ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Otočný podvozek pro rozchod 600 mm

Autor: **Jan Beno**

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

Akademický rok 2018/2019

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta strojní
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Jan BENO**
Osobní číslo:	**S18B0037P**
Studijní program:	**B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor:	**Dopravní a manipulační technika**
Název tématu:	**Otočný podvozek pro rozchod 600 mm**
Zadávající katedra:	**Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování:

Základní požadavky:
Navrhněte dvounápravový otočný vypružený podvozek pro úzký rozchod 600mm pro univerzální použití. Navrhněte vhodnou mechanickou brzdu. Maximální provozní rychlost 20 km/h, hmotnost loženého vozu 5 t.

Základní technické údaje:
Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. - Rešerše existujících podvozků, výběr vhodné varianty
2. Návrh vlastního řešení
3. Výpočet vybrané části MKP
4. - Ověření konstrukce na vyrobeném prototypu
5. - Aplikace zkušeností z prototypu pro eventuální další výrobu

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**

Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla I.*. **Plzeň: ZČU, 2007**

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

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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jozef Bartko**
Regionální technologický institut

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24. května 2019**

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

L.S.

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

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.
Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne: …….. . . . . .

podpis autora

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval panu Doc. Ing. Petru Hellerovi CSc. za cenné odborné připomínky, předané zkušenosti a vstřícnost při vedení práce. Rád bych též poděkoval celému kolektivu dobrovolníků Mladějovské průmyslové dráhy, bez jejichž společného úsilí by nebylo kde tento náročný projekt realizovat. Z kolektivu dobrovolníků patří zvláštní poděkování Jiřímu Hurtovi a Vítu Opočenskému za nezištnou pomoc při výrobě a financování prototypů. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za jejich podporu během studia.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	**Příjmení** Beno	**Jméno** Jan	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016/ Dopravní a manipulační technika		
VEDOUCÍ PRÁCE	**Příjmení (včetně titulů)** Doc. Ing. Heller,CSc.	**Jméno** Petr	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	~~**DIPLOMOVÁ**~~	**BAKALÁŘSKÁ**	**Nehodící se škrtněte**
NÁZEV PRÁCE	Otočný podvozek pro rozchod 600 mm		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	54		**TEXTOVÁ ČÁST**	35		**GRAFICKÁ ČÁST**	19

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) **ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY**	Práce pojednává o návrhu a výrobě netrakčního podvozku pro úzký rozchod 600 mm. Hlavní snahou byla minimalizace výrobních nákladů a jednoduchost provedení. Podvozky byly vyrobeny ve 2 prototypech a podrobeny úspěšnému zkušebnímu provozu. Poznatky ze zkušebního provozu reflektuje navržená optimalizovaná varianta v závěru práce.
KLÍČOVÁ SLOVA **ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE**	Podvozek, vlak, dráha, úzký rozchod, Diamond, prototyp, vypružení, svařování, optimalizace, CAD, FEM

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	**Surname** Beno	**Name** Jan	
FIELD OF STUDY	2301R016/ 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	Pivoting bogie for narrow gauge 600 mm		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	54		**TEXT PART**	35		**GRAPHICAL PART**	19

BRIEF DESCRIPTION **TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS**	Thesis is focusing on design and manufacturing of pivoting bogie for 600 mm narrow gauge railway. Main goals are cost effective design and easy manufacturing. Bogies were manufactured in 2 prototypes and succesfully passed through trial phase. Experiences from trial phase were reflected in optimized design.
KEY WORDS	bogie, Diamond, train, railway, narrow gauge, prototype, suspension, welding, optimalization, CAD, FEM

Obsah

Obsah ... 1
Seznam příloh ... 3
Seznam obrázků ... 3
Seznam tabulek ... 5
1. Úvod ... 6
1.1 Mladějovská průmyslová dráha ... 7
1.2 Motivace ... 9
2. Rešerše základních typů podvozků ... 10
2.1 Rámové pojezdy ... 10
2.1.1 Vagony s dřevěným rámem ... 10
2.1.2 Vagony s oválným rámem ... 10
2.1.3 Důlní vozy ... 11
2.2 Podvozky nevypružené ... 12
2.2.1 Oválný rám ... 12
2.3 Podvozky vypružené ... 13
2.3.1 Diamond ... 13
2.3.1.1 Diamond Barber ... 13
2.3.1.2 Diamond Archbar ... 14
2.3.2 Podvozky důlních osobních vagonů ... 15
2.3.3 Podvozky s rozsochovým vedením ... 15
2.3.4 Skandinávská koncepce ... 16
3. Specifikace požadavků ... 16
3.1 Tabulka požadavků ... 17
3.2 Porovnání koncepcí ... 17
3.3 Volba koncepce podvozku ... 18
4. Konstrukční návrh ... 18
4.1 Dvojkolí ... 18
4.1.1 Náprava ... 19
4.1.2 Kolo ... 20
4.2 Ložiska ... 20
4.3 Rám podvozku ... 22
4.3.1 Postranice ... 23
4.3.2 Příčník ... 24
4.3.3 Uložení hlavního rámu na podvozek ... 25
4.3.4 Vazba mezi postranicemi ... 25

4.4 Vypružení ... 27
4.5 Brzda ... 27
4.5.1 Kotoučová brzda ... 28
4.5.2 Špalíková brzda ... 28
4.5.2.1 Umístění na příčník ... 28
4.5.3 Konstrukční návrh ... 29
5. Pevnostní výpočet podvozku ... 31
5.1 Pevnostní analýza postranice ... 31
5.1.1 Idealizace, okrajové podmínky a síť postranice ... 32
5.1.2 Výsledky FEM simulace postranice ... 34
5.1.3 Stanovení koeficientu bezpečnosti postranice ... 35
5.2 Pevnostní analýza příčníku ... 36
5.2.1 Idealizace, okrajové podmínky a síť příčníku ... 36
5.2.2 Výsledky FEM simulace příčníku ... 38
5.2.3 Stanovení koeficientu bezpečnosti příčníku ... 40
6. Výroba prototypů ... 40
6.1 Možnosti výroby ... 41
6.2 Výroba ... 41
6.2.1 Soustružení kol ... 41
6.2.2 Soustružení nápravy ... 42
6.2.3 Montáž dvojkolí ... 42
6.2.4 Svařování rámu ... 43
6.2.5 Konečná montáž ... 44
6.3 Konstrukční úpravy vozové skříně ... 44
7. Zkušební provoz ... 45
7.1 Poznatky ze zkušebního provozu ... 46
7.1.1 Tlumení ... 46
7.1.2 Ložiska ... 46
7.2 Stanovení nápravných opatření ... 46
7.2.1 Instalace tlumičů vypružení ... 46
7.2.2 Úprava maznic ... 47
7.3 Závěry ze zkušebního provozu ... 47
8. Návrh zdokonalené varianty na základě zkušebního provozu ... 48
8.1 Konstrukční úpravy ... 48
8.1.1 Demontovatelné narážky ... 48
8.1.2 Úpravy mezipostranicové vazby ... 49
8.1.2.1 Vazba profilem průřezu U ... 49

8.1.2.2 Vazba táhly s kloubovými hlavicemi ... 50
8.1.3 Změna uložení skříně ... 51
8.1.4 Zmenšení podélných vůlí ... 51
8.1.5 Zvýšení tuhosti vypružení ... 52
8.2 Další možnosti optimalizace ... 52
8.2.1 Odlévaná kola ... 52
9. Závěr ... 53
10. Použitá literatura ... 54
10.1 Knižní publikace ... 54
10.2 Internetové zdroje ... 54

