyklaci	Co nejvyšší		X
Požadavky na vnější vl. TS vztažené k operátorům transf. systému v životních etapách			
a. Požadavky na vlastnosti řídicího/ manažerského systému			
Oblast výzkumu a vývoje	Zajistit co nejlepší možnosti pro výzkum a vývoj produktu		X
Zajištění konkurenceschopnosti	Maximální		X
Inovace	Střední		X
b. Požadavky na vlastnosti vztažené k živým bytostem			
Hlučnost jízdy	Minimální		X
Dynamické účinky	Minimální	X	
Komfort jízdy od nejnižší po maximální rychlost	podobný	X	
Vibrace	Minimální		X
c. Požadavky na vlastnosti materiálů a energetického okolí			
Ekologičnost materiálů	Nehořlavé Netoxické	X	
Odolnost proti opotřebení			X
Únavová odolnost		X	
Odolnost proti dynamickým účinkům		X	
Zajistit požadované vlastnosti při teplotách	-30 až + 50°C	X	
Vhodné vlastnosti pryžových komponent	Tvrdost pryže 45 až 55 Sh Nízké tečení		X
d. Požadavky na vlastnosti informačního okolí			

Patentová a licenční práva	Neporušit	X	
Další normy, předpisy a vyhlášky	Dodržet	X	
e. Požadavky na vlastnosti odborného informačního systému			
Výrobní a montážní dokumentace	Standardní provedení	X	
Návod k obsluze	Standardní provedení	X	
Návod pro údržbu a opravy	Standardní provedení	X	
f. Požadavky na vlastnosti k ostatním TS			
Opotřebením kolejniče	Minimální	X	
g. Požadavky na nákladové a časové vlastnosti			
Náklady na vývoj, vznik, provozování a likvidaci	Minimální	X	
Čas na vývoj	3 měsíců		X
Čas na výrobu	1 měsíc		X
Požadavky na deskriptivní vlastnosti TS			
a. Požadavky na elementární konstrukční vlastnosti			
Náprava	Vyráběná	X	
Kola	Dodávaná	X	
Nápravové ložisko	Dodávané	X	
Prvky vypružení a vedení	Co nejvíce možné použít nakupované součásti		X
Spojovací komponenty	Normalizované	X	
b. Požadavky na znakové konstrukční vlastnosti a charakteristiky			
Dvojkolí pro nízkopodlažní vozidlo	Nutné	X	
Montáž	Jednoduchá		X

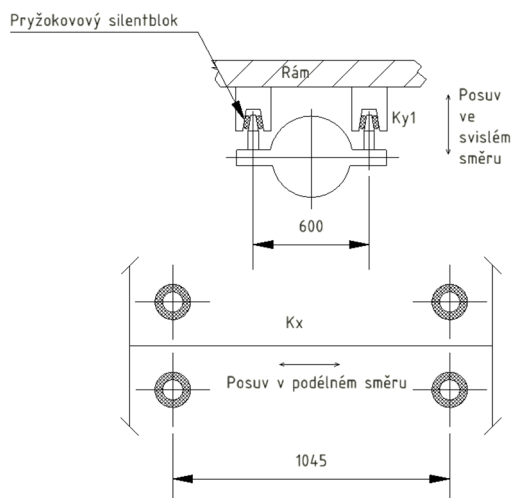
5.2 Konstrukční návrh vedení dvojkolí s vnitřními ložisky

Konstrukční návrh se zabývá i vedením dvojkolí s vnitřními ložisky. Z hlediska velké obsáhlosti bude nejprve proveden konstrukční návrh pro vedení dvojkolí a následně konstrukční návrh dvojkolí s vybraným vedením dvojkolí. Porovnávány budou 4 standardní provedení vedení dvojkolí v současnosti používané.

5.2.1 Varianta A – vedení pryžokovovými silentbloky

Pryžokovové vedení a primární vypružení je charakteristické daleko větší tvrdostí vypružení než ocelové vypružení. Svislá tuhost K_y je vyšší než u ocelové vinuté pružiny. Podélná a příčná tuhost jsou větší než tuhost svislá a přibližně se rovnají. Díky tlumicí vlastnosti pryže není nutné instalovat tlumič. Charakteristika vypružení je nelineární. Mezi výhody patří snadná montáž,

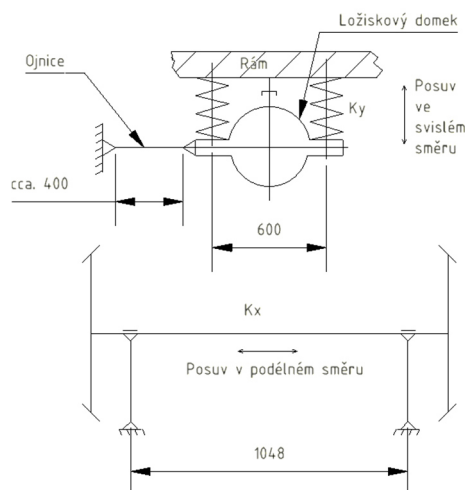
jedná se o nakupovanou položku. Mezi nevýhody patří, zhoršující se tlumící vlastnosti pryže vlivem stárnutí, tečení pryže.



Obrázek 30 Kinematické schéma pryžokovového vypružení (Vlastní zdroj)

5.3 Varianta B – vedení ojnicí a vypružení Flexi-coil pružinami

Primární vypružení je řešeno dvěma Flexi-coil pružinami na ložiskový domek. Svislá tuhost vypružení je relativně nízká, příčná tuhost je také nízká. Podélná tuhost je díky ojnicovému vedení poměrně vysoká. Podélná tuhost je dána použitým silentblokem v okách ojnice. Vinuté pružiny nemají tlumící schopnost, proto je nutný tlumič. Výhody jsou vysoká životnost vypružení, vysoký komfort vypružení, jedná se o měkké vypružení, možnost paralelního řazení více pružin a tím získání lomené charakteristiky vypružení. Nevýhody jsou složitější montáž, možný velký příčný posuv podvozku vůči dvojkolí. Dále Flexi-coil pružina musí být poměrně vysoká, aby byla možná dostatečná příčná tuhost, proto nároky na zástavbový prostor.

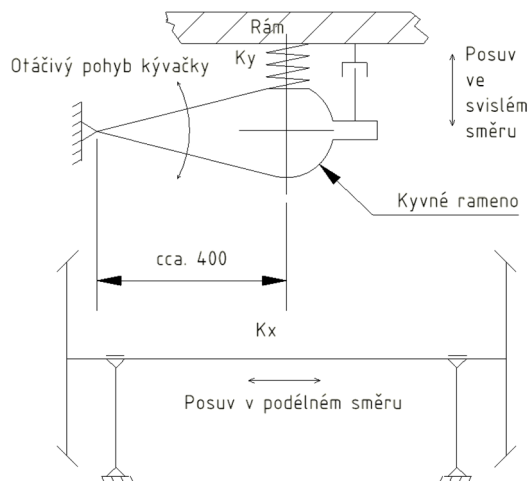


Obrázek 31 Kinematické schéma vedení ojnicí (Vlastní zdroj)

5.4 Varianta C – vedení kyvným ramenem

Primární vypružení je řešeno jednou flexi-coil pružinou nad ložiskovým domem, pokud to neumožní zástavbový prostor, použijí se paralelně řazené pružiny. Svislá tuhost vypružení je

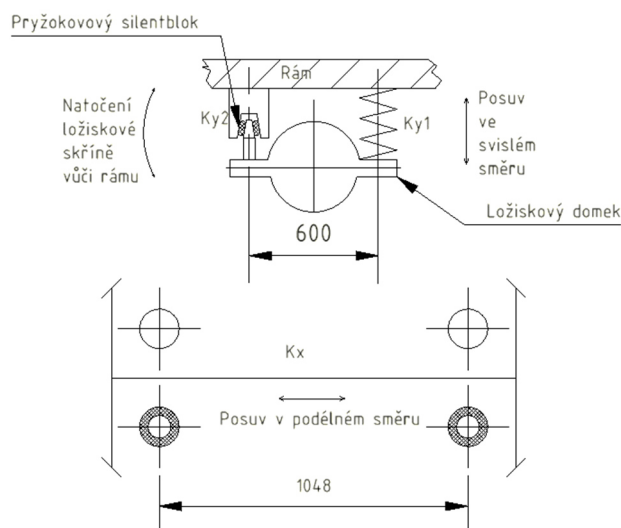
nížká. Příčná tuhost je vysoká. Silentblokem v uložení kývačky v rámu je dána vysoká podélná tuhost. Pružiny jsou nepříznivě namáhané na ohyb. Výhody jsou vysoká životnost vypružení, vysoký komfort vypružení, jedná se o měkké vypružení, možnost paralelního řazení více pružin a tím získání lomené charakteristiky vypružení. Kývačka zajišťuje pevnou vazbu mezi ní a dvojkolím a tím se podvozek nemůže vychýlit o větší hodnoty.



Obrázek 32 Kinematické schéma vedení kyvným ramenem (Vlastní zdroj)

5.5 Varianta D – vedení kvazikývačkou

Zde se jedná o nestandardní řešení, kde jsou použity dva pružící elementy, vinutá pružina a pryžokový silentblok. Tuhost obou elementů je nutné volit přibližně stejně, aby nedocházelo k natažení ložiskového domku a tím nepříznivému namáhání vinuté pružiny na ohyb. Svislá tuhost je dána součtem tuhostí vinuté pružiny a silentbloku, přenos podélných a příčných sil je prostřednictvím trnu v pryžovém vedení.



Obrázek 33 Kinematické schéma vedení kvazikývačkou (Vlastní zdroj)

5.6 Zhodnocení pružícího prvku

Tabulka 10 Výhody a nevýhody vinutých pružin

Vinuté pružiny	
Výhody	Nevýhody
Snadný návrh	Větší nároky na zástavbový prostor
Bezúdržbový provoz	Složitější montáž
Měkké vypružení	Nutný tlumící prvek
Vysoká životnost	Nutný prvek pro podélné vedení dvojkolí
V případě Flexi-Coil pružiny i příčná tuhost	
Možnost skládání pružin do sady a tím získání lomené charakteristiky vypružení	

Tabulka 11 Výhody a nevýhody pryžokovových pružin

Pryžokovová pružina	
Výhody	Nevýhody
Snadná montáž	V průběhu životnosti vedení klesající pružící schopnost pryže
Celý pryžokovový silentblok je možné koupit	Tečení pryže
Malý zástavbový prostor	Rozdílné vlastnosti pryže vlivem teploty
Tlumící schopnost pryže	Velice tvrdé vypružení
Podélné a příčné vedení	

5.7 Hodnocení navržených variant vedení dvojkolí

V prvním sloupci tabulky jsou hodnotící kritéria. V následujících sloupcích je bodové hodnocení jednotlivých variant. Hodnocení probíhá podle bodovací škály, kdy 1 je nejhorší a 4 nejlepší. Ideální řešení má v každém hodnotícím kritériu 4 body a normované hodnocení 1. Nejlepší varianta by se měla blížit nejvíce ideálnímu řešení. [6]

Tabulka 12 Hodnocení navržených variant

Hodnotící kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Varianta D	Ideální řešení
Nízká celk. hmotnost	4	2	3	3	4
Jednoduchost provedení	4	3	3	3	4
Prostorové nároky	3	4	4	3	4
Náročnost na výrobu, montáž, kontroly a opravy	3	4	4	3	4
Komfort vypružení	2	4	4	3	4
Tuhost vedení	3	3	4	3	4
Životnost	3	4	4	3	4
Umožnění lehké stavby rámu	3	3	4	3	4
Umožnění natáčení dvojkolí	3	3	3	4	4
Nároky na prostor mezi ložisky	4	3	4	4	4
Možnost použití co nejvíce nakupovaných a normalizovaných součástí	4	4	4	4	4
Ekonomické řešení	4	3	4	3	4
Konkurence schopnost	4	4	4	4	4
Vhodné pro malosériovou výrobu	4	4	4	4	4
Suma	48	48	53	47	64
Vyhodnocení	0,75	0,75	0,83	0,73	1

Vedení dvojkolí bude řešeno jako vedení kyvným ramenem. Mezi největší přednosti tohoto vedení je umožnění lehké stavby rámu podvozku a jeho ekonomické řešení. V podstatě výrobce podvozku si může objednat kompletní vedení dvojkolí např. od firmy Schäfler či SKF.

Dále vyházím z kapitoly 5.6 kde jsou shrnuty výhody a nevýhody vinutých a pryžokovových pružin. Hlavní nevýhodou pryžokovových pružin jsou rozdílné vlastnosti v průběhu životnosti vypružení a vysoká tvrdost vypružení. Výhodou je vlastní tlumení pryže. Jelikož vinuté pružiny nemají tlumící schopnosti, je zapotřebí instalace tlumiče.

5.8 Konstrukční návrh vedení dvojkolí s vnitřními ložisky s vedením kyvným ramenem

5.9 Morfologická matice

Morfologická matice umožňuje názorné zobrazení strategických cest. Řádky obsahují jednotlivé dílčí funkce a sloupce orgány. Tento postup je dobrým východiskem pro návržení jednotlivých variant. Pro sestavení matice byla využita předchozí rešerše, skripta či jiné materiály. [6]

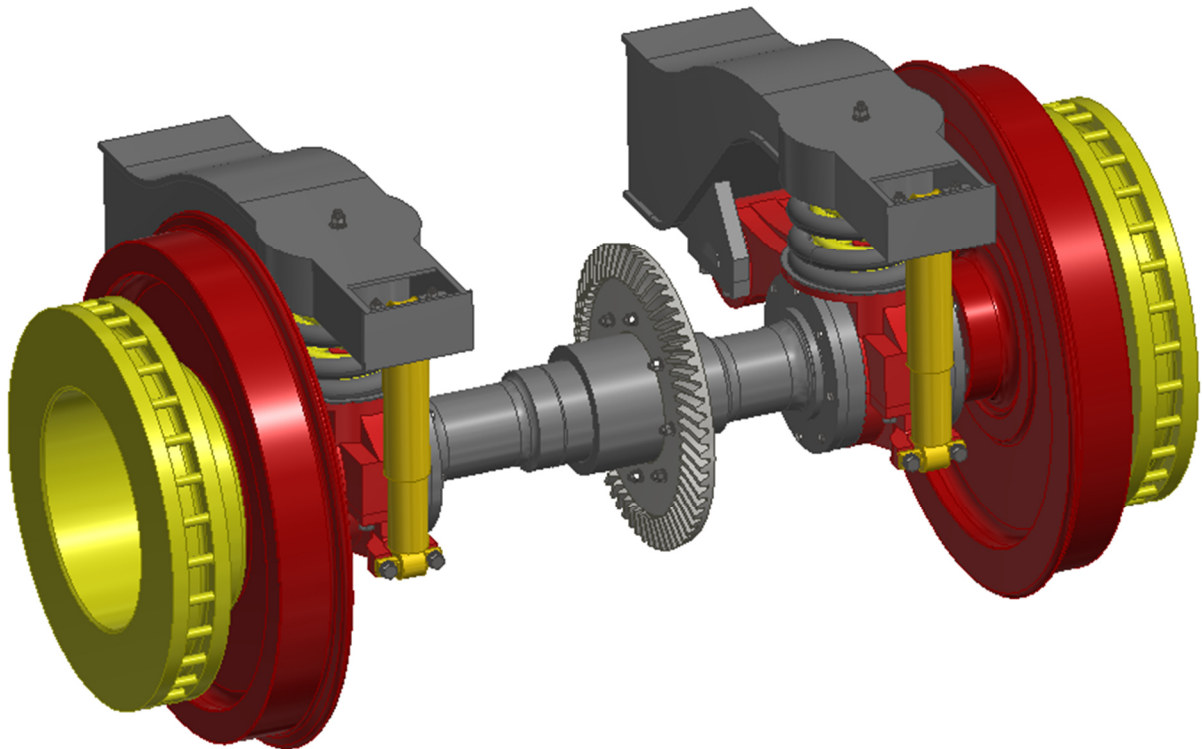
Tabulka 13 Morfologická matice

Pohon dvojkolí situovat	Uvnitř kol	Vně kol	
Typ pohonu dvojkolí zvolit a zajistit jeho přípravu na dvojkolí	Vnější pohon	<u>Závěškový</u> pohon	Podélně uložený motor
Přenos kroutícího momentu zajistit	Těsným perem	Drážkováním	Lisováním
Brzdění dvojkolí zajistit	Kotoučovou brzdou brzdit nápravu	Kotoučovou brzdou brzdit kola	Špalíkovou brzdou
Nápravu provést	Dutou	Plnou	
Nápravu tepelně upravit	Neupravovat	Indukčně kalit	
<u>Molybdenovat</u> sedla kol	Neupravovat	Ano	
Podporu rotačního typu zajistit	Válečkovou ložiskovou jednotkou	Kuželíkovou ložiskovou jednotkou	Soudečkovou ložiskovou jednotkou
Ložiskový domek utěsnit	Bezkontaktní těsnění	Štěrbinové těsnění	<u>Gufero</u>
Typ kola zvolit	Monoblokové	Obručové	Skládané pryží odpružené
	Varianta A	Varianta B	Varianta C