Seznam příloh

Příloha č. 1: Výpočet pružiny

Název	Číslo výkresu	Formát výkresu
Podvozek BHT600	BHT600-C-001	A2

Seznam obrázků

Obr. 1: Historická mapa Mladějovské průmyslové dráhy ... 7
Obr. 2: Lokomotiva č.1 s výletním osobním vlakem ... 8
Obr. 3: Lokomotiva FAUR L18H se soupravou nákladních vozů ... 8
Obr. 4: Výkres osobního vozu ... 9
Obr. 5: Dvounápravový osobní vůz ... 9
Obr. 6: Dřevěné vozy ... 10
Obr. 7: Nákladní vůz VLO 0,75 ... 11
Obr. 8: Vozy JDV 0,5 ... 12
Obr. 9: Nevypružený otočný podvozek s oválným rámem ... 13
Obr. 10: Diamond Barber výrobce Škoda ... 14
Obr. 11: Diamond Archbar z dráhy WEM (Německo) ... 14
Obr. 12: Podvozek s rozsochovým vedením (KŘD) ... 15
Obr. 13: Podvozek Skandinávské koncepce ... 16
Obr. 14: Podvozek Barber Roller S-2 R ... 18
Obr. 15: Pohled na nově navržené dvojkolí ... 19
Obr. 16: Pohled na vyrobená kola s nápravami ... 19
Obr. 17: Obrys používaný provozovatelem ... 20
Obr. 18: Pohled na těleso SNL a řez tělesem se soudečkovým ložiskem na up. pouzdru ... 21
Obr. 19: Popis ložiskové jednotky Y ... 21
Obr. 20: Řez ložiskovou jednotkou Y s koncovým víkem ... 22
Obr. 21: Porovnání velikostí ložiskového domku, pružiny a koncového víka ... 22

Obr. 22: Rám podvozku 23
Obr. 23: Lichoběžníkový výpalek 23
Obr. 24: Postranice s ložiskovými domky 24
Obr. 25: Příčník 24
Obr. 26: Průjezd obloukem bez křížové vazby při vyčerpání vůlí 25
Obr. 27: Pohled na vazbu mezi postranicemi 26
Obr. 28: Řez uložením táhla 27
Obr. 29: Brzdový špalek z vozu VLB 1,5 27
Obr. 30: Pohled na podvozek s kotouči 28
Obr. 31: Vzdálenost špalků od temen kolejnice v loženém stavu 29
Obr. 32: Zástavba brzdy v podvozku 30
Obr. 33: Rozmístění komponent brzdy 30
Obr. 34: Kinematické schéma brzdy 31
Obr. 35: Idealizovaný model postranice 32
Obr. 36: Okrajové podmínky postranice 32
Obr. 37: Zatížení postranice 33
Obr. 38: Síť postranice 33
Obr. 39: Celková deformace postranice [mm] 34
Obr. 40: Průběh napětí Von-Mises [MPa] 34
Obr. 41: Napětí Worst principal [MPa] 35
Obr. 42: Idealizovaný model příčníku 36
Obr. 43: Okrajové podmínky příčníku 36
Obr. 44: Zatížení příčníku 37
Obr. 45: Síť příčníku 37
Obr. 46: Celková deformace příčníku [mm] 38
Obr. 47: Napětí Von-Mises [MPa] shora 38
Obr. 48: Napětí Von-Mises [MPa] zespodu 39
Obr. 49: Napětí Worst principal [MPa] shora 39
Obr. 50: Napětí Worst principal [MPa] zespodu 40
Obr. 51: Osoustružená kola 42
Obr. 52: Zavážení kola do pece 42
Obr. 53: Montáž dvojkolí 43
Obr. 54: Podvozek připravený na nakládku 44
Obr. 55: Vůz se zavázanými podvozky 44
Obr. 56: Spřáhlo vagonu 45
Obr. 57: Umístění tlumičů 47
Obr. 58: Podvozek s tlumiči 48
Obr. 59: Stavitelné narážky příčného vypružení 49
Obr. 60: Vazba profilem U 50
Obr. 61: Vazba kloubovými hlavicemi 51
Obr. 62: Plochá torna 51
Obr. 63: Odlitek kola (červeně) a obrobené kolo (černě) 53

Seznam tabulek

Tab. 1: Tabulka požadavků…..……17
Tab. 2: Vstupní parametry vypružení…….....……..27
Tab. 3: Optimalizace vstupních parametrů vypružení.....52

1. Úvod

Historie úzkorozchodných drah sahá až k samotnému počátku provozu železnic, vždyť první lokomotiva Richarda Trevithicka z roku 1802 byla, z dnešního pohledu, stavěna na úzký rozchod. Její rozchod byl 3 stopy, resp. 914 mm [1]. V roce 1829 byla Georgem Stephensonem předvedena lokomotiva Rocket, která již jezdila po koleji s dnešním normálním rozchodem 1435 mm [2]. Vlivem pozdějšího bouřlivého rozvoje železnic byly, především v menších a středních průmyslových podnicích, stavěny dráhy s nejrůznějšími úzkými rozchody. Úzkých rozchodů bylo cíleně využíváno díky nižším stavebním nákladům, menším poloměrům oblouků, levnějším vozidlům atp. Bylo však nutné se smířit s menšími přepravními výkony danými nízkým nápravovými zatíženími (vyjma hutních provozů) a možnou atypičností vozidel. Právě atypická vozidla a nedostatek nových vozidel byla jedním z důvodů zániku úzkorozchodných drah v České republice, spolu s masivním přechodem na silniční dopravu, případně s úpadkem původních průmyslových provozů.

Charakter úzkorozchodných provozů je velmi různorodý, od drážek o délce několika stovek metrů, typicky dráhy v cihelnách z povrchového dolu do výrobního závodu, až po rozsáhlé sítě po celém průmyslovém podniku, jako byla např. drážka o rozchodu 565 mm v bývalé Spolchemii v Ústí nad Labem, ta byla navíc jako jedna z mála povrchových úzkokolejek elektrifikovaná. Úzkorozchodné dráhy byly též často stavěny jako dočasné stavební drážky pro odvoz vytěženého materiálu při stavbách hlubokých zářezů, nebo kanálů, jako je např. Vážská kaskáda na Slovensku. Dočasné byly i některé lesní železnice, které sloužily pro svoz kalamitního dřeva, např. lesní dráha u Českých Budějovic. Malé provozy byly leckdy i s animálním, případně ručním pohonem.

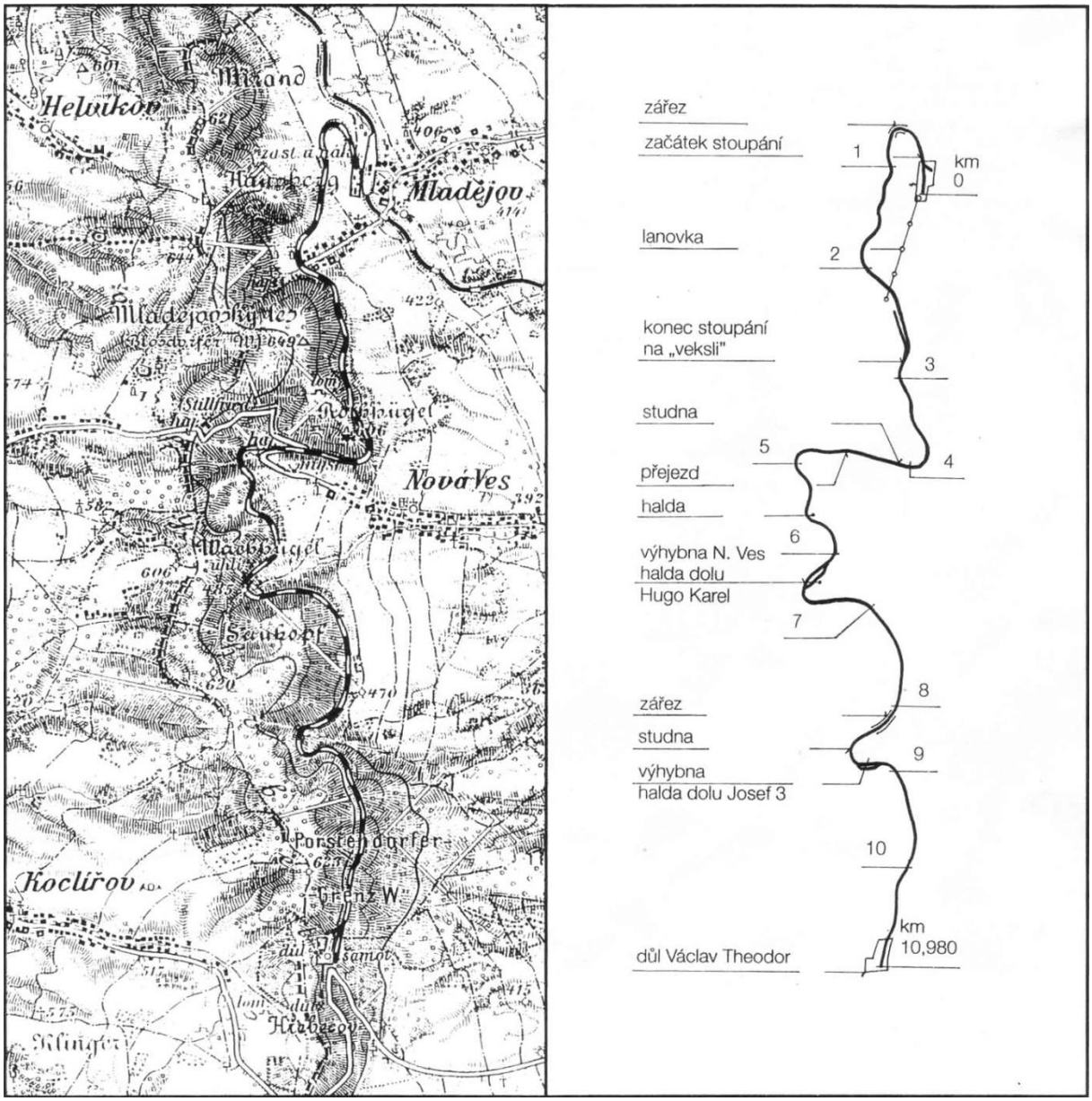
U polních a průmyslových drah se nejvíce rozšířil rozchod 600 mm. Ten používá například dráha Mladějov – Hřebeč, síť úzkorozchodek u Skalné u Chebu, trať pro přepravu rašeliny pro lázně ve Františkových Lázních a jiné. Menší rozchody, např. 450 mm, se používaly v malých průmyslových provozech nebo dolech. Velmi rozšířeným rozchodem je tzv. bosenský resp. saský rozchod 760, resp. 750 mm. V České republice tento rozchod využívají např. Jindřichohradecké úzkokolejky, trať Třemešná – Osoblaha, na Slovensku lesní železnice. Velmi podobný rozchod 790 mm je využíván v areálu Vítkovických železáren, tamější dráha je typickým příkladem hutní úzkorozchodky s nápravovým zatížením až 30 tun a malými poloměry oblouků. V severočeských povrchových dolech byl až do roku 2003 využíván rozchod 900 mm, zdejší dráhy byly elektrifikovány napětím 1500 V.

V současnosti bychom průmyslové dráhy v České republice, používané k jejich původnímu účelu, spočítali na prstech jedné ruky. Některé dráhy vedoucí za hranice průmyslových podniků byly později proměněny na turistické atrakce, jinde byly obnoveny dávno snesené úzkokolejky, taktéž za účelem turistického ruchu.

Protože však původní vagony, pokud se zachovaly, sloužily zpravidla k přepravě nákladu, bylo nutné osobní vagony stavět nově s využitím rámů nákladních vozů, nebo alespoň jejich komponent. Zdroj nákladních vozů však není nevyčerpatelný, a proto je nezbytné další osobní vozy konstruovat zcela nově.

1.1 Mladějovská průmyslová dráha

Polní dráha o rozchodu 600 mm Mladějov – Hřebeč se nachází poblíž města Svitavy, na moravské straně Hřebečského hřbetu. Původní účel průmyslové úzkokolejky byla přeprava lupku a z počátku i nekvalitního hnědého uhlí, z dolů podél trati a z dolů na Hřebči do šamotového závodu v Mladějově. Dráha velmi efektivně nahradila původní dopravu koňskými povozy. Stavba dráhy byla zahájena v květnu 1918 za pomoci válečných zajatců, železnice nejprve končila poblíž dnešního kilometru 2,5, kde bylo překladiště a stanice lanovky, která surovinu dopravila do výrobního závodu v Mladějově. Později, v roce 1924, byl dostavěn úsek dráhy do Mladějova, část koleje, vedoucí k bývalé lanovce, je dodnes využívána pro křižování, případně odstavení souprav. Nákladní vlaky tvořené až 30 dřevěnými, později ocelovými vozy VLO byly v provozu denně, po celý rok. [3]



Obr. 1: Historická mapa Mladějovské průmyslové dráhy [3]

Trasování dráhy je značně náročné, zhruba do 3. kilometru lze naměřit místy sklon až 35‰, dráha však mírně stoupá v celé délce. Minimální poloměr oblouku byl projektován R30, avšak v důsledku pozdějších úprav a rekonstrukcí jsou místy i poloměry oblouků R20.