5.10 Jednotlivé varianty dvojkolí

5.10.1 Varianta A

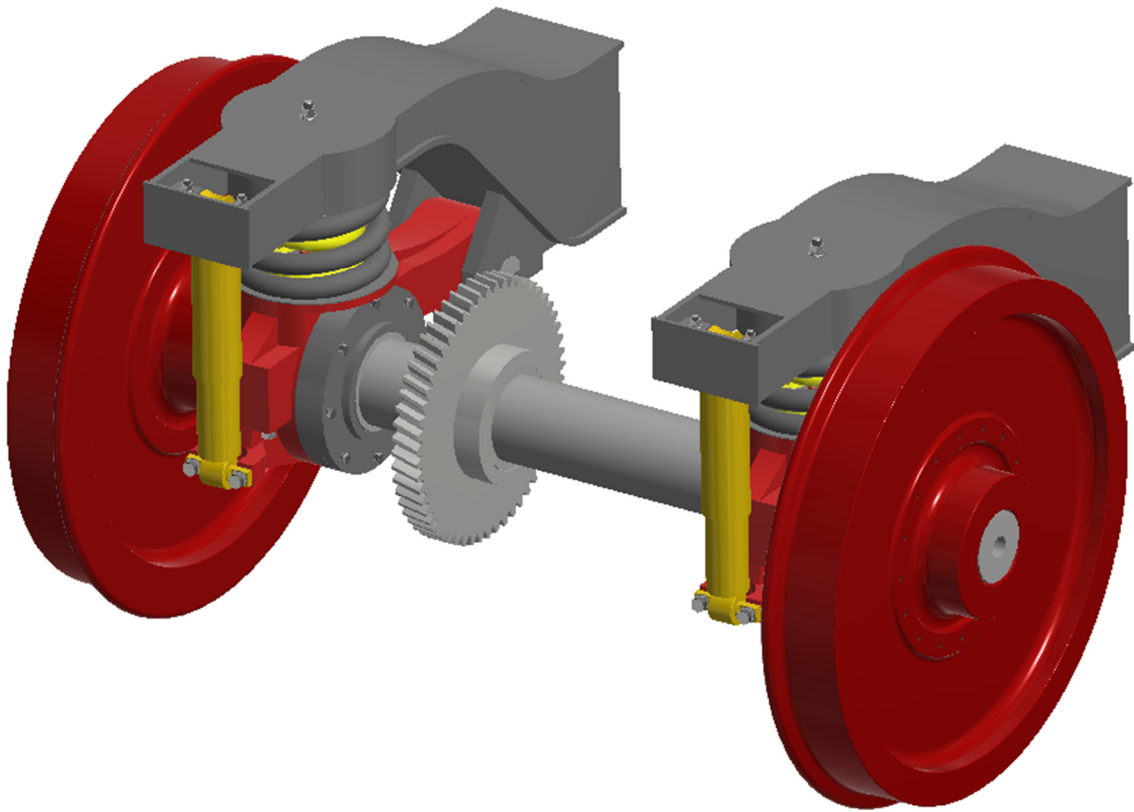
Varianta A disponuje pohonem přes převodovku spojenou s pohonem kloubovou hřídelí. Celý pohon je umístěn vně podvozek. Přenos kroutícího momentu je na plnou nápravu lisovný spoj. Z důvodu malého prostoru pro umístění brzdových kotoučů mezi koly jsou brzdové kotouče integrovány do kol. Z důvodu lepších mechanických vlastností nápravy je náprava indukčně kalena a sedla molybdenována. Molybdenování umožňuje vyšší počet demontáží kol. Náprava je vyrobena z materiálu EA4T. Ložisková jednotka je válečková. Těsnost prostoru ložisek zajišťuje bezkontaktní těsnění. Kolo je monoblokové. (Obrázek)



Obrázek 34 Varianta A (Vlastní zdroj)

5.10.2 Varianta B

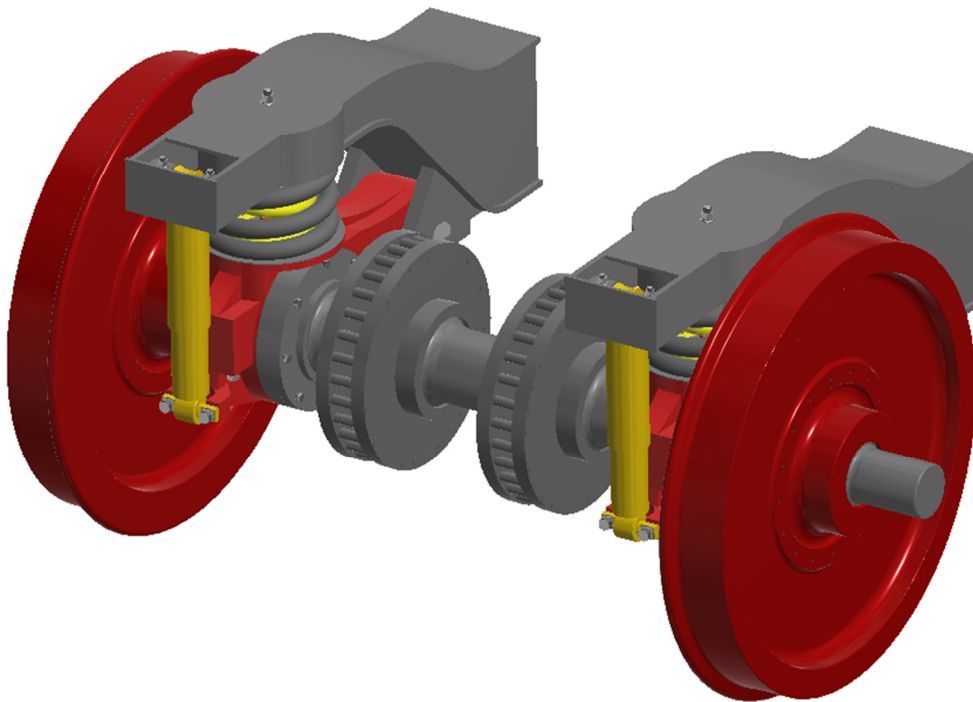
Variant B disponuje pohonem dvojkolí se závěskovým motorem. Přenos kroutícího momentu na dvojkolí je realizován přes těsné pero. Z důvodu malého prostoru pro brzdové kotouče situované uvnitř kol, je brždění dvojkolí vyřešeno špalíkovou brzdou každého kola. Náprava je plná a indukčně kalena, sedla molybdenována. Náprava je vyrobena z materiálů EA4T. Ložisková jednotka je kuželíková. Těsnění prostoru ložiskového domku je bezkontaktním těsněním. Kolo je monoblokové.



Obrázek 35 Varianta B (Vlastní zdroj)

5.10.3 Varianta C

Varianta C má pohon vyřešen oproti dvou předchozím variantám podélným motorem. Podélný motor se nachází vně rámu. Toto umístění umožní instalaci brzdových kotoučů uvnitř kola. Přenos kroutícího momentu na dvojkolí je zajištěn přes lisovaný spoj. Náprava je řešena jako plná, je indukčně kalena a sedla nápravy molybdenována. Ložisková jednotka je válečková. Těsnění prostoru ložisek je řešeno bezkontaktním těsněním. Do kola je namontován kompozitní tlumič hluku.



Obrázek 36 Varianta C (Vlastní zdroj)

5.11 Hodnocení navržených variant

V prvním sloupci tabulky jsou hodnotící kritéria. V následujících sloupcích je bodové hodnocení jednotlivých variant. Hodnocení probíhá podle bodovací škály, kdy 1 je nejhorší a 4 nejlepší. Ideální řešení má v každém hodnotícím kritériu 4 body a normované hodnocení 1. Nejlepší varianta by se měla blížit nejvíce ideálnímu řešení. [6]

Tabulka 14 Hodnocení navržených variant

Hodnotící kritérium	Varianta A	Varianta B	Varianta C	Ideální řešení
Nízká celk. hmotnost	4	2	3	4
Jednoduchost provedení	4	3	3	4
Prostorové nároky	4	3	3	4
Náročnost na výrobu, montáž, kontroly a opravy	4	3	3	4
Životnost ložiskové jednotky	4	4	4	4
Namáhání kol od brzdění	3	2	4	4
Umožnění lehké stavby rámu	3	3	4	4
Nižší hlučnost při průjezdu vozidla	3	4	4	4
Možnost použití co nejvíce nakupovaných a normalizovaných součástí	3	3	3	4
Ekonomické řešení	3	3	3	4
Konkurenční schopnost	4	3	4	4
Vhodné pro malosériovou výrobu	3	3	3	4
Suma	42	36	41	48
Vyhodnocení	0,875	0,75	0,85	1

Vítězná varianta je varianta A. Umístěním pohonu vně vozidlo, se získá větší prostor uvnitř ložisek. Ložiska je i možné vysunout blíže kolům, čím se získá jejich menší ohybové namáhání a tím vyšší životnost. Integrovaním brzdových kotoučů do kol se získá menší namáhání nápravy. Tím není nutnost velkých průměrů jednotlivých čepů.

6 Výpočty

6.1 Výpočet nápravy dle ČSN EN 13 103

Zadané parametry:

Hmotnost vozu	$m_v = 42500 \text{ kg}$
Hmotnost dvojkolí	$m_{dv} = 954 \text{ kg}$
Vzdálenost těžiště od středu nápravy	$h_1 = 800 \text{ mm}$
Vzdálenost středů ložisek	$2b = 1000 \text{ mm}$
Vzdálenost styčných kružnic	$2s = 1500 \text{ mm}$
Poloměr kola	$R = 450 \text{ mm}$
Hmotnost převodové skříně	$m_p = 250 \text{ kg (ZVOLENO)}$
Počet cestujících	$n_c = 150$

6.1.1 Rozbor hmotností

Hmotnost cestujících:

Dle normy připadá na jednoho cestujícího i se zavazadly 80 kg.

$$m_c = n_c \cdot 80 = 150 \cdot 80 = 12000 \text{ kg}$$

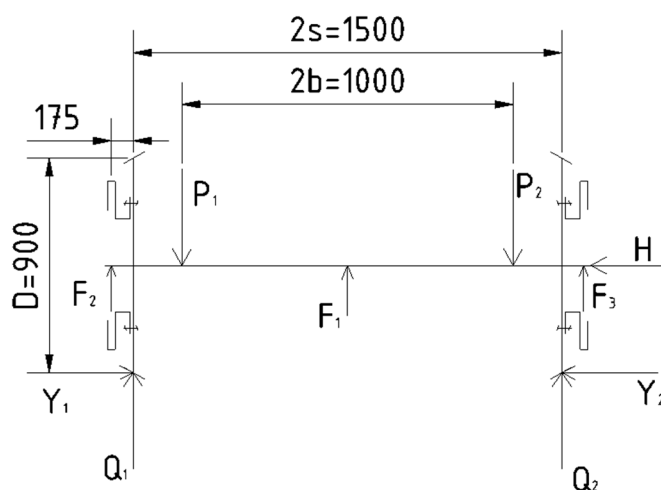
Hmotnost m_2 :

$$m_2 = m_{dv} + \frac{2}{3}m_p = 954 + \frac{2}{3}250 = 1381 \text{ kg}$$

Referenční hmotnost m_1 :

$$m_1 = \frac{m_v + 1,2 \cdot m_c}{i} - m_2 = \frac{42000 + 1,2 \cdot 12000}{8} - 1381 = 12119 \text{ kg}$$

6.1.2 Výpočet působících sil na řídicí nápravu



Obrázek 37 Schema působení sil (Vlastní zdroj - odvozeno dle Normy ČSN EN 13 103)

$$P_1 = \left(0,625 + 0,0875 \cdot \frac{h_1}{b}\right) \cdot m_1 \cdot g = \left(0,625 + 0,0875 \cdot \frac{800}{500}\right) \cdot 12119 \cdot 9,81 = 82391 \text{ N}$$

$$P_2 = \left(0,625 - 0,0875 \cdot \frac{h_1}{b}\right) \cdot m_1 \cdot g = \left(0,625 - 0,0875 \cdot \frac{800}{500}\right) \cdot 12119 \cdot 9,81 = 66222 \text{ N}$$

$$Y_1 = 0,35 \cdot m_1 \cdot g = 0,35 \cdot 12119 \cdot 9,81 = 41611 \text{ N}$$

$$Y_2 = 0,175 \cdot m_1 \cdot g = 0,175 \cdot 12119 \cdot 9,81 = 20806 \text{ N}$$

$$H = Y_1 - Y_2 = 20806 \text{ N}$$

$$Q_1 = \frac{1}{2s} \cdot [P_1 \cdot (b + s) + R \cdot (Y_1 - Y_2) - P_2 \cdot (b - s) - F_1 \cdot (2s - y_1) - F_2 \cdot 2s]$$

$$Q_1 = \frac{1}{2 \cdot 750} \cdot [P_1 \cdot (500 + 750) + 450 \cdot (Y_1 - Y_2) - P_2 \cdot (500 - 750) - F_1 \cdot (2 \cdot 750 - 750) - F_2 \cdot 1675]$$

$$Q_1 = 881975 \text{ N}$$

$$Q_2 = \frac{1}{2s} \cdot [P_2 \cdot (b + s) + R \cdot (Y_1 - Y_2) - P_1 \cdot (b - s) - F_1 \cdot y_1 - F_3 \cdot 2s]$$

$$Q_2 = \frac{1}{2 \cdot 750} \cdot [P_2 \cdot (500 + 750) + 450 \cdot (Y_1 - Y_2) - P_1 \cdot (500 - 750) - F_1 \cdot 750 - F_3 \cdot 2 \cdot 1675]$$

$$Q_2 = 61857 \text{ N}$$

Výpočet zatížení od převodovky:

$$F_1 = \frac{2}{3} m_p \cdot g = \frac{2}{3} \cdot 250 \cdot 9,81 = 1635 \text{ N}$$

Výpočet zatížení brzdových kotoučů

$$F_2 = F_3 = m_b \cdot g = 260 \cdot 9,81 = 2550 \text{ N}$$

$P_{1,2}$ – svislé síly působící na přitíženém, resp. odlehčeném ložiskovém čepu nápravy

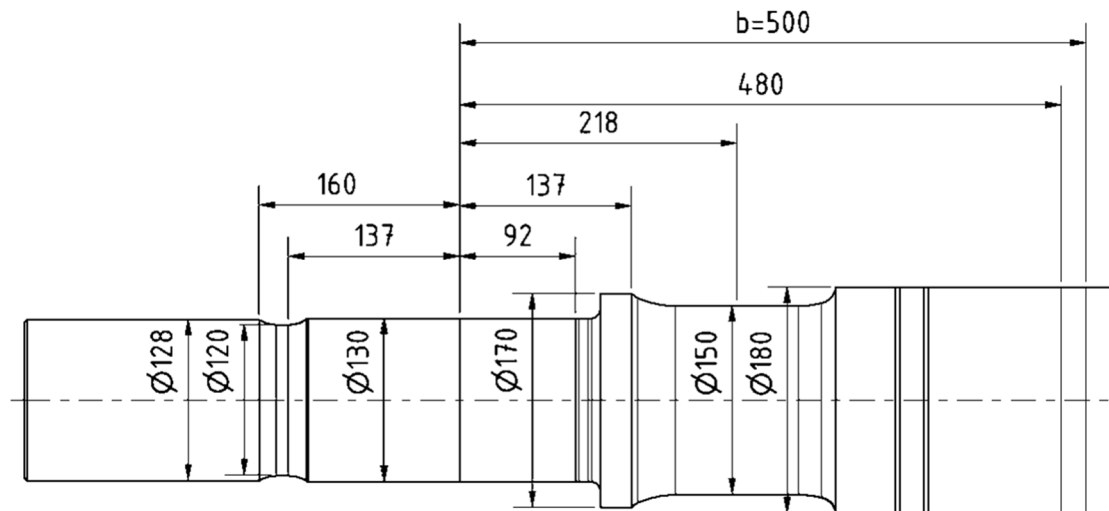
$Y_{1,2}$ – vodorovné příčné síly kolmé na osu kolejnice v přitíženém, resp. odlehčeném styku kolo-kolejnice

H – příčná síla jako rozdíl sil Y_1 a Y_2

$Q_{1,2}$ – vertikální reakce

6.1.3 Výpočet ohybových momentů

Ramena jednotlivých sil byla odměřena z modelu nápravy. Smysl momentu je kladný proti smyslu hodinových ručiček. Ramena jednotlivých momentů jsou zaznamenána v následujících tabulkách.