Obr. 2: Lokomotiva č.1 s výletním osobním vlakem

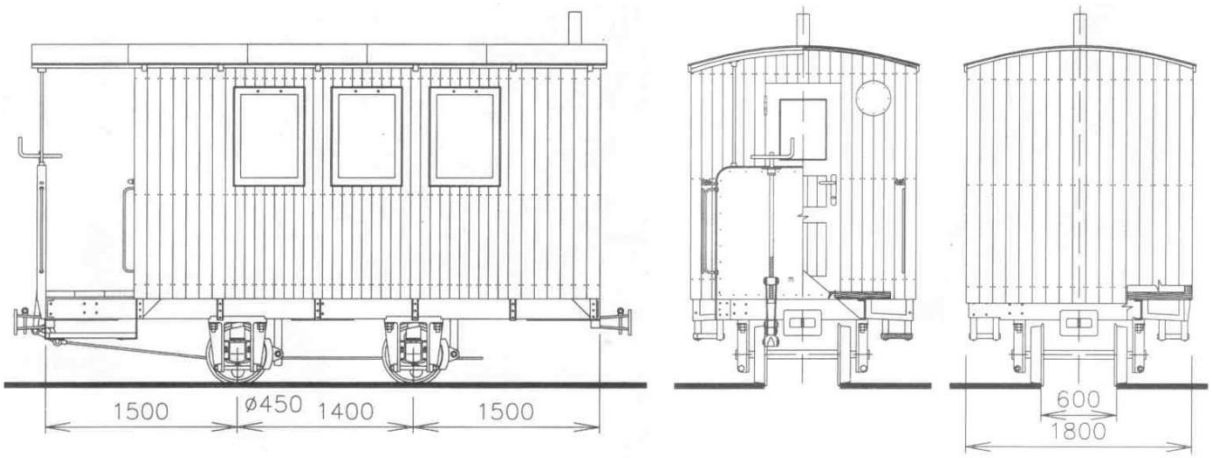
Vedení nákladních vlaků zajišťovaly, až do ukončení provozu v roce 1991, parní lokomotivy unikátní konstrukce s podpůrným tendrem - č. 1 (Krauss-Linz, rok výroby 1920) a č. 5 (Krauss-Linz, rok výroby 1929), které se nikdy nepodařilo nahradit. Na posunu v koncových stanicích složily malé motorové lokomotivy – BN60-H s hydrodynamickým přenosem výkonu a BNE50 s elektrickým přenosem (číslo v typovém označení určuje přibližný výkon spalovacího motoru). Ke konci provozu vozily část nákladních vlaků i rumunské dieselové lokomotivy FAUR L18H s hydromechanickým přenosem výkonu o výkonu 132kW, pro ty však báňský úřad předepsal těžší svršek 115/24, oproti původnímu 93/18, takže trať bylo nutné rekonstruovat. Tato rekonstrukce však postoupila pouze do kilometru 5,5, poté byl provoz šamotového závodu a tím i dráhy ukončen. [4]

Obr. 3: Lokomotiva FAUR L18H se soupravou nákladních vozů

Všechny typy hnacích vozidel se podařilo zachovat - parní lokomotivy vedou od května do září každý víkend osobní výletní vlaky, motorové lokomotivy jsou používány na posun, případně pro vedení stavebních vlaků.

Díky značnému úsilí dobrovolníků, působících v Mladějově, postupuje náročná rekonstrukce traťového svršku až do stanice Hřebeč.

Provoz výletních vlaků je v současnosti zajišťován dvounápravovými osobními vozy, konstrukčně i rozměrově vycházejících z jediného původního osobního vozu zvaného „Tříokeňňák“. [4]



Obr. 4: Výkres osobního vozu [3]

Obr. 5: Dvounápravový osobní vůz

1.2 Motivace

Spolek Mladějovská průmyslová dráha, z.s. (dále jen provozovatel) hledal cestu, jak zajistit významné rozšíření provozu díky postupné rekonstrukci trati do původní délky. Kvůli nízkému počtu původních nákladních vozů není možné tyto vozy rekonstruovat, neboť jsou využívány na pracovních vlacích, případně v historické nákladní soupravě. Stavba dalších

dvounápravových vozů byla vyhodnocena jako neekonomická a v provozu náročná na obsazení personálem. Východiskem je stavba podvozkových vozů o přibližně dvojnásobné přepravní kapacitě. U delších vozů je též variabilnější vnitřní prostor, lze vytvořit kombinované vozy např. s oddílem pro jízdní kola. Předpokládaná nižší hmotnost na sedadlo, spolu s jednodušší stavbou a použití moderních technologických postupů zajistí nižší výrobní náklady. Zcela zásadním prvkem těchto vozů budou podvozky, jenž se významně podílejí na výrobních nákladech a celkové spolehlivosti provozu.

2. Rešerše základních typů podvozků

2.1 Rámové pojezdy

2.1.1 Vagony s dřevěným rámem

Stejně jako u normálně rozchodné železnice byly první vozy dřevěné. Vagony měly vnitřní rám tvořený zpravidla dvěma masivními bukovými nebo dubovými podélníky (trámy) spojené několika příčníky. Celý rám vozu byl spojen pomocí ocelového kování. Dvojkolí měla vnitřní kluzná ložiska přichycená k podélníkům. Kola byla odlévaná z ocelolitiny a v případě brzděného vozu byla jednostranně brzděna pomocí dřevěných špalků. Brzdění bylo ruční, pomocí kliky a pákového převodu. Nástavba vozu byla ze dřeva, opatřená kováním a většinou sklopná pouze na jednu stranu. Jako narážecí ústrojí sloužila zpravidla přímo čela podélníků, u vozů novější konstrukce bylo dosazeno tzv. bosenské spřáhlo, pravděpodobně neodpružené. Spřahování bylo pomocí řetězu. Vozy se vyráběly v několika rozměrových řadách, pro svou jednoduchou konstrukci se udržely v provozu až do 50. let, kdy byly nahrazeny vozy s ocelovým oválným rámem. [3]

Obr. 6: Dřevěné vozy [3]

2.1.2 Vagony s oválným rámem

Podstatně trvanlivější konstrukcí jsou celokovové vozy VLO/VLB s oválným rámem. Vagony se vyráběly v několika provedeních, značené dle objemu korby. Oválný rám je tvořen

ohnutým válcovaným U profilem a skládá se zpravidla ze 2 polovin, levé a pravé. Ty jsou na čelech v oblasti spřáhla u lehčích konstrukcí přeplátovány plechem, který tvoří spřáhlo, resp. nárazník, a svařeny nebo snýtovány k sobě. Rám je dále tvořen páteří, která probíhá osou vozu a spojuje obě čela a příčníkem, který se nachází mezi nápravami, příčník i podélník jsou opět válcované U profily. U robustnějších konstrukcí může být podélník zdvojen, u nejlehčích konstrukcí vynechán. Díky jeho konstrukci je rám torzně poddajný a dobře se přizpůsobuje nerovnostem koleje, nicméně zejména u nejrobustnějších vozů není tato schopnost, především u křížových propadů, tolik patrná a dochází k odlehčování kol. K hlavnímu rámu jsou přivařeny nebo přinýtovány konzoly pro uložení neckovité korby, která je opět svařená nebo nýtovaná z úhelníků a plechu a je sklopná na obě strany vozu. Existuje také varianta s obrtlíkem – tzv. „oplen“. Dvojkolí jsou uložena ve valivých nebo kluzných ložiskách, ložiskové domky jsou přišroubovány na obvod rámu. Kola jsou odlévaná z ocelolitiny, nápravy soustružené z kruhové tyče, v případě brzděného vozu jsou kola jednostranně brzděna litinovými špalky. Brzda je pouze ruční, ovládaná klikou s pákovým převodem. Spřahovací ústrojí tvoří u lehčích konstrukcí již výše zmíněný plech, který spojuje obě poloviny rámu a zároveň slouží jako nárazník a trn, který slouží pro přenos tažné síly. U robustnějších konstrukcí je spřáhlo plně odpružené listovou pružinou. Vozy se spřahují řetězem. První vozy tohoto typu se začaly objevovat ve 30. letech 20. století a postupně úplně nahradily dřevěné vozy.