Obrázek 38 Schema průřezů nápravy (Vlastní zdroj)

Tabulka 15 Ramena síly P_1 ke zvolenému průřezu nápravy

p1	160 mm
p2	137 mm
p3	92 mm
p4	137 mm
p5	218 mm
p6	480 mm

Tabulka 16 Ramena síly Q_1 ke zvolenému průřezu nápravy

q1	90 mm
q2	113 mm
q3	343 mm
q4	387 mm
q1	468 mm
q2	730 mm

Tabulka 17 Ramena síly F_1 ke zvolenému průřezu nápravy

f1	660 mm
f2	638 mm
f3	407 mm
f4	363 mm
f5	282 mm
f6	20 mm

Tabulka 18 Ramena síly F_2 ke zvolenému průřezu nápravy

y1	265 mm
y2	288 mm
y3	518 mm
y4	562 mm
y5	643 mm
y6	905 mm

Ohybový moment k průřezu 1:

$$M_{xI} = -P_1 \cdot p_1 - Q_1 \cdot q_1 + F_1 \cdot f_1 + Y_1 \cdot R - F_2 \cdot y_1$$

$$M_{xI} = -82391 \cdot 160 - 881975 \cdot 90 + 1635 \cdot 660 + 41611 \cdot 450 - 2550 \cdot 265$$

$$M_{xI} = -3590667 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybový moment k průřezu 2:

$$M_{xII} = -P_1 \cdot p_2 - Q_1 \cdot q_2 + F_1 \cdot f_2 + Y_1 \cdot R - F_2 \cdot y_2$$

$$M_{xII} = -82391 \cdot 137 - 881975 \cdot 113 + 1635 \cdot 638 + 41611 \cdot 450 - 2550 \cdot 288$$

$$M_{xII} = -3603185 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybový moment k průřezu 3:

$$M_{xIII} = P_1 \cdot p_3 - Q_1 \cdot q_3 + F_1 \cdot f_3 + Y_1 \cdot R - F_2 \cdot y_3$$

$$M_{xIII} = 82391 \cdot 92 - 881975 \cdot 343 + 1635 \cdot 407 + 41611 \cdot 450 - 2550 \cdot 518$$

$$M_{xIII} = -3798772 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybový moment k průřezu 4:

$$M_{xIV} = P_1 \cdot p_4 - Q_1 \cdot q_4 + F_i \cdot f_4 + Y_1 \cdot R - F_2 \cdot y_4$$

$$M_{xIV} = 82391 \cdot 137 - 881975 \cdot 387 + 1635 \cdot 363 + 41611 \cdot 450 - 2550 \cdot 562$$

$$M_{xIV} = -3738348 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybový moment k průřezu 5:

$$M_{xV} = P_1 \cdot p_5 - Q_1 \cdot q_5 - F_i \cdot f_5 + Y_1 \cdot R - F_2 \cdot y_5$$

$$M_{xV} = 82391 \cdot 218 - 881975 \cdot 468 - 1635 \cdot 282 + 41611 \cdot 450 - 2550 \cdot 643$$

$$M_{xV} = -3778789 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Ohybový moment k průřezu 6:

$$M_{xVI} = P_1 \cdot p_6 - Q_1 \cdot q_6 - F_i \cdot f_6 + Y_1 \cdot R - F_2 \cdot y_6$$

$$M_{xVI} = 82391 \cdot 480 - 881975 \cdot 730 - 1635 \cdot 20 + 41611 \cdot 450 - 2550 \cdot 905$$

$$M_{xVI} = -3909596 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

6.1.4 Výpočet brzdící síly

$$P' = \frac{G \cdot g}{i} = \frac{54000 \cdot 9,81}{8} = 66218 \text{ N}$$

G ... hmotnost vozidla [kg]

i ... počet kol [-]

$\mu = 0,3$ [-] ... součinitel adheze

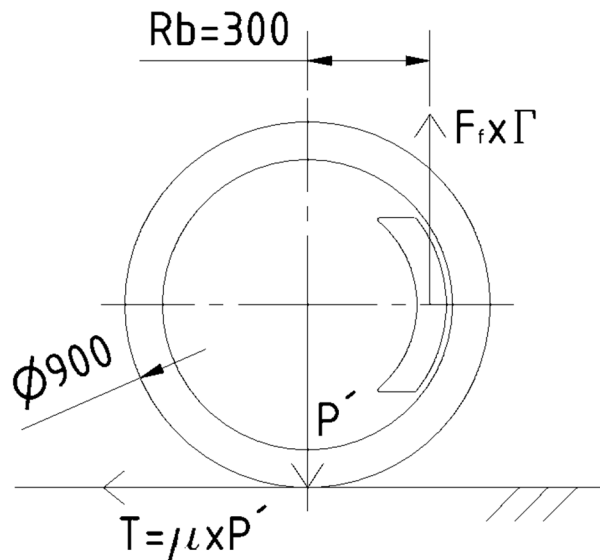
$R_b = 0,3$ [m]

Ze schématu vyplývá:

Γ ... součinitel tření pro brzdový kotouč

$\Gamma = 0,35$ [-]

Ze schématu vyplývá:



Obrázek 39 Skica – vysvětlení síly od brzdění (Vlastní zdroj)

$$F_f \cdot \Gamma \cdot R_b = P' \cdot \mu \cdot R$$

$$F_f = \frac{P' \cdot \mu \cdot R}{\Gamma \cdot R_b} = \frac{66217 \cdot 0,3 \cdot 450}{0,35 \cdot 320} = 79461 \text{ N}$$

Jelikož se jedná o dvojkolí s vnitřními ložisky, počítá se brzdový moment mezi rovinami styčných kružnic, brzdový kotouč je integrován do kola:

$$M'_x = F_f \cdot \Gamma \cdot (b - s - y) = 79461 \cdot 0,35 \cdot (1070 - 1500 - 175) = -1187591 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M'_z = F_f \cdot \Gamma \cdot (b - s - y) \cdot \frac{R_b}{R} = 79461 \cdot 0,35 \cdot (1070 - 1500 - 175) \cdot \frac{320}{450}$$

$$M'_z = -4966313 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M'_y = 0,3 \cdot P' \cdot R = 79461 \cdot 450 = 8939363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

6.1.5 Výpočet výsledného momentu MR k jednotlivým průřezům

Průřez 1

$$M_{x1} = M_{x1} + \sum M'_{x1} = -3590667 + (-11872591) = -15460658 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{y1} = \sum M'_{y1} = 8939363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{z1} = \sum M'_{z1} = -4966313 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{R1} = \sqrt{M_{x1}^2 + M_{y1}^2 + M_{z1}^2} = \sqrt{(-15460658)^2 + (8939363)^2 + (-4966313)^2}$$

$$M_{R1} = 18538345 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Průřez 2

$$M_{X2} = M_{x2} + \sum M'_{x2} = -3603185 + (-11872591) = -15475776 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Y2} = \sum M'_{y2} = 8939363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Z2} = \sum M'_{z2} = -4966313 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{R2} = \sqrt{M_{X2}^2 + M_{Y2}^2 + M_{Z2}^2} = \sqrt{(-15475776)^2 + (8939363)^2 + (-4966313)^2}$$

$$M_{R2} = 18549288 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Průřez 3

$$M_{X3} = M_{x3} + \sum M'_{x3} = -3798772 + (-11872591) = -15671363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Y3} = \sum M'_{y3} = 8939363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Z3} = \sum M'_{z3} = -4966313 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{R3} = \sqrt{M_{X3}^2 + M_{Y3}^2 + M_{Z3}^2} = \sqrt{(-15671363)^2 + (8939363)^2 + (-4966313)^2}$$

$$M_{R3} = 18712778 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Průřez 4

$$M_{X4} = M_{x4} + \sum M'_{x4} = -3738348 + (-11872591) = -15610939 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Y4} = \sum M'_{y4} = 8939363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Z4} = \sum M'_{z4} = -5363618 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{R4} = \sqrt{M_{X4}^2 + M_{Y4}^2 + M_{Z4}^2} = \sqrt{(-15610939)^2 + (8939363)^2 + (-5363618)^2}$$

$$M_{R4} = 18662205 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Průřez 5

$$M_{X5} = M_{x5} + \sum M'_{x5} = -3778789 + (-11872591) = -15651380 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Y5} = \sum M'_{y5} = 8939363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{Z5} = \sum M'_{z5} = -4966313 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{R5} = \sqrt{M_{X5}^2 + M_{Y5}^2 + M_{Z5}^2} = \sqrt{(-15651380)^2 + (8939363)^2 + (-4966313)^2}$$

$$M_{R5} = 18696046 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Průřez 6

$$M_{x6} = M_{x6} + \sum M'_{x6} = -3909596 + (-11872591) = -15782187 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{y6} = \sum M'_{y6} = 8939363 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{z6} = \sum M'_{z6} = -4966313 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{R6} = \sqrt{M_{x6}^2 + M_{y6}^2 + M_{z6}^2} = \sqrt{(-15782187)^2 + (8939363)^2 + (-4966313)^2}$$

$$M_{R6} = 18805688 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

6.1.6 Kontrola navržených rozměrů

Navržený materiál plné nápravy je EA4N

Tabulka 19 Nejvyšší přípustná napětí pro duté nápravy z oceli jakosti EA 4N

Součinitel bezpečnosti S	Oblast 1 N/mm ²	Oblast 2 N/mm ²
1,33	180	110
Oblast 1: dřík nápravy, čepy kluzných ložisek, přechodové části Oblast 2: sedla kol, brzdových kotoučů, valivých ložisek, těsnících kroužků		

Průřez 1

navržené rozměry

- $d_1 = 128$ [mm]
- $D_1 = 250$ [mm]
- $r_1 = 50$ [mm]

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{50}{128} = 0,39$$

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{250}{125} = 1,95$$

$$K = 1,07$$

K zjištěno z normy ČSN EN 13 103

$$\sigma_1 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR}{\pi \cdot d^3} = \frac{1,07 \cdot 32 \cdot 18538345}{\pi \cdot 128^3} = 96,4 \text{ MPa}$$

$$96,4 \text{ MPa} < 110 \text{ MPa}$$

Průřez 1 splňuje napětíovou podmínku pro materiál EA4N.

Průřez 2

navržené rozměry

- $d_1 = 120$ [mm]
- $D_1 = 130$ [mm]

- $r_1 = 15$ [mm]

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{15}{120} = 0,13$$

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{130}{120} = 1,08$$

$$K = 1,05$$

K zjištěno z normy ČSN EN 13 103

$$\sigma_1 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR}{\pi \cdot d^3} = \frac{1,05 \cdot 32 \cdot 18549288}{\pi \cdot 120^3} = 114,8 \text{ MPa}$$

$$114,8 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}$$

Průřez 2 splňuje napěťovou podmínku pro materiál EA4N.

Průřez 3

navržené rozměry

- $d_1 = 130$ [mm]

- $D_1 = 150$ [mm]

- $r_1 = 40$ [mm]

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{40}{130} = 0,3$$

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{150}{130} = 1,15$$

$$K = 1,05$$

K zjištěno z normy ČSN EN 13 103

$$\sigma_1 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR}{\pi \cdot d^3} = \frac{1,05 \cdot 32 \cdot 18712778}{\pi \cdot 130^3} = 91,1 \text{ MPa}$$

$$91,1 \text{ MPa} < 110 \text{ MPa}$$

Průřez 3 splňuje napěťovou podmínku pro materiál EA4N.

Průřez 4

navržené rozměry

- $d_1 = 170$ [mm]

- $D_1 = 200$ [mm]

- $r_1 = 15$ [mm]

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{15}{170} = 0,09$$

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{200}{170} = 1,18$$

$$K = 1,11$$

K zjištěno z normy ČSN EN 13 103

$$\sigma_1 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR}{\pi \cdot d^3} = \frac{1,11 \cdot 32 \cdot 18662205}{\pi \cdot 170^3} = 43 \text{ MPa}$$

$$43 \text{ MPa} < 110 \text{ MPa}$$

Průřez 4 splňuje napěťovou podmínku pro materiál EA4N.

Průřez 5

navržené rozměry

- $d_1 = 150$ [mm]
- $D_1 = 180$ [mm]
- $r_1 = 75$ [mm]

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{75}{150} = 0,5$$

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{180}{150} = 1,2$$

$$K = 1,04$$

K zjištěno z normy ČSN EN 13 103

$$\sigma_1 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR}{\pi \cdot d^3} = \frac{1,04 \cdot 32 \cdot 18696046}{\pi \cdot 150^3} = 58,7 \text{ MPa}$$

$$58,7 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}$$

Průřez 5 splňuje napěťovou podmínku pro materiál EA4N.

Průřez 6

navržené rozměry

- $d_1 = 180$ [mm]
- $D_1 = 230$ [mm]
- $r_1 = 15$ [mm]

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{15}{180} = 0,08$$

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{230}{180} = 1,27$$

$$K = 1,2$$

K zjištěno z normy ČSN EN 13 103

$$\sigma_1 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR}{\pi \cdot d^3} = \frac{1,2 \cdot 32 \cdot 18805688}{\pi \cdot 180^3} = 39,4 \text{ MPa}$$

$$39,4 \text{ MPa} < 110 \text{ MPa}$$

Průřez 2 splňuje napěťovou podmínku pro materiál EA4N. (2)

Tabulka 20 Shrnutí výsledků pro navrženou nápravu

Průřez	y [mm]	d [mm]	D [mm]	r [m m]	r/d	D/d	K	M _x [Nm]	M _x ' [Nm]	M _z ' [Nm]	M _y ' [Nm]	MR [Nm]	σ [MP a]	σ _{max} [MP a]
1	160	128	250	50	0,39	1,95	1,07	-3590	-11873	-4966	8393	18538	96,3	110
2	137	120	130	15	0,13	1,08	1,05	-3603	-11873	-4966	8393	18549	115	180
3	92	130	150	40	0,3	1,15	1,05	-3798	-11873	-4966	8393	18712	91	110
4	137	170	120	15	0,09	1,17	1,11	-3738	-11873	-4966	8393	18662	43	110
5	218	150	180	75	0,5	1,2	1,04	-3778	-11873	-4966	8393	18696	59	180
6	480	180	230	15	0,08	1,27	1,2	-3909	-11873	-4966	8393	18806	39,4	110

6.2 Návrh uložení železničního kola na sedlu kola nápravy

V této kapitole bude navržen a zkontrolován potřebný přesah pro nalisování kola na nápravu. Při jízdě, a především při brzdění vozidla se nesmí stát, aby se kolo na nápravě protočilo. Jak vyplývá ze schématu z normy ČSN EN 13103, je lisovaný spoj namáhán momentem M'_y . Moment M'_y je vypočten z předešlé kontroly navržené nápravy a rovná se 8939 Nm. Lisování bude provedeno za tepla.

Výpočet potřebného tlaku:

$$p_{potř} = \frac{2 \cdot M'_y}{\pi \cdot d_1^2 \cdot l_{st} \cdot f} \cdot s_f = \frac{2 \cdot 8939 \cdot 2,5}{\pi \cdot 128^2 \cdot 182 \cdot 0,15} = 22,6 \text{ MPa}$$

d_1 ... průměr čepu

l_{st} ... délka lisování

f ... součinitel tření, zvolen 0,15

s_f ... bezpečnost, zvolena 2,5

Výpočet potřebného přesahu:

$$\Delta d_{1potř} = \frac{d_1 \cdot p_{potř}}{E} \cdot (1 + C_2) = \frac{128 \cdot 22,6}{2,1 \cdot 10^5} \cdot (1 + 1,6) = 0,035 \text{ mm}$$

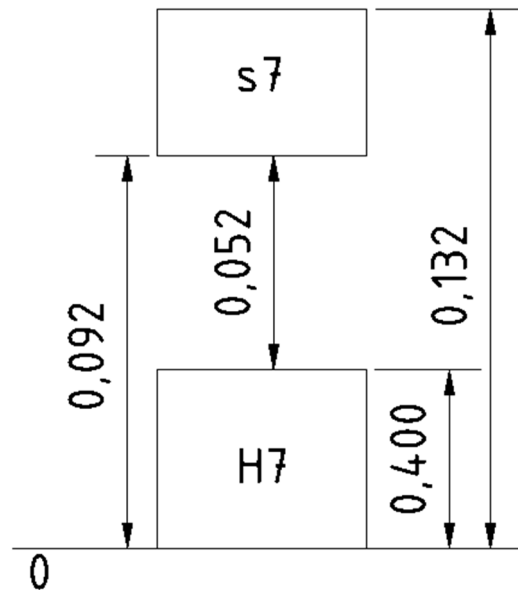
Konstanta C_2 :

$$C_2 = \frac{d_1^2 + D_2^2}{D_2^2 - d_1^2} = \frac{265^2 + 128^2}{265^2 - 128^2} = 1,6$$

D_2 ... vnější průměr náboje kola

Zvolení odpovídajícího uložení:

Navržené uložení je H7/s7



Obrázek 40 Uložení H7/s7 (Vlastní zdroj)

Výpočet maximálního tlaku při teoretickém maximálním přesahu:

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{1max}}{d_1} \cdot \frac{E}{C_2} = \frac{0,132 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{128 \cdot 1,6} = 83,3 \text{ MPa}$$

Kontrola náboje kola:

$$\sigma_{red} = p_{max} \cdot (C_2 + 1) = 83,3 \cdot (1,6 + 1) = 216,6 \text{ MPa}$$

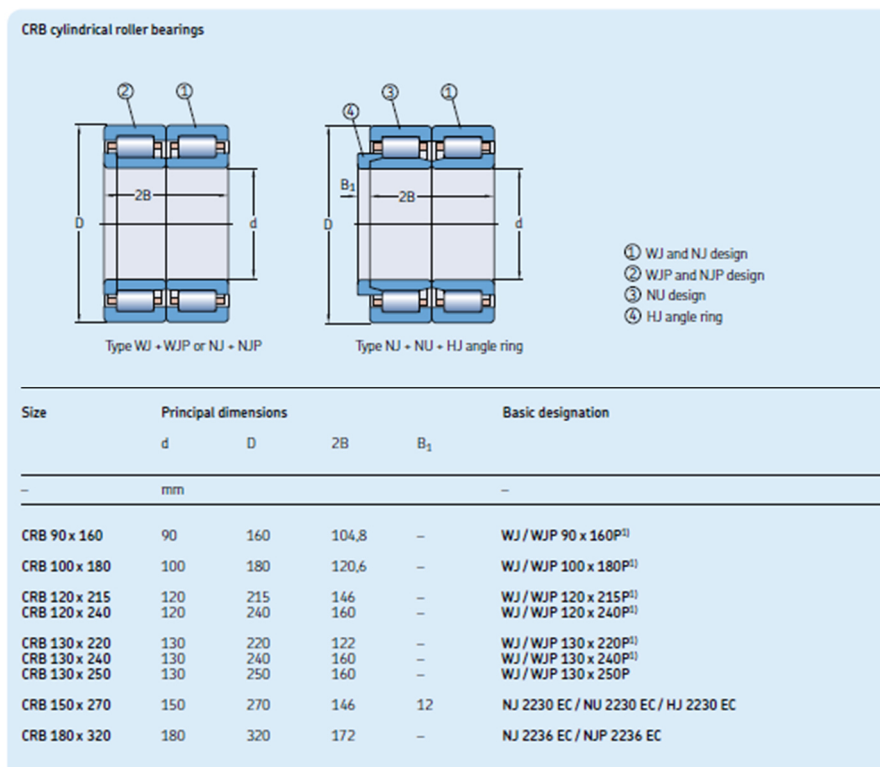
Materiál kola je zvolen ER9. Mez kluzu tohoto materiálu je 580 MPa. (2)

$$s_{naboje} = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} = \frac{580}{216,6} = 2,6$$

Navržený náboj splňuje požadovanou bezpečnost 2.

6.3 Výpočet nápravových ložisek

Dalším důležitým prvkem dvojkolí je ložisková jednotka. Ložisková jednotka se nachází mezi nápravou a ložiskovým domkem, který je součástí kývačky. Celý celek je spojený s rámem podvozku. Úkolem ložiskové jednotky je přenášet mezi dvojkolím a rámem podvozku. Ložisko musí vyhovět v mnoha parametrech. Stěžejní je trvanlivost ložiskové jednotky. Ta je pro vlakové jednotky 3×10^6 km. Dále musí mít nízký součinitel tření a co nejmenší průměr. Ložiskovou jednotku jsem vybral od firmy SKF s označením CRU 130x240. Jedná se o válečkovou ložiskovou jednotku.



Obrázek 41 Ložisková jednotka CRU [27]

Parametry ložiskové jednotky CRU 130x240 WJ/WJP [27]:

Dynamická únosnost $C = 1010 \text{ kN}$

Průměr vnitřního kroužku $d = 130 \text{ mm}$

Průměr vnějšího kroužku $D = 240 \text{ mm}$

Šířka $B = 160 \text{ mm}$

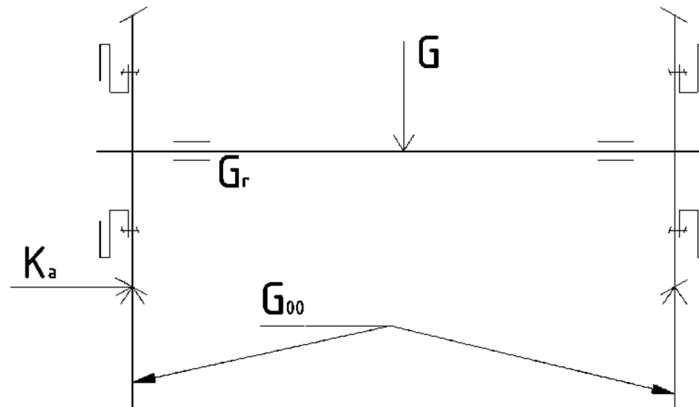
Výpočet trvanlivosti ložiskového domku je proveden dle katalogu SKF pro aplikaci v železniční technice. [28]

6.3.1 Vlastní kontrola trvanlivosti ložiska

Tabulka 21 Zadané parametry pro výpočet ložiska CRU 130x240

Zadané parametry		
Požadovaná trvanlivost	3000000	km
Hmotnost cestujících	12000	kg
Hmotnost vozu	42000	kg
Hmotnost kola	450	kg
Hmotnost nápravy	214	kg
Hmotnost brzdových kotoučů	260	kg
Hmotnost převodovky	250	kg
Průměr kola	820	mm

Výpočet statického zatížení



Obrázek 42 Síly působící na ložiskový domek (Vlastní zdroj)

Zatížení od dvojkolí:

$$G_r = \left(m_n + 2 \cdot m_k + m_b + \frac{2}{3} \cdot m_p \right) \cdot g = (214 \cdot +2 \cdot 450 + 260 + 166) \cdot 9,81 = 15,1 \text{ kN}$$

Statické nápravové zatížení:

$$G_{00} = \left(\frac{m_v + m_c}{4} \right) \cdot g = \left(\frac{42000 + 12000}{4} \right) \cdot 9,81 = 132,4 \text{ kN}$$

Statické zatížení ložiska:

$$G = \frac{G_{00} - G_r}{2} = \frac{132,4 - 15,1}{2} = 58,66 \text{ kN}$$

Stanovení potřebných faktorů:

Faktory jsou stanoveny na základě katalogu SKF pro regionální jednotku.

Faktor užitečného zatížení $f_0 = 0,95$

Dynamický radiální faktor $f_{rd} = 1,2$

Dynamický trakční faktor $f_{tr} = 1,1$ zvolen pro závěškový pohon

Dynamický axiální faktor $f_{ad} = 0,08$

Stanovení radiální a axiální síly na ložiskový domek:

Radiální síla na ložiskový domek:

$$K_r = f_0 \cdot f_{rd} \cdot f_{tr} \cdot G = 0,95 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 58,66 = 73,56 \text{ kN}$$

Axiální síla na ložiskový domek:

$$K_a = f_0 \cdot f_{ad} \cdot G = 0,95 \cdot 0,08 \cdot 58,66 = 4,5 \text{ kN}$$

Výpočet ekvivalentního zatížení:

Skutečná radiální síla:

$$F_r = \sqrt{K_r^2 + Q^2} = \sqrt{73,56^2 + 25,1^2} = 77,7 \text{ kN}$$

kde Q je přidané zatížení od kyvného ramene:

$$Q = \frac{K_a \cdot l_h}{l} = \frac{6,24 \cdot 450}{80} = 25,1 \text{ kN}$$

Rameno kyvného ramena $l_h = 450 \text{ mm}$

Vzdálenost mezi 2 centry zatížení $l = 80 \text{ mm}$

Skutečná axiální síla:

$$F_a = K_a = 4,458 \text{ kN}$$

Ekvivalentní zatížení:

$$P = F_r = 77,7 \text{ kN}$$

Výpočet kilometrové trvanlivosti ložiska CRU 130x240:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} = \left(\frac{1010}{77,7}\right)^{\frac{10}{3}} = 5160$$

$$L_{10s} = \frac{\pi \cdot L_{10} \cdot D_w}{1000} = \frac{\pi \cdot 5160 \cdot 0,82}{1000} = 13,3 \cdot 10^6 \text{ km}$$

Ložisko splňuje minimální trvanlivost $3 \times 10^6 \text{ km}$.

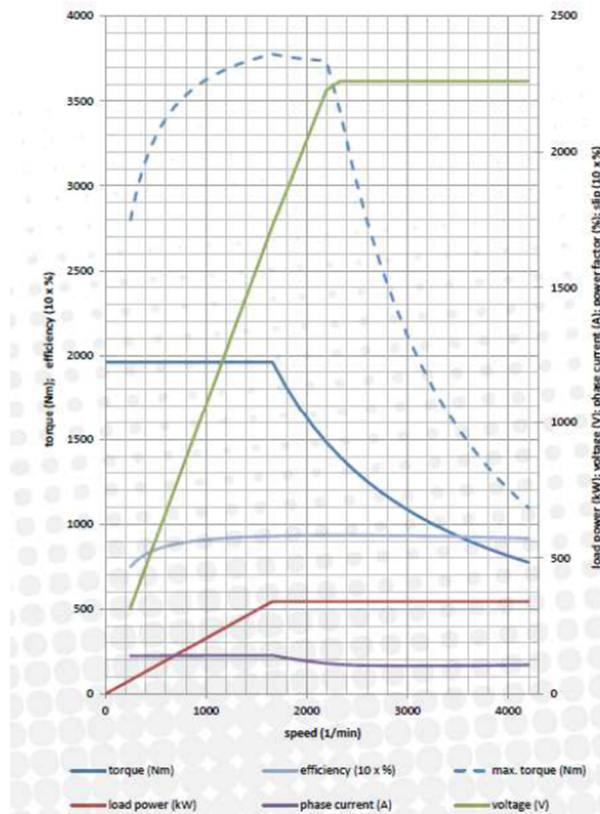
6.4 Návrh ozubeného kola lisovaného na nápravu

V této diplomové práci se zabývám pouze návrhem ozubeného kola, které je nalisováno na nápravě. Pohon je z důvodu malého prostoru mezi koly zvolen v konstrukčním návrhu vnější. Tudiž je nutno použít kuželového převodu.

Pro konstrukční návrh byl vybrán trakční motor Škoda ML 3942 K/4 o výkonu 340 kW.

Vlastnosti motoru [29]:

výkon	340 kW
jmenovitý proud	142 A
jmenovité napětí	1727 V
otáčky	1660 ot/min
max. otáčky	4200 ot/min
váha	775 kg
max. kroučící moment	3800 Nm



Obrázek 43 Charakteristika motoru ML 3942 K/4 – převzato [29]

Zadané hodnoty pro výpočet kuželového převodu:

Výkon motoru	$P = 340 \text{ kW}$
Průměr (opotřebovaného kola)	$D = 820 \text{ mm}$
rychlost	$v = 160 \text{ km/h}$
účinnost	$\eta = 0,98$
maximální otáčky motoru	$n = 4200 \text{ ot/min}$

Výpočet obvodu kola:

$$O = \pi \cdot D = \pi \cdot 0,82 = 2,57 \text{ m}$$

Otáčky na výstupu:

$$n_{výstup} = \frac{v}{O} = \frac{160 \cdot 10^3}{2,57 \cdot 60} = 1035 \text{ ot/min}$$

Teoretické převodové číslo:

$$i_{teor} = \frac{n_m}{n_{výstup}} = \frac{4200}{1035} = 4,05$$

Navržený počet zubů:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{61}{15}$$

Skutečné převodové číslo:

$$i_{sk} = 4,07$$

Skutečné otáčky na výstupu:

$$n_{výstup} = \frac{n_m}{i_{sk}} = \frac{4200}{4,07} = 1033 \text{ ot/min.}$$

Odchylka je cca. 0,1 %, což je v pořádku.

Výpočet vstupního momentu:

$$P_{vstup} = M_{kvstup} \cdot \omega = M_{kvstup} \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} \Rightarrow M_{kvstup} = \frac{P_{vstup} \cdot 60}{2\pi \cdot n} = \frac{340 \cdot 10^3 \cdot 60}{2\pi \cdot 4200}$$

$$M_{kvstup} = 773 \text{ Nm}$$

Výpočet výstupního momentu:

$$M_{kvýstup} = i_{sk} \cdot M_{kvstup} \cdot \eta = 4,07 \cdot 773 \cdot 0,96 = 3018 \text{ Nm}$$

Návrh rozměrů a pevnostní výpočet byl proveden v Autodesk Inventor.

Navržený modul $m = 9 \text{ mm}$

úhel sklonu zubů $\beta = 20^\circ$

Materiál byl zvolen 42MnV7 a boky zubů nitridovány.

Vypočtené bezpečnosti dle normy ISO 6336:1996 jsou:

$$s_H = 1,5$$

$$s_F = 3,3$$

$$s_{Hst} = 2,8$$

$$s_{Fst} = 4,7$$

6.5 Lisovaný spoj náboje ozubeného kola a náprava

Potřebný přesah je dimenzován na výstupní kroutící moment 3018 Nm. Lisování je provedeno za tepla.

Výpočet potřebného tlaku:

$$p_{potř} = \frac{2 \cdot M_{kvýstup}}{\pi \cdot d_6^2 \cdot l_{st} \cdot f} \cdot s_f = \frac{2 \cdot 3018 \cdot 2,5}{\pi \cdot 180^2 \cdot 200 \cdot 0,15} = 22,6 \text{ MPa}$$

D_6 ... průměr čepu

l_{st} ... délka lisování

f ... součinitel tření, zvolen 0,15

s_f ... bezpečnost, zvolena 2,5

Výpočet potřebného přesahu:

$$\Delta d_{potř} = \frac{d_6 \cdot p_{potř}}{E} \cdot (1 + C_2) = \frac{180 \cdot 7,6}{2,1 \cdot 10^5} \cdot (1 + 3,15) = 0,019 \text{ mm}$$

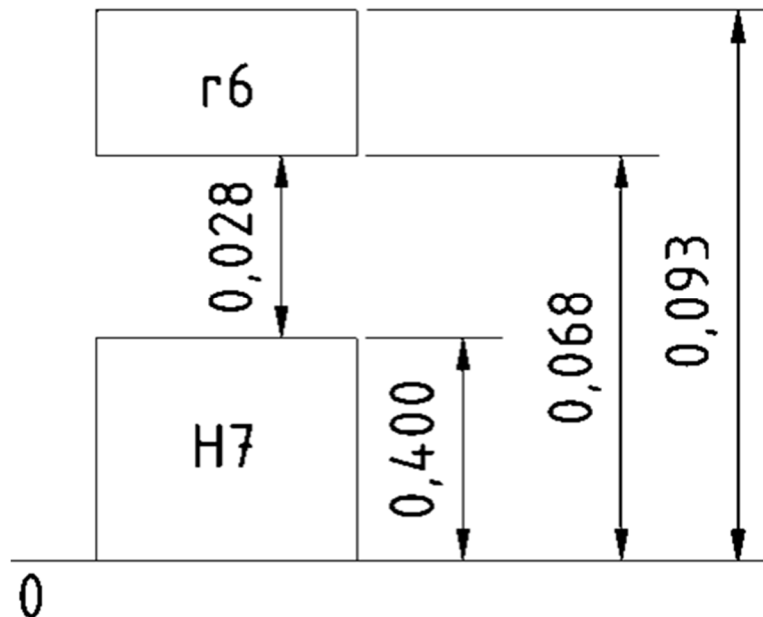
Konstanta C_2 :

$$C_2 = \frac{d_6^2 + D_6^2}{D_6^2 - d_6^2} = \frac{250^2 + 180^2}{250^2 - 180^2} = 3,15$$

d_8 ... vnější průměr náboje ozubeného kola

Zvolení odpovídajícího uložení:

Navržené uložení je H7/r6



Obrázek 44 Uložení H7/r6 (Vlastní zdroj)

Výpočet maximálního tlaku při teoretickém maximálním přesahu:

$$p_{max} = \frac{\Delta d_{6max}}{d_6} \cdot \frac{E}{C_2} = \frac{0,093 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{180 \cdot 3,15} = 26,1 \text{ MPa}$$

Kontrola náboje kola:

$$\sigma_{red} = p_{max} \cdot (C_2 + 1) = 26,1 \cdot (3,15 + 1) = 108,5 \text{ MPa}$$

Materiál náboje kola je zvolen S355NL. Označení NL znamená, že materiál má vrubovou houževnatost KV = 27J do teploty -50°C. Mez kluzu tohoto materiálu je 345 MPa. [30]

$$s_{naboje} = \frac{\sigma_k}{\sigma_{red}} = \frac{345}{108,5} = 3,17$$

Navržený náboj splňuje požadovanou bezpečnost 2.

6.6 Rovnice svislé a příčné tuhosti pro vinutou pružinu

Svislá tuhost pro vypružení vinutými pružinami:

$$F_{pro\ i\ pružin} = \frac{(m - m_1) \cdot g}{i} = \frac{(21000 - x) \cdot 9,81}{i} =$$

$$k_y = \frac{F_{\text{pro } i \text{ pružin}}}{z_{\text{stat}}} =$$

m ... zatížení na nápravu

m_l ... hmotnost neodpružených hmot

pro případ duplexních či více paralelně řazených pružin se musí splnit podmínka:

$$\frac{D}{d} = \text{rovná pro všechny pružiny}$$

D ... střední průměr pružiny

d ... průměr drátu

$$F_1 : F_2 : \dots : F_n = d_1 : d_2 : \dots : d_n$$

$$k_{y1} = \frac{F_1}{z_{\text{stat}}} =$$

$$k_{y2} = \frac{F_2}{z_{\text{stat}}} =$$

$$k_{yn} = \frac{F_n}{z_{\text{stat}}} =$$

Příčná tuhost podle Grosse:

Nejprve smyková tuhost:

$$k_s = \frac{E \cdot H \cdot I}{\pi \cdot n \cdot R^3}$$

Průřezový modul v krutu:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Ohybová tuhost:

$$k_o = \frac{H_{oip}}{\pi \cdot n \cdot R \cdot \left(\frac{1}{E \cdot I} + \frac{1}{G \cdot I_p} \right)}$$

Průřezový modul v ohybu:

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$$

Součinitel alpha:

$$\alpha = \sqrt{\frac{P_{ip}}{k_o \cdot \left(1 - \frac{P_{ip}}{k_s} \right)}}$$

Příčná tuhost:

$$k_x = \frac{1}{\frac{1}{F} \cdot \left(\frac{2}{\alpha} \cdot \tan \left(\alpha \cdot \frac{H_{0ip}}{2} \right) - H_{0ip} \right) + \frac{P_{ip}}{k_s}}$$

H_{0ip} ... volná délka pružiny

G ... modul pružnosti ve smyku

E ... modul pružnosti v tahu

P_{ip} ... síla na pružinu pro prázdný vůz

6.7 Návrh primárního vypružení

Vstupní parametry			
Max. hmotnost jednotky	m_c	54000	kg
Hmotnost prázdné jednotky	m_{pr}	42000	kg
Hmotnost podvozku	m_p	5500	kg
Hmotnost dvojkolí	m_{dv}	1114	kg
Hmotnos CRU	m_l	100	kg
Max. zatížení na nápravu	m	13500	kg
Materiál pružiny	-	15 260	-
Dovolené napětí v krutu	τ_{dov}	834	MPa
Modul pružnosti ve smyku	G	78500	MPa
Hmotnost cestujících	m_{uz}	12000	kg
Užitečné stlačení	z_u	65	mm
Dynamické stlačení	z_{dyn}	20	mm