Obr. 7: Nákladní vůz VLO 0,75

2.1.3 Důlní vozy

Dalším významným typem vozů jsou důlní nákladní vozy JDV (Jednotný důlní vůz), které jsou zcela odlišné konstrukce než v předchozích případech. Rám vozu je svařenec, podélníky tvoří plechy přivařené na čelníky z ocelolitiny a spolu s nápravnicemi tvoří tzv. „bobinku“, na které je uložena korba. Na předku rámu je umístěno spřahovací ústrojí, nárazník tvoří přímo čelo vozu, náraz je částečně tlumen pryžovou vložkou, která zároveň snižuje hlučnost při nárazu. Vozy se spřahují řetězem. Vůz má nezávisle otáčivá kola, nápravnice je čtvercového

průřezu, ocelolitinová kola jsou uložena v kuželíkových ložiskách. Nápravnice nejsou nijak odpruženy a rám vozu není poddajný v žádném směru, vůz však má relativně malý rozvor. Nástavba je robustní svařovaná konstrukce z plechů, je nesklopná a má zesílené dno. Vyklápění vozů probíhalo na rotačním výklopníku. Vozy nebyly vyráběny v provedení s brzdou, brzdění musela zajistit lokomotiva, na pracovišti byly vozy zajištěny klínem.

Obr. 8: Vozy JDV 0,5

2.2 Podvozky nevypružené

2.2.1 Oválný rám

Velmi zdařilou konstrukcí je plošinový vůz s žebřinovým rámem s upravenými rámy vozů VLO, které tvoří samotné otočné podvozky. Efekt poddajného rámu podvozku je zde potlačen, otočný čep se nenachází uprostřed podvozku, ale je spolu s dvojkolími posunut k zadnímu čelu, rozvor podvozku je zmenšen. Dobré chodové vlastnosti vozu jsou možné díky torzně poddajnému žebřinovému rámu vozu, který je svařen z válcovaných U profilů, tvořící podélníky a čelníky. Podélníky vozu jsou dále propojeny jen nad podvozky a uprostřed vozu. Velké křížové propady se vyrovnávají vůlí v čepovém uložení podvozku. Jako určitou nevýhodu lze vnímat přenos tahových a tlakových sil přes čela podvozků, navíc s nesymetricky umístěným čepem. Při velkých tlakových silách dochází, především v obloucích, k vytočení podvozku do neradiální polohy, zadní dvojkolí začne okolkem šplhat po hlavě kolejnice a může dojít k vykolejení, především pokud vůz není ložený. Tato konstrukce pochází z bývalé Spolchemie, nyní Setuza v Ústí nad Labem, kde byly v provozu desítky vozů na rozchodu 565mm. [5]

Obr. 9: Nevypružený otočný podvozek s oválným rámem

Použití tohoto typu podvozku je omezené pouze na nákladní vozy, při zkušební přestavbě nákladního vozu na osobní došlo k výraznému vyztužení rámu a vůz již nebylo možno na tomto principu provozovat. Kvůli absenci vypružení mají podvozky velmi tvrdý chod a na některých úsecích trati se, vzhledem k málo pojížděným kolejnicím s důlkovou korozí, přenáší od kol značné vibrace zcela neslučitelné s osobní dopravou.

2.3 Podvozky vypružené

2.3.1 Diamond

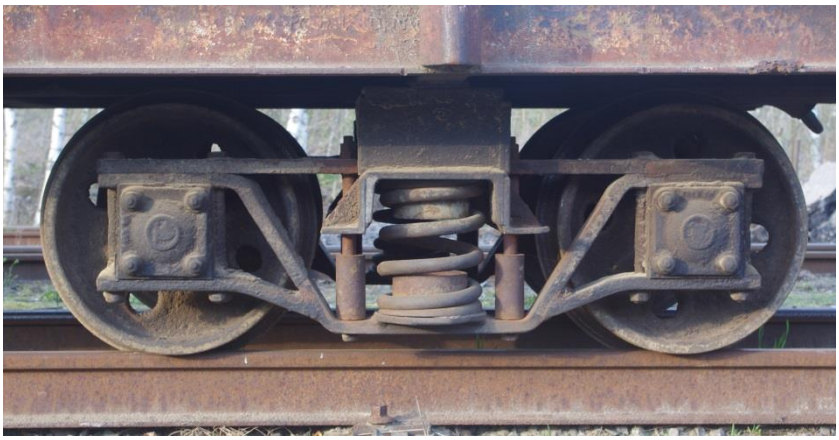
Celosvětově nejúspěšnější konstrukce podvozku je tzv. diamond. Jde o jednoduchou konstrukci sestávající z jednoho příčníku, dvou postranic a dvou dvojkolí. Podvozek je vybaven pouze sekundárním vypružením, provedení se šroubovitými pružinami je zpravidla tlumeno třecími tlumiči speciální konstrukce. [6]

Na rozchodu 600mm se vyskytují 2 základní konstrukce:

2.3.1.1 Diamond Barber

Prvním typem konstrukce je podvozek Barber, který se vyznačuje valivými ložisky a nezávislými postranicemi. Toto provedení je obzvláště vhodné pro tratě s nekvalitním svrškem, podvozek se dobře přizpůsobuje křížovým propadům. Nevýhodou této koncepce je její relativně nízká maximální rychlost, která však na úzkých rozchodech postačuje. Další nevýhodou je kosení podvozku v oblouku, které zvyšuje jízdní odpory a riziko vykolejení.

Příčník podvozku tvoří válcovaný profil U, po stranách vyztužený úhelníkem, v úhelníku jsou otvory pro vedení příčníku. Na příčníku jsou navařeny jednoduché kluznice, přenos sil na rám vozu je proveden čepem. Postranice podvozku jsou sešroubované a svařené z ohýbaných tyčí obdélníkového průřezu. Na postranici se dále nachází dosedací plocha šroubovité pružiny a vodící svorníky příčníku s trubkovými dorazy. Ložiskové domky jsou odlévané, čtvercového tvaru s vybráním pro obdélníkové profily postranice a svorníky upevněné na postranici. Nápravy běží v dvouřadých naklápěcích kuličkových ložiskách. Kola dvojkolí jsou odlévaná z ocelolitiny. Rám vagonu je robustní rigidní konstrukce z válcovaných profilů průřezu U krytá plechem, po obvodu jsou rozmístěny otvory pro zasunutí klanic.



Obr. 10: Diamond Barber výrobce Škoda

Ačkoliv jsou podvozky vypruženy, dobré chodové vlastnosti mají pouze v loženém stavu, neboť v prázdném stavu pružiny, resp. příčník doléhá přímo na horní doraz, tj. postranici. Přítlačná síla je značná a funkce vypružení je eliminována a schopnost podvozku se přizpůsobit nekvalitnímu svršku je značně potlačena. To vede k občasnému vykolejení, především na výhybkách. V loženém stavu a při vyšších rychlostech má vůz tendenci k rozkolébání, protože utlumení je realizováno pouze třením mezi příčníkem a svorníkem zajišťujícím jeho vedení.

2.3.1.2 Diamond Archbar

Druhé provedení je typ Archbar, nejstarší podtyp podvozku Diamond. Nápravy jsou uloženy v kluzných ložiskách a postranice propojeny válcovanými nosníky průřezu U. Relativní pohyb ložisek zabezpečují poddajné postranice, které jsou zhotoveny z ohýbaných pásovin. Vypružení je provedeno pomocí evolutních pružin.

Příčník podvozku tvoří válcovaný profil U. Skříň je na příčníku uložena pomocí válečků. Přenos sil je realizován pomocí čepu. Postranice jsou sešroubovány z ohýbaných ocelových tyčí obdélníkového průřezu a obě jsou vzájemně propojeny válcovanými profily U, které probíhají v celé šířce podvozku, z nichž 2 jsou zastavěny na výšku a jeden tvoří dosedací plochu pro evolutní pružiny. Dvoudílné ložiskové domky jsou odlévané, s kluznými ložisky. Domky jsou svorníky připevněny k postranicím. Kola dvojkolí jsou odlévaná z ocelolitiny. Vagon je skříňové konstrukce s nýtovaným rámem z válcovaných profilů U.