6.7.1 Výpočet vypružení

Hmotnost rámu podvozku:

$$m_r = m_p - 2 \cdot m_{dv} - 4 \cdot m_{lož} = 5500 - 2 \cdot 1114 - 4 \cdot 100 = 2872 \text{ kg}$$

Hmotnost skříně vozidla:

$$m_s = m_c - 2 \cdot m_p = 42000 - 2 \cdot 5500 = 31000 \text{ kg}$$

Poměr tuhostí primárního a sekundárního vypružení pro prázdný vůz:

$$y_p = 2 + \frac{2 \cdot m_r}{m_s} = 2 + \frac{2 \cdot 2872}{31000} = 2,19$$

Poměr tuhostí primárního a sekundárního vypružení pro ložený vůz:

$$y_l = 2 + \frac{2 \cdot m_r}{m_s + m_u} = 2 + \frac{2 \cdot 2872}{31000 + 12000} = 2,13$$

Průměrná hodnota tuhostí:

$$\bar{y} = \frac{y_p + y_l}{2} = \frac{2,19 + 2,13}{2} = 2,16$$

Celková tuhost primárního a sekundárního vypružení:

$$k_c = \frac{m_{uz} \cdot g}{z_u} = \frac{12000 \cdot 9,81}{0,065} = 1811000 \text{ N/m}$$

Celková tuhost sekundárního vypružení:

$$k_{2c} = \frac{(1 + \bar{y}) \cdot k_c}{\bar{y}} = \frac{(1 + 2,14) \cdot 1962}{2,14} = 2649750 \text{ N/m}$$

Celková tuhost primárního vypružení:

$$k_{1c} = \bar{y} \cdot k_{2c} = 2,16 \cdot 2649750 = 5722000 \text{ N/m}$$

Tuhost jedné pružiny primárního vypružení:

$$k_1 = \frac{k_{1c}}{4} = \frac{5722000}{4} = 715250 \text{ N/m}$$

Výpočet vlastní frekvence prázdného vozu:

$$f_p = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_c}{m_s}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1811000}{31000}} = 1,21 \text{ Hz}$$

Výpočet vlastní frekvence loženého vozu:

$$f_l = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_c}{m_s + m_{uz}}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1811000}{31000 + 12000}} = 1,03 \text{ Hz}$$

Síla na jednu pružinu pro prázdný vůz

$$P_p = \frac{m_s + 2 \cdot m_r}{8} \cdot g = \frac{31000 + 2 \cdot 2872}{8} \cdot 9,81 = 45057 \text{ N}$$

Síla na jednu pružinu pro ložený vůz

$$P_{l1} = \frac{m_s + 2 \cdot m_r + m_{uz}}{8} \cdot g = \frac{31000 + 2 \cdot 2872 + 12000}{8} \cdot 9,81 = 59772 \text{ N}$$

Stlačení pružin pod prázdným vozem

$$z_p = \frac{P_p}{k_1} = \frac{45057}{715250} = 0,0629 \text{ m}$$

Stlačení pružin pod loženým vozem

$$z_l = \frac{P_l}{k_1} = \frac{59772}{715250} = 0,0836 \text{ m}$$

Užitečné stlačení pružiny:

$$z_{už} = z_l - z_p = 0,0836 - 0,0629 = 0,0207 \text{ m} = 20,7 \text{ mm}$$

Výpočet dovoleného napětí v krutu při dynamickém namáhání:

$$\tau_{dov} = 834 \text{ MPa}$$

$$z_{dyn} = 20 \text{ mm}$$

$$\tau_{Dl} = \tau_{dov} \cdot \frac{z_l}{z_l + z_{dyn}} = 834 \cdot \frac{62}{83,6 + 20} = 672 \text{ MPa}$$

6.7.2 Pevnostní analýza pružiny

Po konzultaci ve ŠKODA TRANSPORTATION a.s. bylo rozhodnuto jít cestou vedení dvojkolí s kyvným ramenem a ocelovými vinutými pružinami. Z hlediska zástavbových rozměrů je nutné jít cestou duplexní pružiny, jinými slovy paralelní řazení 2 vinutých pružin. V pevnostní analýze jsem postupoval tak, že jsem si v softwaru Microsoft Excel vytvořil jednoduchou tabulku pro návrh pružiny.

Jelikož se jedná o tři paralelně řazené pružiny je nutné sílu a tuhost na jednu pružinu rozdělit na 2pružiny. Výpočet je proveden takto:

P_{1ii} ... síla působící na jednotlivou pružinu

d_i ... průměr drátu

R_i ... střední poloměr pružiny

$$P_{111} : P_{112} = \frac{d_1^3}{R_1} : \frac{d_2^3}{R_2} = 481,3 : 225,3$$

Suma poměrů:

$$\sum = 706,7$$

Síla na první pružinu:

$$P_{111} = \frac{P_{l1} \cdot 481,3}{706,7} = \frac{59772 \cdot 481,3}{706,7} = 40712 \text{ N}$$

Síla na druhou pružinu:

$$P_{112} = \frac{P_{l1} \cdot 225,3}{706,7} = \frac{59772 \cdot 225,3}{706,7} = 19059 \text{ N}$$

Tuhost první pružiny:

$$k_{11} = \frac{k_1 \cdot 481,3}{706,7} = \frac{715 \cdot 481,3}{706,7} = 487 \text{ N/mm}$$

Tuhost druhé pružiny:

$$k_{12} = \frac{k_1 \cdot 225,3}{706,7} = \frac{715 \cdot 225,3}{706,7} = 228 \text{ N/mm}$$

6.7.2.1 Návrh vnější pružiny:

Průměr drátu pružiny $d_1 = 38 \text{ mm}$

Střední průměr pružiny $D_1 = 228 \text{ mm}$

Poměr D_1/d_1 :

$$i = \frac{D_1}{d_1} = \frac{228}{38} = 6$$

Součinitel vypružení dle Wahla:

$$k_{w1} = \frac{4 \cdot i - 1}{4 \cdot i - 4} = \frac{4 \cdot 6 - 1}{4 \cdot 6 - 4} = 1,2525$$

Napětí v pružině:

$$\tau_1 = \frac{16 \cdot P_{111} \cdot R \cdot K}{\pi \cdot d_1^3} = \frac{16 \cdot 40712 \cdot 114 \cdot 1,2525}{\pi \cdot 38^3} = 539,6 \text{ MPa}$$

Vypočtené napětí je nižší než dovolené napětí v krutu při dynamickém zatížení:

$$\tau_{D1} \geq \tau_1$$

$$673 \geq 539,6$$

Maximální dynamické namáhání:

$$z_{dyn1} = \frac{z_{1l} \cdot \tau_{dov}}{\tau_1} = \frac{83,36 \cdot 834}{673} = 31,8 \text{ mm}$$

Počet činných závitů:

$$n_1 = \frac{G \cdot d_1^4}{8 \cdot k_{11} \cdot D_1^3} = \frac{7,85 \cdot 10^{10} \cdot 38^4}{8 \cdot 487 \cdot 228^3} = 3,5$$

Volná délka pružiny:

$$H_{01} = (n_1 - n'_1) \cdot d_1 + 0,1 \cdot n_1 \cdot d_1 + z_{dyn1} = (3,5 - 1,5) \cdot 38 + 0,1 \cdot 3,5 \cdot 38 + 31,8$$

$$H_{01} = 235,1 \text{ mm}$$

Volná délka pružiny pod prázdným vozem:

$$H_{01p} = H_{01} - z_p = 235,1 - 62,3 = 172,1 \text{ mm}$$

Volná délka pružiny pod loženým vozem:

$$H_{01l} = H_{01} - z_l = 235,1 - 82,6 = 151,1 \text{ mm}$$

6.7.2.2 Kontrola vůle mezi závity

$$l = H_{01} - (z_{už} + z_{dyn1}) = 235,1 - (20,6 + 31,8) = 182,7 \text{ mm}$$

$$l' = (n + 1,5 + 1 - 1,5) \cdot z_{dyn1} = (3,5 + 1,5 + 1 - 1,5) \cdot 31,8 = 143,1 \text{ mm}$$

Vůle mezi závity v:

$$v = \frac{l - l'}{n} = \frac{182,7 - 143,1}{3,5} = 11,3 \text{ mm}$$

6.7.2.3 Návrh vnitřní pružiny:

Průměr drátu pružiny $d_2 = 26 \text{ mm}$

Střední průměr pružiny $D_2 = 156 \text{ mm}$

Poměr D_1/d_1 :

$$i = \frac{D_2}{d_2} = \frac{156}{26} = 6$$

Součinitel vypružení dle Wahla:

$$k_{w2} = \frac{4 \cdot i - 1}{4 \cdot i - 4} = \frac{4 \cdot 6 - 1}{4 \cdot 6 - 4} = 1,2525$$

Napětí v pružině:

$$\tau_2 = \frac{16 \cdot P_{1l2} \cdot R \cdot K}{\pi \cdot d_2^3} = \frac{16 \cdot 19059 \cdot 78 \cdot 1,2525}{\pi \cdot 26^3} = 539,5 \text{ MPa}$$

Vypočtené napětí je nižší než dovolené napětí v krutu při dynamickém zatížení:

$$\tau_{Dl} \geq \tau_2$$

$$693 \text{ MPa} \geq 539,1 \text{ MPa}$$

Maximální dynamické namáhání:

$$z_{dyn2} = \frac{z_{1l} \cdot \tau_{dov}}{\tau_2} = \frac{83,6 \cdot 834}{539,1} = 31,8 \text{ mm}$$

Počet činných závitů:

$$n_2 = \frac{G \cdot d_1^4}{8 \cdot k_{12} \cdot D_1^3} = \frac{7,85 \cdot 10^{10} \cdot 26^4}{8 \cdot 228 \cdot 156^3} = 5,2$$

Volná délka pružiny:

$$H_{02} = (n_2 - n_2') \cdot d_2 + 0,1 \cdot n_2 \cdot d_2 + z_{dyn} = (5,2 - 1,5) \cdot 26 + 0,1 \cdot 5,2 \cdot 26 + 31,8$$

$$H_{02} = 219,5 \text{ mm}$$

Volná délka pružiny pod prázdným vozem:

$$H_{02p} = H_{02} - z_p = 266,9 - 117,7 = 156,5 \text{ mm}$$

Volná délka pružiny pod loženým vozem:

$$H_{02l} = H_{02} - z_l = 266,9 - 143,2 = 135,9 \text{ mm}$$

6.7.2.4 Kontrola vůle mezi závity

$$l_2 = H_{01} - (z_{už} + z_{dyn1}) = 266,9 - (20,6 + 31,8) = 167 \text{ mm}$$

$$l_2' = (n + 1,5 + 1 - 1,5) \cdot z_{dyn1} = (5,2 + 1,5 + 1 - 1,5) \cdot 30,6 = 124 \text{ mm}$$

Vůle mezi závity v_2 :

$$v = \frac{l_2 - l_2'}{n_2} = \frac{167 - 124}{5,2} = 8,2 \text{ mm}$$

6.8 Výpočet příčné tuhosti podle Grosse

Při výpočtu příčné tuhosti jsou použity pro jednotku síly kilopondy a pro jednotky rozměrů centimetry.

6.8.1 Výpočet příčné tuhosti pro vnější pružinu

Výpočet smykové tuhosti:

$$I_1 = \frac{\pi \cdot d_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3,8^4}{64} = 10,2 \text{ cm}^4$$

$$k_{s1} = \frac{E \cdot H_{01p} \cdot I_1}{\pi \cdot n_1 \cdot R_1^3} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 17,2 \cdot 10,2}{\pi \cdot 3,5 \cdot 11,4^3} = 2951084 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

Výpočet ohybové tuhosti:

$$I_{p1} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 3,8^4}{32} = 20,5 \text{ cm}^4$$

$$k_{o1} = \frac{H_{01p}}{\pi \cdot n \cdot R \cdot \left(\frac{1}{E \cdot I} + \frac{1}{G \cdot I_p} \right)} = \frac{17,2}{\pi \cdot 3,5 \cdot 10,2 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 10^6 \cdot 10,2} + \frac{1}{7,85 \cdot 10^5 \cdot 20,5} \right)}$$

$$k_{o1} = 12624532 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

Výpočet součinitele α_1 :

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{P_{1p}}{k_{o1} \cdot \left(1 - \frac{P_{1p}}{k_{s1}} \right)}} = \sqrt{\frac{4505}{12624532 \cdot \left(1 - \frac{4505}{2951084} \right)}} = 0,015$$

Výpočet ohybové příčné tuhosti:

$$k_{x1} = \frac{1}{\frac{1}{P_{1p}} \cdot \left(\frac{2}{\alpha_1} \cdot \tan \left(\alpha \cdot \frac{H_{01p}}{2} \right) - H_{01p} \right) + \frac{P_{1p}}{k_{s1}}} =$$

$$k_{x1} = \frac{1}{\frac{1}{4505} \cdot \left(\frac{2}{0,015} \cdot \tan \left(0,015 \cdot \frac{17,2}{2} \right) - 17,2 \right) + \frac{4505}{2531851,852}} =$$

$$k_{x1} = 1,77 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

6.8.2 Výpočet příčné tuhosti pro vnitřní pružinu

Výpočet smykové tuhosti:

$$I_2 = \frac{\pi \cdot d_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot 2,6^4}{64} = 2,24 \text{ cm}^4$$

$$k_{s2} = \frac{E \cdot H_{02p} \cdot I_2}{\pi \cdot n_2 \cdot R_2^3} = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot 15,6 \cdot 2,24}{\pi \cdot 5,2 \cdot 7,8^3} = 578560$$

Výpočet ohybové tuhosti:

$$I_{p2} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \frac{\pi \cdot 2,6^4}{32} = 4,5 \text{ cm}^4$$

$$k_{o2} = \frac{H_{02p}}{\pi \cdot n_2 \cdot R_2 \cdot \left(\frac{1}{E \cdot I_2} + \frac{1}{G \cdot I_{p2}} \right)} = \frac{15,6}{\pi \cdot 5,2 \cdot 7,8 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 10^6 \cdot 2,24} + \frac{1}{7,85 \cdot 10^5 \cdot 4,5} \right)}$$

$$k_{o1} = 2475043$$

Výpočet součinitele α_2 :

$$\alpha_2 = \sqrt{\frac{P_{2p}}{k_{o2} \cdot \left(1 - \frac{P_{2p}}{k_{s2}}\right)}} = \sqrt{\frac{1436}{2475043 \cdot \left(1 - \frac{1436}{578560}\right)}} = 0,024$$

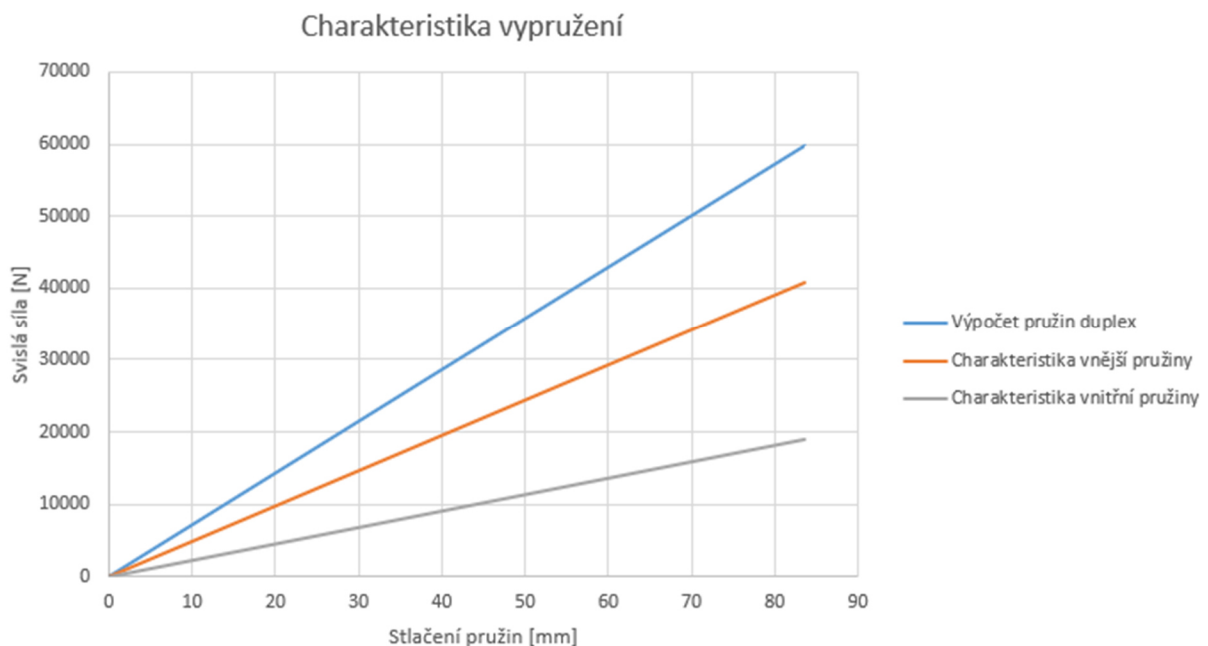
Výpočet ohybové příčné tuhosti:

$$k_{x2} = \frac{1}{\frac{1}{P_{2p}} \cdot \left(\frac{2}{\alpha_2} \cdot \tan\left(\alpha \cdot \frac{H_{02p}}{2}\right) - H_{02p}\right) + \frac{P_{2p}}{k_{s2}}} =$$

$$k_{x2} = \frac{1}{\frac{1}{1436} \cdot \left(\frac{2}{0,024} \cdot \tan\left(0,03 \cdot \frac{15,6}{2}\right) - 15,6\right) + \frac{1436}{578560}} =$$

$$k_{x2} = 0,95 \text{ kg}^2/\text{cm}$$

6.9 Charakteristika vypružení



Obrázek 45 Charakteristika pružin (Vlastní zdroj)