Obr. 11: Diamond Archbar z dráhy WEM (Německo)

2.3.2 Podvozky důlních osobních vagonů

Pro přepravu pracovníků v dolech byly vyvinuty vozy DM12. Na rozdíl od důlních vozů JDV mají plně otočné dvounápravové vypružené podvozky, na kterých je pomocí osazení čepu uložena dělená, svařovaná, skříň vozu. Rám podvozku je kompaktní konstrukce, tvoří jej 2 podélníky z ohýbaných profilů L, ve kterých jsou vytvořeny vybrání pro uložení nápravnic. Podélníky jsou propojeny konzolou pro uložení výkyvného čepu pro spojení skříně s podvozkem. Vozy využívají stejné nápravnice jako vozy JDV. Na nich jsou navařeny svislé čepy, které vedou nápravnici vůči rámu. Každá nápravnice je vypružena dvěma šroubovitými pružinami, které jsou nasazeny na svislých čepech. Některé podvozky jsou opatřeny ruční pákovou brzdou, která pomocí dvou litinových špalíků působí na příslušná kola jedné nápravnice. Vozy jsou schopny projíždět oblouky o poloměru 5m, spojovány jsou tuhou spojkou. Díky vypružení, malému rozvoru a relativně nízko umístěnému těžišti jsou vozy schopny projet veškeré nerovnosti, nicméně jsou díky malé šířce jízdní plochy náchylnější k propadnutí do kolejí v místech s nekvalitním svrškem. Podvozky jsou relativně měkce vypruženy, ale jízda v těchto vozech není příliš komfortní, zejména díky stísněnému prostoru, vynuceném důlním provozem.

2.3.3 Podvozky s rozsochovým vedením

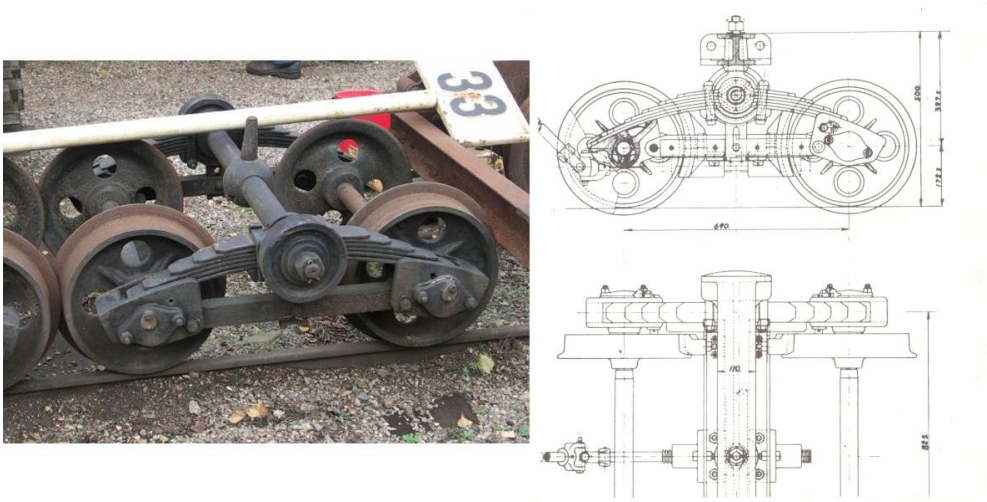
Tyto podvozky jsou pouze primárně vypružené a hlavním znakem, který spojuje relativně širokou škálu konstrukčních řešení, je rozsochové vedení. Vypružení je provedeno listovými pružnicemi nebo evolutními pružnicemi, zřídka pružinami šroubovitými. Některé podtypy mohou mít na jednom čele narážecí ústrojí a otočný čep tedy přenáší i tahové a tlakové síly.

Rám podvozku je nýtovaný z 2 podélníků, dvou čelníků a jednoho příčníku, všechny z ocelových válcovaných profilů průřezu U. Skříň vozu je uložena na příčníku pomocí kulové torny a válečkových opěr, které jsou však uchyceny k rámu vozu. K podélníkům jsou přinýtovány rozsochy, které jsou vespod semknuty sponou, která je společná s druhým párem rozsoch. Rozsochy jsou bez příložek. Na kované koníky jsou přes dvojitý závěs uchyceny listové pružnice. Ložiskové skříně jsou odlévané, nápravy jsou uloženy v kluzných ložiskách. Kola jsou zhotovena z ocelolitiny, v případě brzděného podvozku jsou jednostranně brzděna litinovými špalíky, brzda je pouze ruční.

Obr. 12: Podvozek s rozsochovým vedením (KŘD)

2.3.4 Skandinávská koncepce

Nekonvenční konstrukcí jsou podvozky podobné koncepci Diamond, avšak ložiskové domky jsou uložené kyvně. Postranici tvoří tyč čtvercového průřezu, která má na koncích díry pro čepy ložiskových domků a uprostřed vyfrézovaný otvor pro vedení příčníku. Ložiskové domky jsou odlévané, nápravy běží v kluzných ložiskách. Domky jsou čepem spojeny s čtvercovou tyčí a shora do vybrání na ně dosedá listová pružnice. Příčník je kruhového průřezu, listové pružnice tento profil obtékají a jsou staženy sponami. Na jeho koncích jsou kladky pro uložení rámu vozu, otočný čep je kuželovitého tvaru. Kola jsou tradičně ocelolitinová, v případě brzděného podvozku jsou jednostranně brzděna litinovými špalky. Brzda je nezvyklého provedení - rozpínání brzdících ramen je provedeno závitem namísto obvyklého pákoví, hřídel se závitem je ovládána klikou a krouticí moment je přenesen na podvozek pomocí hřídelů s křížovými klouby.



Obr. 13: Podvozek Skandinávské koncepce

3. Specifikace požadavků

Provozovatel formuloval na základě zkušeností řadu parametrů. Podvozky musí být vypružené, minimálně jednostupňově, jejich výroba a provoz co nejlevnější. Roční kilometrický proběh je předpokládán 1600 kilometrů. Brzda musí být jednoduše a rychle seřiditelná, brzdění ruční, u vagonu bude brzděn pouze jeden podvozek přiléhající k plošině s klikou ruční brzdy. Podvozek je též nutno konstruovat s ohledem na možné vykolejení, všechny části, které by mohly být poškozeny, musí být snadno vyměnitelné, nebo opravitelné.

3.1 Tabulka požadavků

	Požadovaná hodnota	Podmínka	Přání
Únosnost minimálně 2,5t na podvozek	Nutné	X	
Maximální rychlost	20km/h	X	
Univerzální použití	Nutné	X	
Vypružení	Minimálně jednostupňové	X	
Možnost zástavby brzdy	Nutné	X	
Použití standardizovaných komponent	Maximální		X
Obrábění	Minimální	X	
Výroba a montáž	Jednoduchá	X	
Trvanlivost opotřebitelných součástí	10 let	X	
Interval mezi opravami	10 let	X	
Výrobní náklady	Nízké	X	
Odolnost proti únavě materiálu	Vysoká	X	
Flexibilita konstrukčního návrhu	Vysoká		X
Dvojkolí	Původní z vozů VLO		X

Tab. 1: Tabulka požadavků

3.2 Porovnání koncepcí

V rešerši je uvedena řada typů podvozků. Pro budoucí návrh nelze uvažovat s nevypruženými podvozky, neboť jejich užití pod osobním vozem se neosvědčilo a jízdní komfort takového podvozku je velmi nízký. Nevhodné je též užití důlních podvozků, neboť ty jsou konstruovány s ohledem na specifické požadavky důlních provozů, např. poloměry oblouků okolo 5m.

Podvozky s rozsochovým vedením neumožňují užití normalizovaných ložiskových domků a skříně je nutno uložit na kulovou tornu kvůli zabezpečení vzájemných pohybů skříně a podvozku. Mezi klady lze zařadit snadnou montáž brzdy a malé nevypružené hmoty. Jako možnou výhodu lze též uvést historický vzhled, který je pro provozovatele muzejní dráhy také důležitým parametrem.

Skandinávskou koncepci je nutno, i přes její značnou eleganci, také vyřadit, neboť její výroba by byla složitá, užití normalizovaných dílů se omezuje pouze na šrouby. Zástavba brzdy je obtížná a odlehlost špalků špatně seřiditelná.

Diamond Archbar je díky vzájemnému propojení postranic odolnější vůči kosení podvozku v oblouku. Nevýhodou je však zvýšená torzní tuhost a tím horší chování podvozku na zborcené koleji. Na přesnost poměrně náročnou operací je ohýbání masivních obdélníkových profilů, které výrobu zesložiťují.

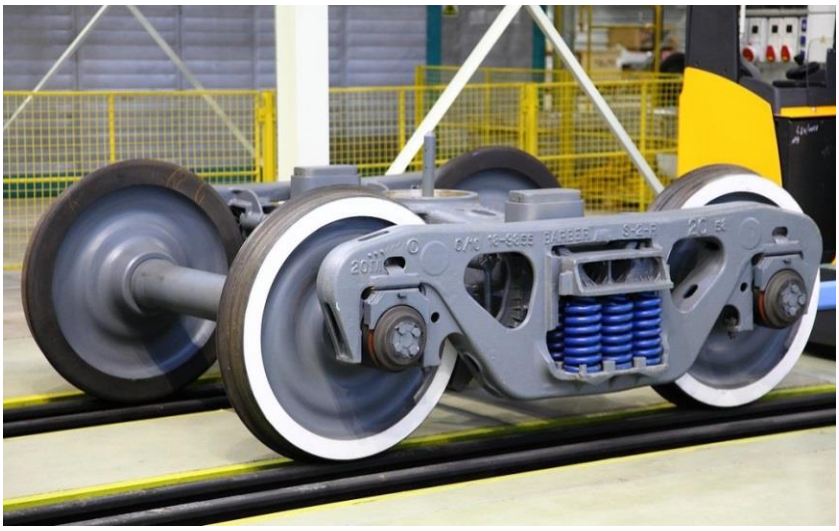
Poslední a nejvýhodnější koncepcí je Barber. Tato koncepce je v současnosti nejrozšířenějším podvozkem nákladních vozů, provozován je ve většině států s železničním systémem po celém světě, v Evropě však pouze u stavebních vlaků. Umístění brzdy je možné, obrábění lze minimalizovat, ložiskové domky lze použít v nejrůznějších formách.

3.3 Volba koncepce podvozku

Jako koncepce byla zvolena varianta Diamond – Barber. Vzhledem k požadovaným nízkým výrobním nákladů bude nutné zvýšit podíl standardizovaných součástí, především ložiskových domků, jejichž výroba je u varianty uvedené v rešerši náročná. Důležité bude též minimalizovat obrábění a maximálně zjednodušit montáž. Toho lze dosáhnout např. pálením součástí z plechu, kdy budou všechny hrany, plochy a otvory opracovány s požadovanou jakostí bez nutnosti dalšího obrábění. Tam, kde nebude pálení z plechu ekonomické, volit normalizované polotovary s jednoduchým obráběním, typicky vrtáním nebo řezáním. Dvojkolí použít z nadbytečných vozů, v úvahu připadají vagony VLO 0,75-600 s průměrem kol 350mm a průměrem ložiskového čepu 45mm. Návrhem pružin pověřit specializovanou firmu kvůli časové úspoře a minimalizaci chyb. Vhodné by bylo podvozek řešit stavebnicově - zvýšení únosnosti řešit zesílením příslušných komponent bez nutnosti přepracovávat návrh. Samotná skříň vozu by měla být uložena co nejníž.

4. Konstrukční návrh

Po ujasnění všech parametrů s provozovatelem bylo přistoupeno k samotnému návrhu. Provozovatel vyjádřil přání vzhledově se přiblížit americkému podvozku typu Barber Roller S-2.



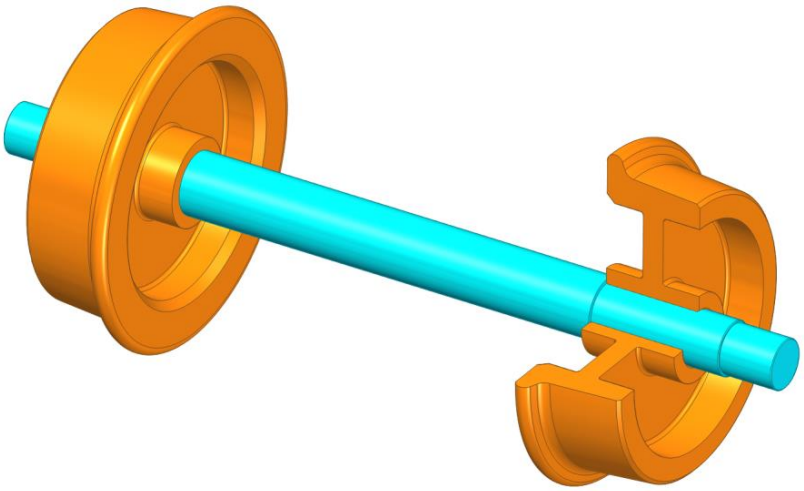
Obr. 14: Podvozek Barber Roller S-2 R [7]

4.1 Dvojkolí

Původní požadavek provozovatele byl použít nadbytečná dvojkolí s ložiskovými domky z nákladních vozů VLO. Bohužel tyto dvojkolí nebylo možné použít kvůli jejich špatnému stavu – většina náprav je ohnutá, ložiskové domky popraskané a kola mají ojeté jízdní plochy. Kola mají též malou šířku jízdní plochy, kvůli které může hrozit propadnutí podvozku do koleje.

Všechny tyto vady jsou odstranitelné, nápravy lze vyrobit nové, jízdní plochy navařit, osoustružit a rozšířit je navařením prstence. Bohužel, při pokusu o slisování kol z nápravy

došlo, částečně vlivem chybného postupu, k prolomení desky kola. Dalších pokusů bylo zanecháno, protože nebylo možné promptně vyrobit přípravek, který by rozlisování umožnil. K dispozici též není normalizovaná trubka s požadovaným průměrem a tloušťkou, kterou by bylo možné snadno rozšířit jízdní plochy. Samotné navařování jízdních ploch je mimořádně časově náročné a následné obrábění je nesnadné, a proto bylo rozhodnuto, i přes výrazné zvýšení výrobních nákladů o výrobě nových dvojkolí.