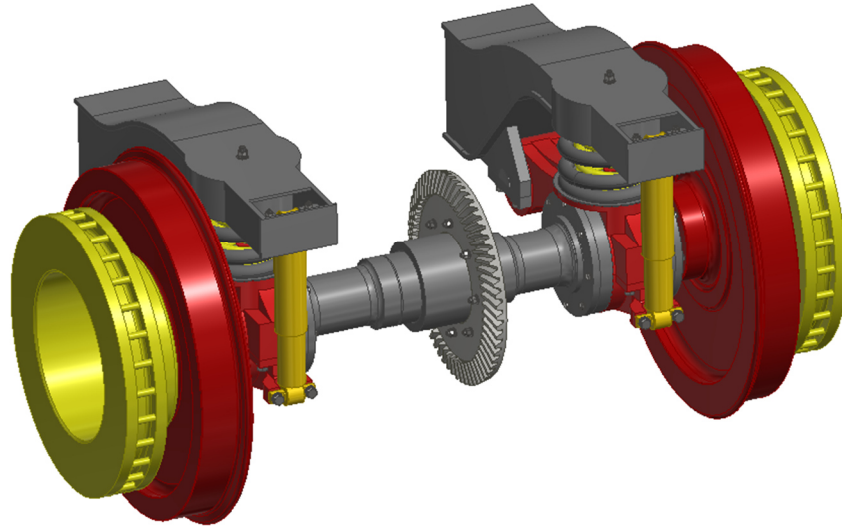
6.10 Shrnutí výsledků pro navržené pružiny

Tabulka 21 Shrnutí výsledků pro navržené pružiny

Přehled navržených pružin				
Značení	Název	Jednotky	Vnější pružina	Vnitřní pružina
d	Průměr drátu	mm	38	26
D	Střední průměr pružin	mm	228	156
H ₀	Volná délka pružiny	mm	235,1	219,5
n	Počet činných závitů	-	3,5	5,2
n'	Počet závěrných závitů	-	1,5	1,5
n _c	Celk. počet závitů	-	5	6,7
i	Poměr vinutí	-	6	6
K	Korekční součinitel	-	1,2525	1,2525
k	Svislá tuhost pružiny	N/mm	487	228
k _x	Příčná tuhost pružiny dle Grosse	kg ² /cm	1,77	0,95
P _{1p}	Síla vyvinutá pružinou při prázdném voze	N	30689	14367
P _{1l}	Síla vyvinutá pružinou při loženém voze	N	40712	30689
H _{0ip}	Délka pružiny při prázdném voze	mm	172,1	156,5
H _{0il}	Délka pružiny při loženém voze	mm	151,5	135,9
Z _{už}	Užitečné stlačení	mm	20,7	20,7
Z _{dyn}	Dynamické stlačení	mm	31,8	31,8
τ _{ldyn}	Napětí při dynamickém namáhání	MPa	539,5	539,5
v _i	Vůle mezi závity	mm	11,3	8,3

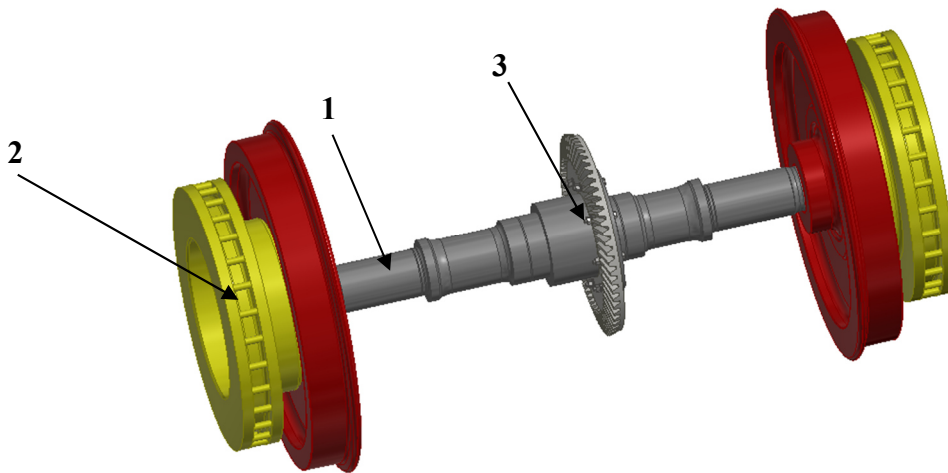
7 Vyhodnocení konstrukčních uzlů

Na základě provedených výpočtů a doporučení vedoucího práce byl zhotoven návrh provedení hnacího dvojkolí pro regionální jednotku. Návrh byl vytvořen v programu Autodesk Inventor 2017.



Obrázek 46 Sestava (Vlastní zdroj)

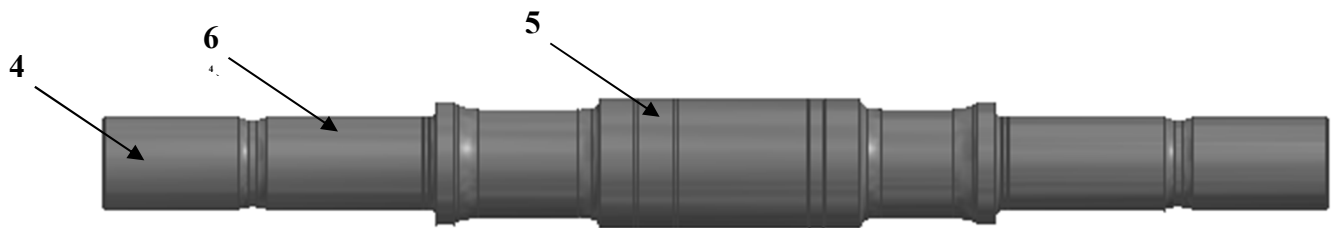
7.1 Dvojkolí



Obrázek 47 Pohled na hnací dvojkolí (Vlastní zdroj)

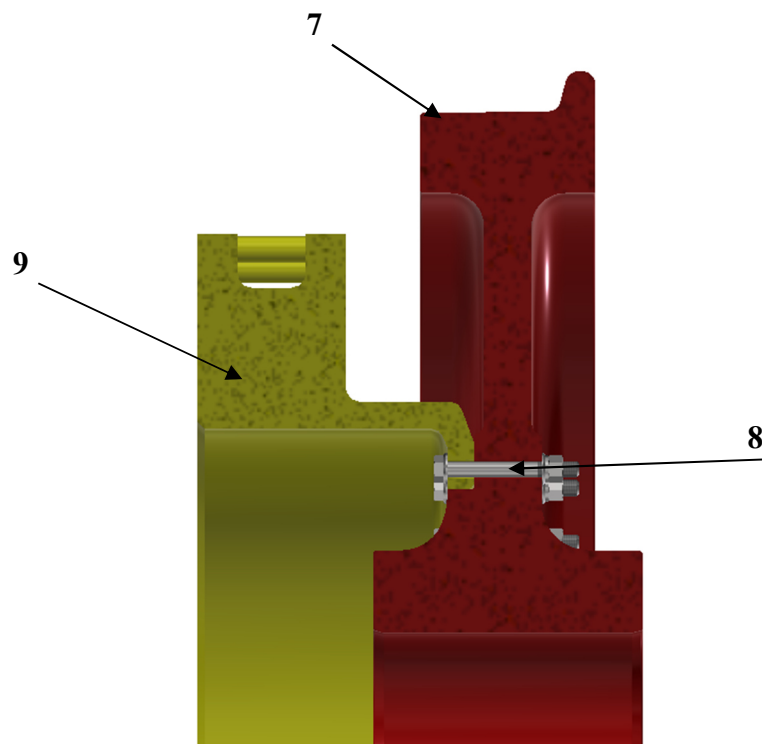
Hnací dvojkolí je složeno z nápravy (1), kol s integrovanými kotouči (2) a náboje, ke kterému je přišroubováno ozubené kolo (3). Kola jsou na nápravu lisována za tepla a dle výpočtu je na sedlu kola (4) navrženo uložení s přesahem H7/s7. Na sedlu pro náboj ozubeného kola (5) je pro nalisování náboje předepsáno a spočteno uložení H7/r6. Délka sedla je navržena s ohledem na ložiska v převodové skříni, která budou lisována s přesahem p6. Aby se ušetřilo na obrábění nápravy je celé sedlo navrženo s jedním průměrem 180 a jednotlivé části sedla jsou odděleny

zápichem D 3,4x2,4 dle ČSN 01 4960. Sedlo ložisek (6) je navrženo s přesahem p6. Diplomová práce obsahuje výrobní výkres nápravy, který vše znázorňuje. Náprava zohledňuje normu ČSN EN 13103.



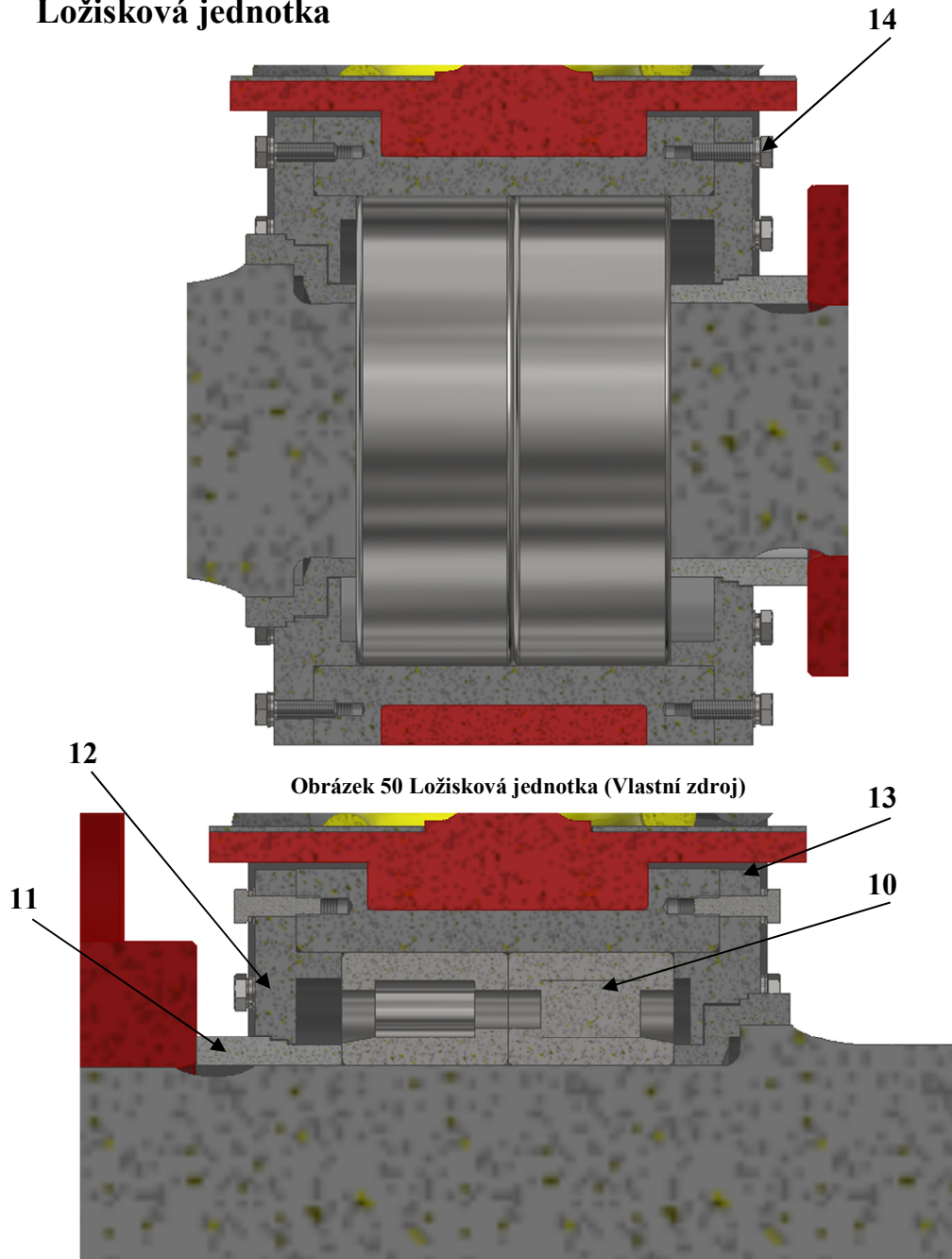
Obrázek 48 Hnací náprava (Vlastní zdroj)

Kolo (7) bylo navrženo jako celistvé. Jedná se o výkovek z materiálu ER9. Ke kolu je šroubován 12 lícovaných šroubů M12 (8) litinový brzdový kotouč (9). Kolo i brzdový kotouč jsou součásti nakupované. Na kole je z vnější straně navrženo osazení pro vycentrování brzdového kotouče.



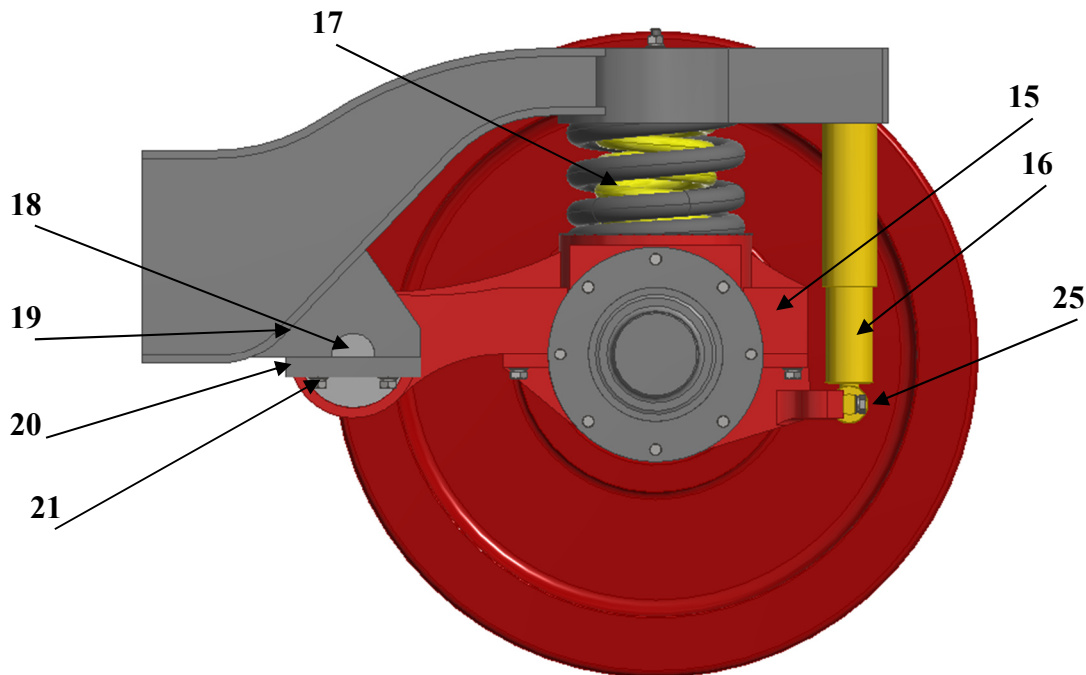
Obrázek 49 Kolo s přišroubovaným brzdovým kotoučem (Vlastní zdroj)

7.2 Ložisková jednotka



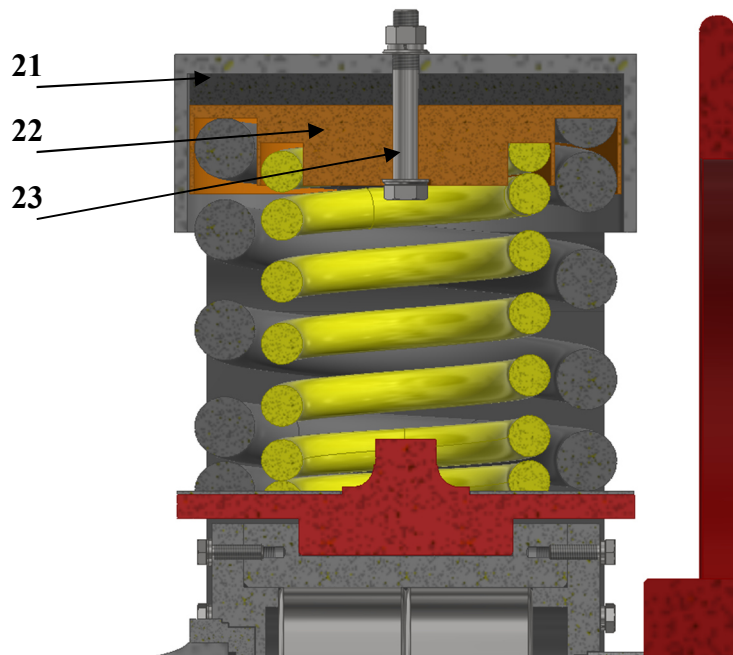
Ložisková jednotka je tvořena dvojicí jednořadých válečkových ložisek SKF CRU 130x240 WJ/WJP (10). Životnost ložiskové jednotky byla ověřena výpočtem. Ložisková jednotka je zajištěna proti axiálnímu posunu viz obrázek 51. Vnější ložisko je rozepřeno vůči kolu trubkou (11). Prostor ložisek je utěsněn bezkontaktním těsnícím labyrintem. Vůle je navržena 0,5 mm. Víčka (12,13) ložiskové jednotky jsou přišroubována k pouzdru 8 šrouby M10 (14).

7.3 Vypružení a vedení dvojkolí kyvným ramenem



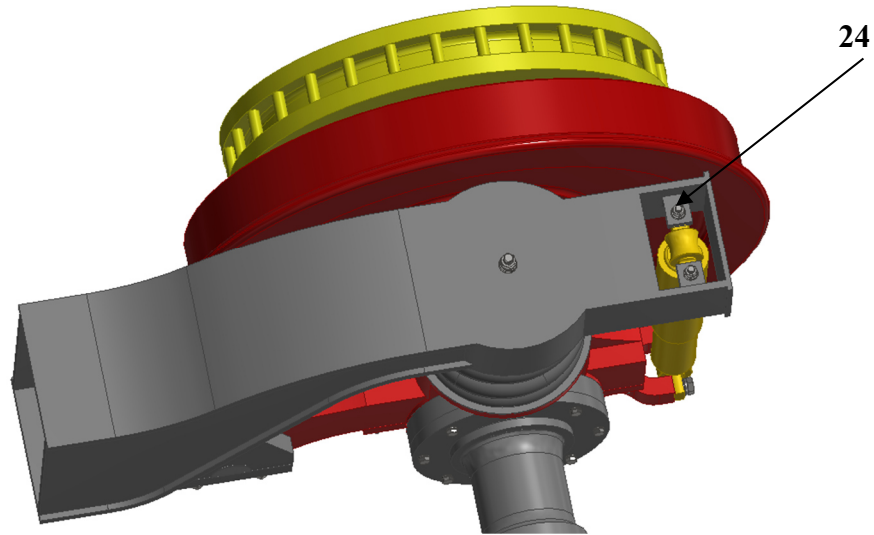
Obrázek 52 Vedení a vypružení kyvným ramenem (Vlastní zdroj)

Vypružení a vedení dvojkolí se skládá z kyvného ramene (15), hydraulického tlumiče ZF (16) s radiální tuhostí 15 kN/mm, duplexně řazených ocelových vinutých pružin (17) a kulového silentbloku (18). Kyvné rameno je uchyceno k přivařeným konzolám rámu podvozku (19) hranolem (20) přišroubovaným dvěma šrouby M16 (21) do konzol na rámu podvozku. Kyvné rameno, silentblok a hydraulický tlumič jsou nakupované součásti.



Obrázek 53 Duplexní pružiny (Vlastní zdroj)

Duplexně seřazené vinuté pružiny (17) jsou v hrnci rámu uchyceny přes silentblok (21) a vymežující disk (22), který je k rámu podvozku přišroubován šroubem M16 (23). Hydraulický tlumič je k rámu a kyvnému ramenu spojen šrouby M12 (24) respektive M16 (25).



Obrázek 54 Uchycení hydraulického tlumiče (Vlastní zdroj)

8 Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem dvojkolí pro regionální jednotku, které je řešeno jako dvojkolí s vnitřními ložisky a znamená pro podvozek regionální jednotky značnou úsporu hmotnosti. Navržené dvojkolí je hnací a připraveno pro pohon vně podvozku. Je navrženo pro evropský rozchod koleje 1435 mm. Náprava byla zkontrolována dle normy ČSN EN 13 103 a všechny průměry vyhověly stanovené bezpečnosti 1,33 pro zvolený materiál EA4N. Kolo je navrženo z materiálu ER9 a je za tepla nalisované na nápravu. Navrženo je uložení s přesahem H7/s7, které je zkontrolováno výpočtem. Ke kolu je z vnější strany přišroubován brzdový kotouč. Průměr kola je 900/820 mm. Průměr čepu ložisek je navržen 130 mm. Dle tohoto průměru byla navržena ložisková jednotka SKF CRU 130x240 WJ/WJP. Dle katalogu SKF byla jednotka zkontrolována na požadovanou životnost 3 miliony kilometrů. Vypočtená životnost je 13,3 mil. km, tudíž je tato podmínka bezpochyby splněna. Jelikož se jedná o dvě jednořadá válečková ložiska bylo nutné vyřešit utěsnění prostoru ložisek. Navržené těsnění je vyřešeno labyrintovým těsněním. Na nápravu je dále za tepla nalisován náboj ozubeného kuželového kola převodovky. Uložení je s přesahem H7/r7. Vedení a primární vypružení dvojkolí bylo zvoleno kyvným ramenem. Hlavní koncentrace v diplomové práci byla kladena na návrh ocelových vinutých pružin. Vinuté pružiny jsou duplexně řazené. Vnější pružina má rozměry 228/38 mm a vnitřní 156/26 mm. Poměr vinutí je 6. Počet činných závitů je 3,5 pro vnější a 5,2 pro vnitřní pružinu. Užitečné stlačení je 20,7 mm a dynamické 31,8 mm. Maximální napětí v krutu při dynamickém namáhání je pro obě pružiny vypočteno 539,5 MPa. Maximální dovolené napětí při dynamickém namáhání bylo pro materiál pružin z oceli 15 260 spočteno 672 MPa. Obě pružiny tudíž tuto podmínku splnily. Hmotnost dvojkolí je 954 kg.

9 Zdroje

1. HELLER, Petr; DOSTÁL, Josef. *Kolejová vozidla II*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2009, ISBN 978-80-7043-641-7.
2. DOSTÁL, Josef; HELLER, Petr. *Kolejová vozidla I*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010, ISBN 978-80-7043-960-9.
3. HELLER, Petr; DOSTÁL, Josef. *Kolejová vozidla III*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011, ISBN 978-80-261-0028-7.
4. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.
5. JANOŠ, Petr. *Dvojkolí pro osobní přepravu - vysokorychlostní, regionální a příměstské jednotky a vozy: Wheelsets for passenger transportation - high-speed, regional and suburban units, and coaches*. Přeložil Pavel MAŇÁSEK. Ostrava: pro Bonatrans Group a.s. vydal Radim Polásek, vydavatelství En Face, 2017. ISBN 978-8087264-70-6.
6. VANĚK, Václav. *Základy konstruování: učební podklady pro cvičení*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-964-7.

Internetové zdroje

7. Počet cestujících na železnici roste. V prvním pololetí jich bylo 91 miliónů – Novinky.cz . *Novinky.cz – nejčtenější zprávy na českém internetu* [online]. Copyright © 2003 [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/ekonomika/450226-pocet-cestujicich-na-zeleznici-roste-v-prvnim-pololetu-jich-bylo-91-milionu.html>
8. HELLER, Petr. KKV2 – Inovační směry v kolejových vozidlech – Regionální vozidla [online]. [cit. 6.1.2018]. Dostupný na <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/kkv2/prednasky.html>
9. Assembly of first Siemens Mireo EMU underway - Railway Gazette. *Rail business, industry and technology news from Railway Gazette International* [online]. Dostupné z: <https://www.railwaygazette.com/news/traction-rolling-stock/single-view/view/assembly-of-first-siemens-mireo-emu-underway.html>
10. *Kawasaki Heavy Industries, Ltd.* [online]. Copyright © [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <http://global.kawasaki.com/en/mobility/rail/bogie/img/typekw153.jpg>
11. Mireo - Commuter and Regional Trains - Global. [online]. Copyright © Siemens Mobility GmbH, 2018 [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/mobility/rail-solutions/rolling-stock/commuter-and-regional-trains/mireo.html>
12. HELLER, Petr. KKV1 – Vedení a vypružení kolejových vozidel [online]. [cit. 6.1.2018]. Dostupné z: <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/kkv1>
13. Vypružení [online]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/pojezdy/vypruzeni.html>
14. Brouček, Stanislav. *Návrh variantního primárního vypružení pro podvozky elektrické jednotky – Diplomová práce*. Plzeň: ZČU – KKS, 2010
15. Pružiny tlačné válcové | Pružina tlačná válcová 2,8x19x43,9x9,5 neobrobena | Pružiny Čermák - tlačné a tažné pružiny a postelové kování. *301 Moved Permanently* [online]. Dostupné z: <http://www.webareal.cz/webareal-cz/eshop/1-1-Pruziny-tlacne-valcove/57-2-drat-2-80-mm/5/13515-Pruzina-tlacna-valcova-2-8x19x43-9x9-5-neobrobena>
16. Pryžokovové pružiny - [online]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/pojezdy/vypruzeni/pryzove-pruziny.html>
17. Konstrukce náprav moderních kolejových vozidel [online]. Copyright © Bonatrans Group a.s. [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <https://www.ghh->

- bonatrans.com/files/files_whitepages/Konstrukce%20n%C3%A1prav%20modern%C3%ADch%20kolejov%C3%BDch%20vozidel%20SPKV%202017.pdf
18. Bogies for Thameslink – Rail Engineer. *Rail Engineer – Rail Technology and Engineering News* [online]. Dostupné z: <https://www.railengineer.uk/2012/03/28/bogies-for-thameslink/>
 19. Thameslink (TSGN) Class 700 Interiors Mock-up. *Southern Electric Group* [online]. Copyright © Copyright Southern Electric Group and contributing authors and photographers. [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <http://extra.southernelectric.org.uk/news/tsgn/2014-class700-interiors-mockup-4.html>
 20. Bombardier – FLEXX ECO Bogies Defying Convention - [online]. Copyright © Bombardier Inc. [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <https://www.bombardier.com/content/dam/Websites/bombardiercom/supporting-documents/BT/Bombardier-Transportation-Bogies-FLEXX-Eco.pdf>
 21. FLEXX Eco: The leading lightweight passenger bogie design. *Global Railway Review - Rail Industry News, Publications and Events* [online]. Copyright © Bombardier Inc. [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <https://www.globalrailwayreview.com/article/74693/flexx-eco-lightweight-bogie-design/>
 22. S-Size Bogie – FLEXX URBAN 3000 Bogie [online]. Copyright © Bombardier Inc. [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <https://www.bombardier.com/content/dam/Websites/bombardiercom/supporting-documents/BT/Bombardier-Transportation-FLEXX-Urban-3000-Bogie.pdf>
 23. Bombardier Hosts First International FLEXX Bogie Operator Forum [online]. Copyright © Bombardier 1997 [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: <https://www.bombardier.com/en/media/newsList/details.37610-bombardier-hosts-first-international-flexx-bogie-operator-forum.bombardiercom.html>
 24. SIEMENS TRANSPORTATION SYSTEMS. First Class Bogies [online]. Copyright © Siemens Mobility GmbH, 2008 [cit. 6.1.2018]. Dostupný na WWW: <https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/sitecollectiondocuments/en/rail-solutions/components-and-systems/bogies-catalog-en.pdf>
 25. Press Pictures - Siemens Global Website. [online]. Copyright © 3.0 Corporate ASP [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: https://www.siemens.com/press/en/presspicture/?press=/en/pp_ts/2007/sots200709-03.htm
 26. LEILA. [online]. [cit. 6.1.2018]. Dostupné z: <http://www.drehgestelle.de/6/leila.html>
 27. Bearing design – Cylindrical roller bearings and units. [online]. Copyright © SKF Group 2012 [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: http://www.skf.com/group/knowledge-centre/media-library/index.html?LISTING_TYPE=MediaLibrary&allParams=hits%253D5%2526q%253Dtechnical%252Bhandbook%252B%2526offset%253D0%2526lang%253Den%2526pubid%253D21&LISTING_TYPE=MediaLibrary&search=railway+technical+handbook+&searchButton=true&=1481934764705&itmPerPage=20&selPage=1
 28. Bearing calculation - Extract from the Railway technical handbook, volume 1, chapter 5, page 106 to 121. [online]. Copyright © SKF Group 2012 [cit. 06.01.2019]. Dostupné z: http://www.skf.com/group/knowledge-centre/media-library/index.html?LISTING_TYPE=MediaLibrary&allParams=hits%253D5%2526q%253Dtechnical%252Bhandbook%252B%2526offset%253D0%2526lang%253Den%2526pubid%253D21&LISTING_TYPE=MediaLibrary&search=railway+technical+handbook+&searchButton=true&=1481934764705&itmPerPage=20&selPage=1

[2526pubid%253D21&LISTING_TYPE=MediaLibrary&search=railway+technical+handbook+&searchButton=true&_id=1481934764705&itmPerPage=20&selPage=1](https://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/158/)

29. Berezňák, Tomáš. Návrh trakčního podvozku pro nízkopodlažní elektrickou jednotku – Diplomová práce. Plzeň: ZČU – KKS, 2013
30. S355NL Steel Grade, Mechanical Properties, Chemical Composition, Grade Equivalent. *B2BMetal.eu - online metal marketplace, steel stockholders, steel suppliers, Metal Mills, metal fabricators, metal erectors, metal processing, fastener, fixings suppliers, metalworking tools, design engineering, metal design, scrap metal, metal recycling*, [online]. Dostupné z: <http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/158/>

Patenty, užité vzory

31. Hroník, Vlastimil. Podvozek pro kolejová vozidla. Česká Republika. Užité vzor CZ 24974 U1. 26.2.2013
32. Berezňák, Tomáš. Trakční podvozek pro kolejová vozidla. Česká republika. Patentový spis CZ 305145 B6. 8.4.2015

Software

Inventor Professional 2017® - © 2017 Autodesk Inc.

Microsoft Office 365® - © 2018 Microsoft

Seznam Obrázků

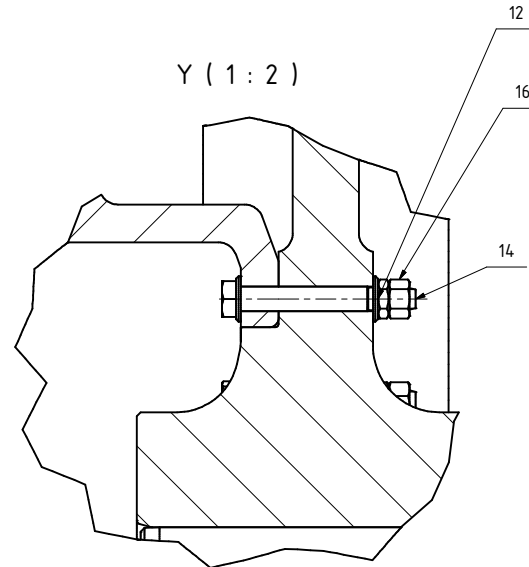
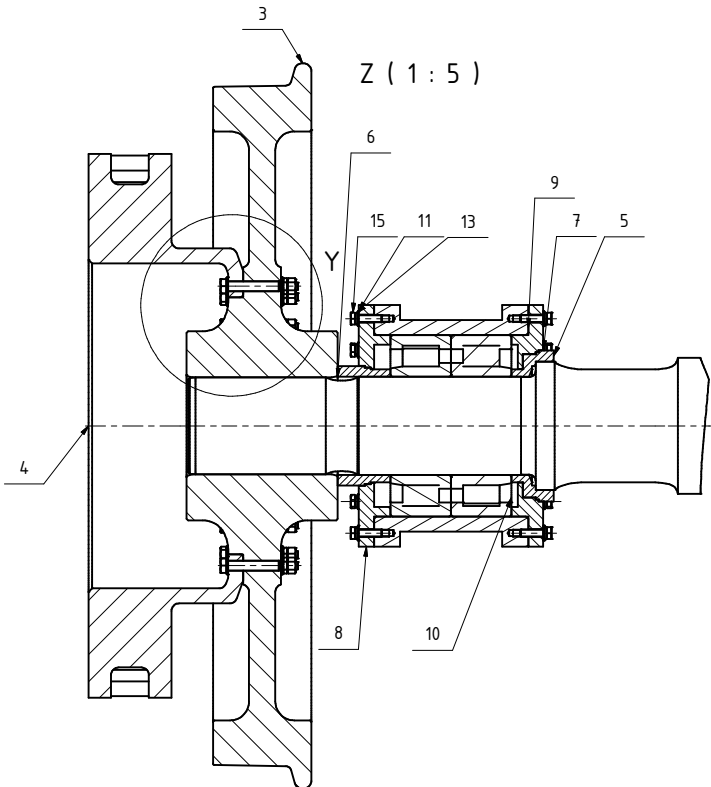
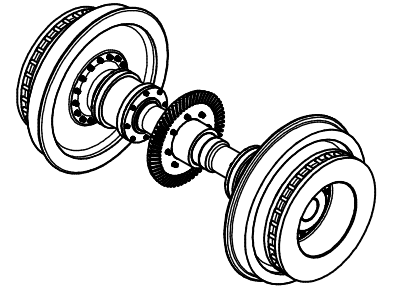
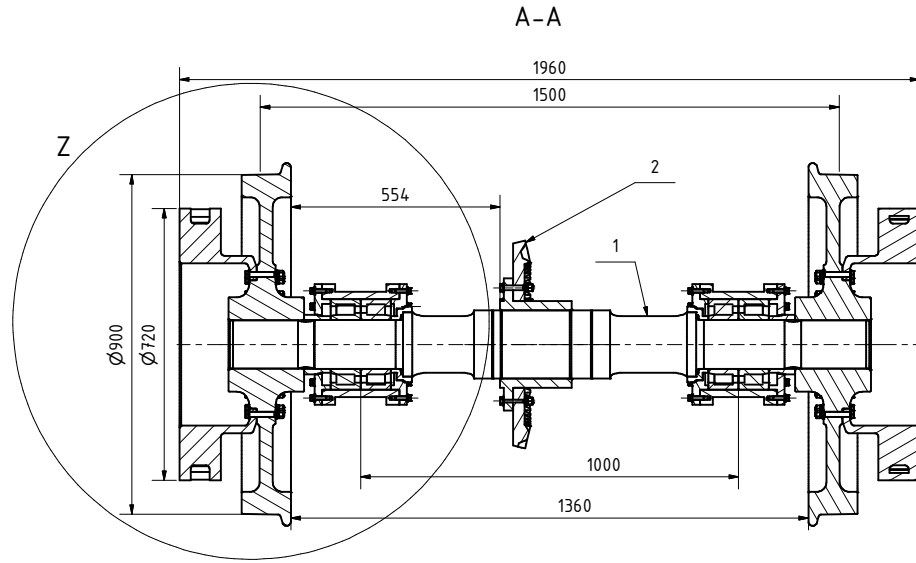
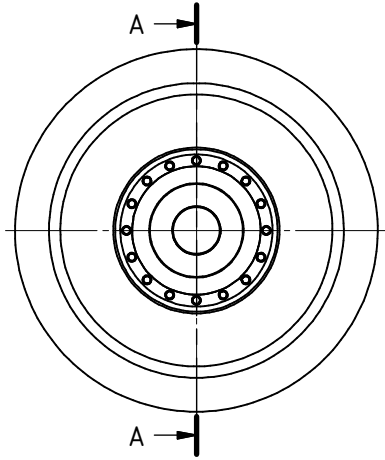
Obrázek 1 Přeprava cestujících po železnici – převzato z [7].....	11
Obrázek 2 Nové regionální vozidlo Mireo od firmy Siemens – převzato z [9].....	12
Obrázek 3 Příklad podvozku s vnějším rámem - převzato z [10].....	13
Obrázek 4 Moderní podvozek s vnitřním rámem – převzato z [11]	13
Obrázek 5 Vedení dvojkolí šípovými pružinami MEGI – převzato z [12].....	14
Obrázek 6 Silentblok MEGI – převzato z [9]	14
Obrázek 7 Vedení a vypružení pryžovými silentbloky– převzato z [12].....	15
Obrázek 8 Vedení a vypružení kyvným ramenem – převzato z [12].....	15
Obrázek 9 Vedení a vypružení úhlovou pákou – převzato z [12].....	16
Obrázek 10 Ojničkové vedení s vypružením flexi-coil – převzato z [12].....	17
Obrázek 11 Vedení převráceným kyvným ramenem – převzato z [12].....	18
Obrázek 12 Charakteristika vinuté pružiny – převzato z [115].....	19
Obrázek 13 Lomená charakteristika paralelně řazených pružin (Duplex) – převzato z [13]...	19
Obrázek 14 Pryžokovový silentblok – převzato z [16]	20
Obrázek 15 Dvojkolí s čepem pro nalisování vnějších ložisek – převzato z (2).....	20
Obrázek 16 Dvojkolí s vnitřními ložisky - převzato z [5].....	21
Obrázek 17 Podvozek regionálního vozidla SF 7000 – převzato z [19].....	23
Obrázek 18 Podvozek Flexx-ECO – převzato z [21].....	24

Obrázek 19 Podvozek Flexx – Urban 3000 – Primární vypružení a vedení dvojkolí kyvným ramenem [20]	25
Obrázek 20 Podvozek Flexx - Urban 3000 - vedení a vypružení dvojkolí pryžokovovými silentbloky – převzato z [22].....	26
Obrázek 21 Podvozek SF 2100 IB převzato z [24].....	27
Obrázek 22 Vývojový podvozek Syntegra - převzato z [25].....	28
Obrázek 24 Podvozek Leila – pohled na spodní část – převzato z [26].....	29
Obrázek 25 Podvozek typu Jakobs dle užitého vzoru číslo 24 974 - převzato z [31].....	30
Obrázek 26 Vnitřní rám dle užitého vzoru číslo 24 974 - převzato z [31].....	31
Obrázek 27 Úhlová páka dle užitého vzoru číslo 24 974 - převzato z [31].....	31
Obrázek 28 Trakční podvozek dle patentového spisu číslo 305 145 - převzato z [32].....	32
Obrázek 29 Vnitřní rám trakčního podvozku dle patentového spisu číslo 305 145 - převzato z [32].....	32
Obrázek 30 Úhlová páka s pružinou primárního vypružení dle patentového spisu číslo 305 145 - převzato z [32]	33
Obrázek 31 Kinematické schéma pryžokovového vypružení (Vlastní zdroj).....	37
Obrázek 32 Kinematické schéma vedení ojníčkou (Vlastní zdroj).....	37
Obrázek 33 Kinematické schéma vedení kyvným ramenem (Vlastní zdroj).....	38
Obrázek 34 Kinematické schéma vedení kvazikývačkou (Vlastní zdroj).....	38
Obrázek 35 Varianta A (Vlastní zdroj)	42
Obrázek 36 Varianta B (Vlastní zdroj)	43
Obrázek 37 Varianta C (Vlastní zdroj)	44
Obrázek 38 Schema působení sil (Vlastní zdroj - odvozeno dle Normy ČSN EN 13 103).....	46
Obrázek 39 Schema průřezů nápravy (Vlastní zdroj)	48
Obrázek 40 Skica – vysvětlení síly od brzdění (Vlastní zdroj).....	50
Obrázek 41 Uložení H7/s7 (Vlastní zdroj).....	56
Obrázek 42 Ložisková jednotka CRU [27].....	57
Obrázek 43 Síly působící na ložiskový domek (Vlastní zdroj).....	58
Obrázek 44 Charakteristika motoru ML 3942 K/4 – převzato [29].....	60
Obrázek 45 Uložení H7/r6 (Vlastní zdroj).....	62
Obrázek 46 Charakteristika pružin (Vlastní zdroj)	70
Obrázek 47 Sestava (Vlastní zdroj).....	72
Obrázek 48 Pohled na hnací dvojkolí (Vlastní zdroj)	72
Obrázek 49 Hnací náprava (Vlastní zdroj).....	73
Obrázek 50 Kolo s příšroubovaným brzdovým kotoučem (Vlastní zdroj)	73
Obrázek 51 Ložisková jednotka (Vlastní zdroj).....	74

Obrázek 52 Dvě jednořadá válečková ložiska (Vlastní zdroj).....	74
Obrázek 53 Vedení a vypružení kyvným ramenem (Vlastní zdroj).....	75
Obrázek 54 Duplexní pružiny (Vlastní zdroj).....	75
Obrázek 55 Uchycení hydraulického tlumiče (Vlastní zdroj).....	76

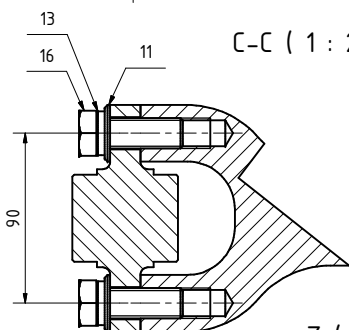
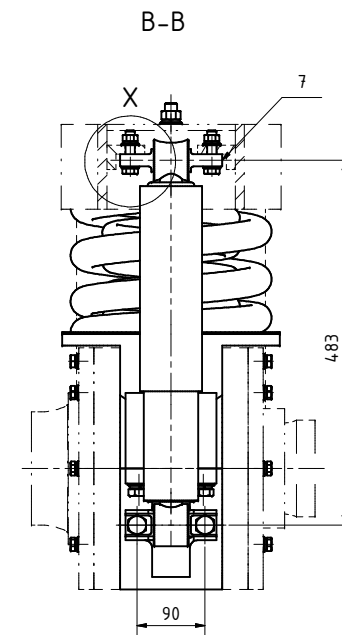
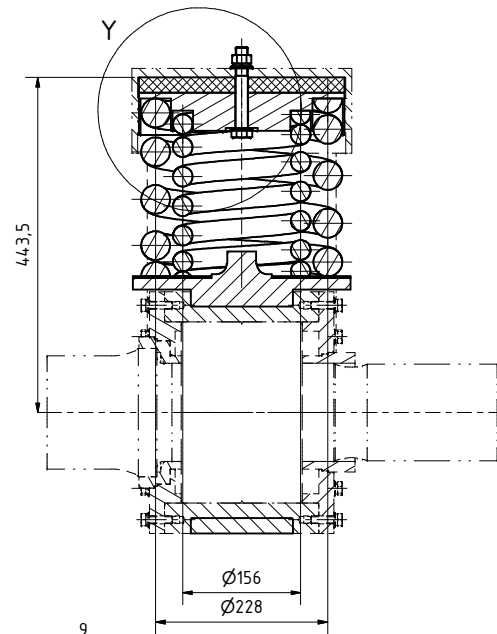
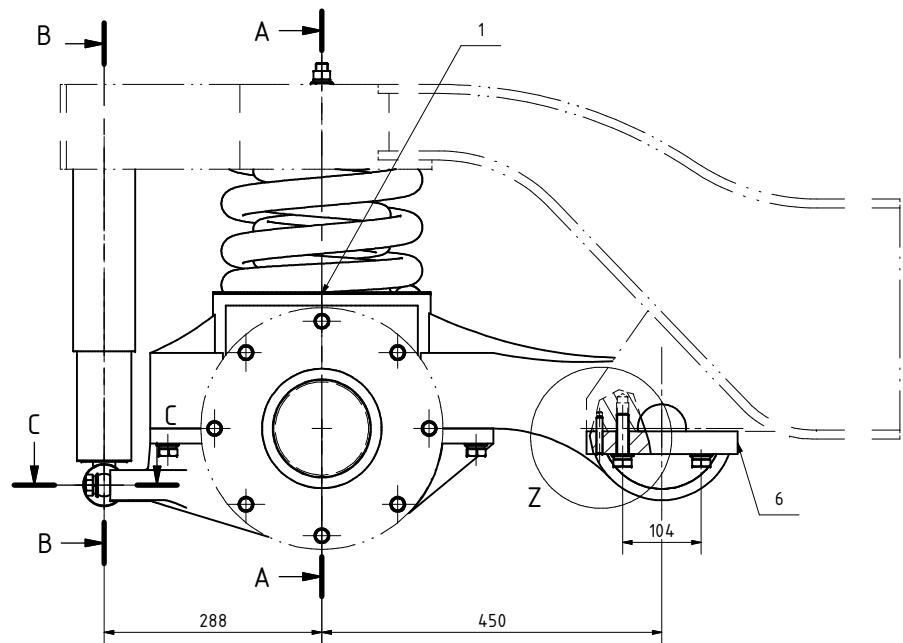
Seznam tabulek

Tabulka 1 Porovnání dvojkolí s vnitřními a vnějšími ložisky – vlastní zdroj.....	22
Tabulka 2 Technické parametry - SF 7000 [18] [19].....	24
Tabulka 3 Technické parametry – Flexx – ECO [20]	25
Tabulka 4 Technické parametry - Flexx - Urban 3000 – Vedení a vypružení dvojkolí kyvným ramenem [22] [23].....	26
Tabulka 5 Technické parametry - Flexx - Urban 3000 – Vedení a vypružení dvojkolí pryžokovovými silentbloky [22]	26
Tabulka 6 Technické parametry SF 2100 IB (1) [24]	27
Tabulka 7 Technické parametry - Podvozek Syntegra (1).....	28
Tabulka 8 Technické parametry – Podvozek Leila (1)	29
Tabulka 9 Specifikace požadavků.....	34
Tabulka 10 Výhody a nevýhody vinutých pružin	39
Tabulka 11 Výhody a nevýhody pryžokovových pružin	39
Tabulka 12 Hodnocení navržených variant.....	40
Tabulka 13 Morfologická matice	41
Tabulka 14 Hodnocení navržených variant.....	45
Tabulka 14 Ramena síly P_1 ke zvolenému průřezu nápravy	48
Tabulka 15 Ramena síly Q_1 ke zvolenému průřezu nápravy.....	48
Tabulka 16 Ramena síly F_1 ke zvolenému průřezu nápravy	48
Tabulka 17 Ramena síly F_2 ke zvolenému průřezu nápravy.....	48
Tabulka 18 Nejvyšší přípustná napětí pro duté nápravy z oceli jakosti EA 4N.....	52
Tabulka 19 Shrnutí výsledků pro navrženou nápravu.....	55
Tabulka 20 Zadané parametry pro výpočet ložiska CRU 130x240	57
Tabulka 21 Shrnutí výsledků pro navržené pružiny.....	71

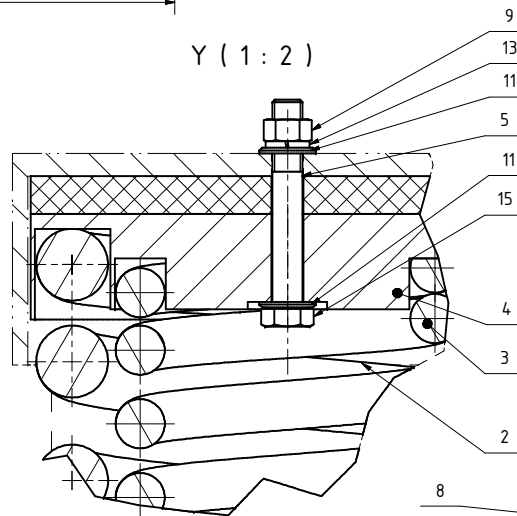


POLOŽKA	POPIS	ČÍSLO SOUČÁSTI	HMOTNOST	MATERIÁL	KS
17	Šestihranná matice	ISO 4035 - M12	0,01 kg		32
16	Matice	ISO 4032 - M12	0,02 kg		32
15	Šroub s šestihrannou hlavou	ISO 4017 - M10 x 35	0,03 kg		32
14	Lícovaný šroub se šestihrannou hlavou	DIN 609 - M12 x 95-19	0,11 kg		32
13	Pružná podložka	CSN 02 1740 - 10	0,00 kg		32
12	Podložka	CSN 02 1702 - 13	0,01 kg		64
11	Podložka	CSN 02 1702 - 10,5	0,00 kg		32
10	Válečková ložisková jednotka	CRU 130x240 WJ/WJP	13,42 kg		4
9	Pouzdro	00-9	36,14 kg	S355 J2N	2
8	Víko vnější	00-8	11,07 kg	S355 J2N	2
7	Víko vnitřní	00-7	10,79 kg	S355 J2N	2
6	Rozpěrná trubka	00-6	3,02 kg	S355 J2N	2
5	Rozpěrný kroužek	00-5	3,77 kg	S355 J2N	2
4	Brzdový kotouč	00-4	224,90 kg	GJL 422420	2
3	Kolo	00-3	376,77 kg	ER9	2
2	Naboj s ozubeným kolem	00-2	79,65 kg		1
1	Náprava	00-1	226,74 kg	EA4N	1

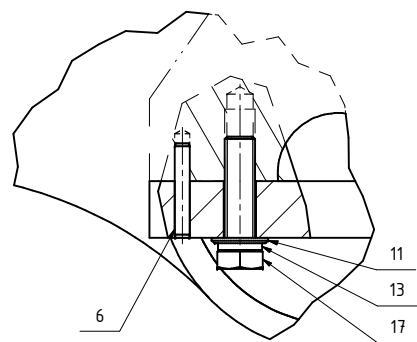
Měřítko 1:10	Hmotnost (kg) 954	Promítání 	Formát A2
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil Vik 1.4.2019	Název Dvojkolík s vnitřními ložisky	
	Schválil	Číslo dokumentu 11-1111	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Datum	Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY	11-1111



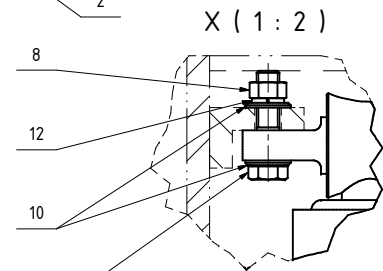
C-C (1 : 2)



Y (1 : 2)



Z (1 : 2)



X (1 : 2)

POLOŽKA	POPIS	ČÍSLO SOUČÁSTI	HMOTNOST	MATERIÁL	KS
18	Podélný kolík	ISO 8734 - 8 x 50	0,0 kg		4
17	Šroub s šestihranou hlavou	ISO 4017 - M16 x 60	0,1 kg		4
16	Šroub s šestihranou hlavou	ISO 4017 - M16 x 45	0,1 kg		1
15	Šroub s šestihranou hlavou	ISO 4017 - M16 x 110	0,2 kg		1
14	Šroub s šestihranou hlavou	ISO 4017 - M12 x 50	0,1 kg		2
13	Pružná podložka	CSN 02 1740 - 16	0,0 kg		6
12	Pružná podložka	CSN 02 1740 - 12	0,0 kg		2
11	Podložka	CSN 02 1702 - 17	0,0 kg		8
10	Podložka	CSN 02 1702 - 13	0,0 kg		4
9	Maňice	CSN 02 1402 - M16	0,0 kg		1
8	Maňice	CSN 02 1402 - M12	0,0 kg		2
7	Tlumič primárního vypružení	401310002933	18,2 kg		1
6	Hranol 30x30x124	11-6	1,3 kg	S355 J2N	2
5	Pryžový kruh	11-5	1,1 kg	Pryž	1
4	Vymežující disk pružin	11-4	10,7 kg	S355	1
3	Šroubová pružina tlačná	11-3	12,9 kg	15 260	1
2	Šroubová pružina tlačná	11-2	28,5 kg	15 260	1
1	Sestava kyvného ramena	10-1235	88,4 kg		1

Měřítko 1:5	Hmotnost (kg) 164	Průmětání	Formát A2
	Kreslil Vik 1.4.2019	Název Vedení a vypružení dvojkolí	
	Schválil	Číslo dokumentu 11-1122	
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY	List 1 List 1	