Obr. 15: Pohled na nově navržené dvojkolí

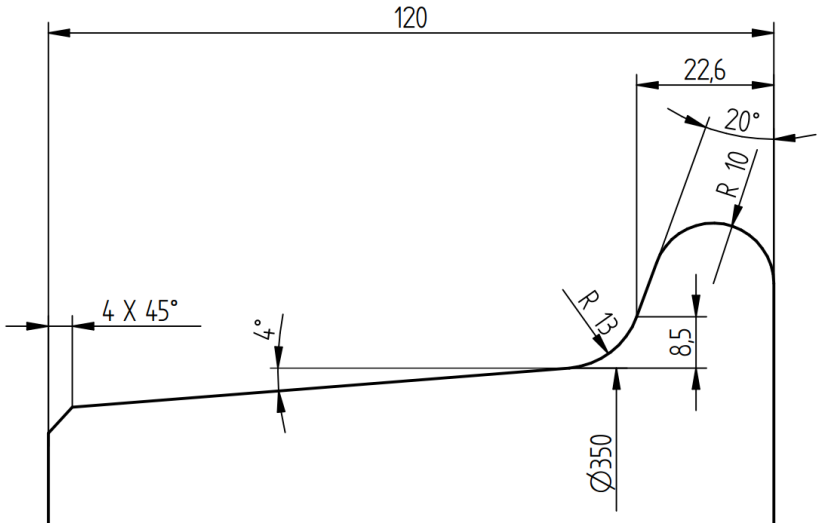
4.1.1 Náprava

Náprava je navržena jako soustružená z kruhové tyče válcované za tepla z materiálu S355J2. Sedla pro uložení kol jsou navržena s dostatečným přesahem. Kvůli minimalizaci nákladů spojených s obráběním je náprava mezi koly neopracovaná.

Obr. 16: Pohled na vyrobená kola s nápravami

4.1.2 Kolo

Vzhledem k nedostupnosti kruhové tyče požadovaného průměru a kvůli obtížné manipulaci s touto, jsou polotovary kol navrženy jako kruhové výpalky z plechu. Kola jsou monobloková, soustružená, jízdní plochy jsou na čisto soustružené až po nalisování na nápravu kvůli dodržení souososti s ložisky. Věnec kola je navržen s velkým přídavkem, který umožní až tři reprofilace jízdní plochy bez nutnosti navařování. Jízdní obrys je kuželový, standardního tvaru používaného u provozovatele, okolek je vzhledem k dlouhodobým zkušenostem mírně zesílen.



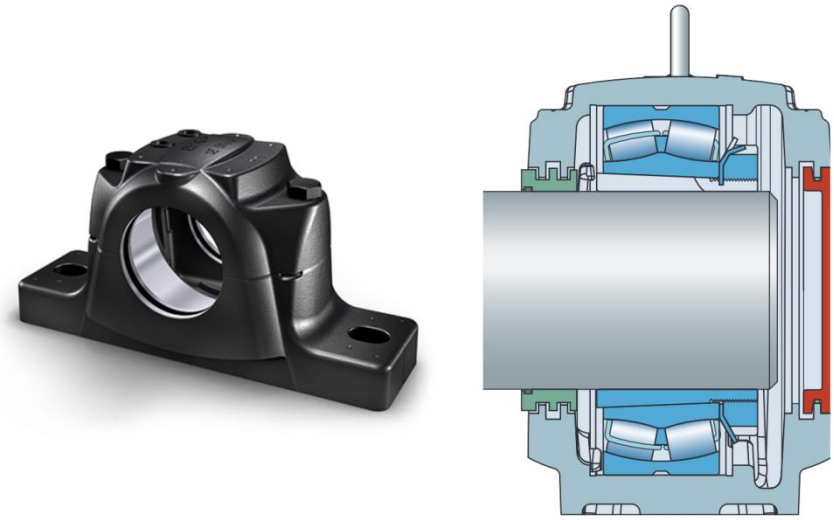
Obr. 17: Obrys používaný provozovatelem

4.2 Ložiska

Z bezpečnostních důvodů není možné použít ložiskové domky spolu s původními nápravami. Použití obdobných ložiskových jednotek z jiných vozů nepřipadá v úvahu - vozy jsou pravidelně provozovány a stav domků je podobný, do budoucna neudržitelný. Bylo tedy nutné vyhledat alternativu.

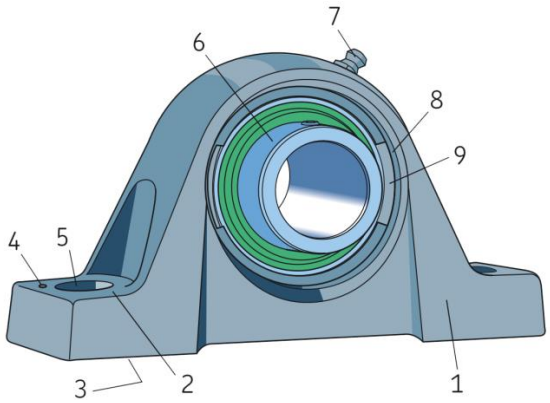
Ložiska musí být, vzhledem ke koncepci podvozku, naklápěcí. Ložiskové těleso musí být dostatečně masivní konstrukce, aby odolalo dynamickým rázům a s příznivými montážními rozměry.

Jedním z řešení jsou dvouřadá kuličková naklápěcí ložiska integrovaná do dělených ložiskových těles SKF SNL. Tato tělesa jsou robustní, avšak i značně rozměrná, což nejde vstříc požadavku na co nejnižší uložení skříně vagonu. Velkou předností je značná variabilita řešení, do zápichů na vstupech/výstupech do/z tělesa lze umístit různé druhy těsnění, nebo koncové víko. Zabudovat lze různé typy ložisek - kuličková, válečková, toroidní (SKF CARB), soudečková a to na upínacím pouzdru i bez něj. Kromě dvouřadých kuličkových ložisek připadají v úvahu ještě ložiska soudečková - ty mají značnou únosnost, avšak jsou zcela mimo finanční možnosti provozovatele.



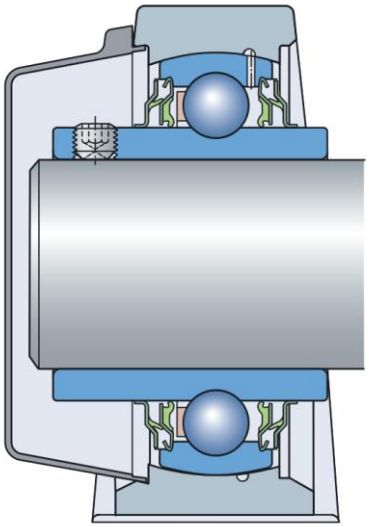
Obr. 18: Pohled na těleso SNL a řez tělesem se soudečkovým ložiskem na up. pouzdru [8]

Druhým řešením jsou stojaté ložiskové jednotky Y, ty sice nejsou osazeny naklápěcími ložisky, ale umožňují naklápění celého ložiska pomocí kulové plochy. Jednotky jsou osazeny jednořadými kuličkovými ložisky YAR s upínáním na hřídel. Ložiskové tělesa nejsou vybavena těsněním, to je řešeno pomocí kontaktního těsnění přímo na ložisku. Z estetických důvodů jsou domky vybaveny koncovým víkem. Tato varianta je finančně nejpříznivější, má kompaktní rozměry a jde součásti, které jsou běžně dostupné.



1 Litinový ložiskový domek
2 Dosedací plocha šroubu
3 Styčná plocha
4 Předlitý důlek pro kolík
5 Otvor pro šroub
6 Ložisko YAR
7 Maznice
8 Zápich pro koncové víko
9 Vybrání pro montáž ložiska

Obr. 19: Popis ložiskové jednotky Y [9]



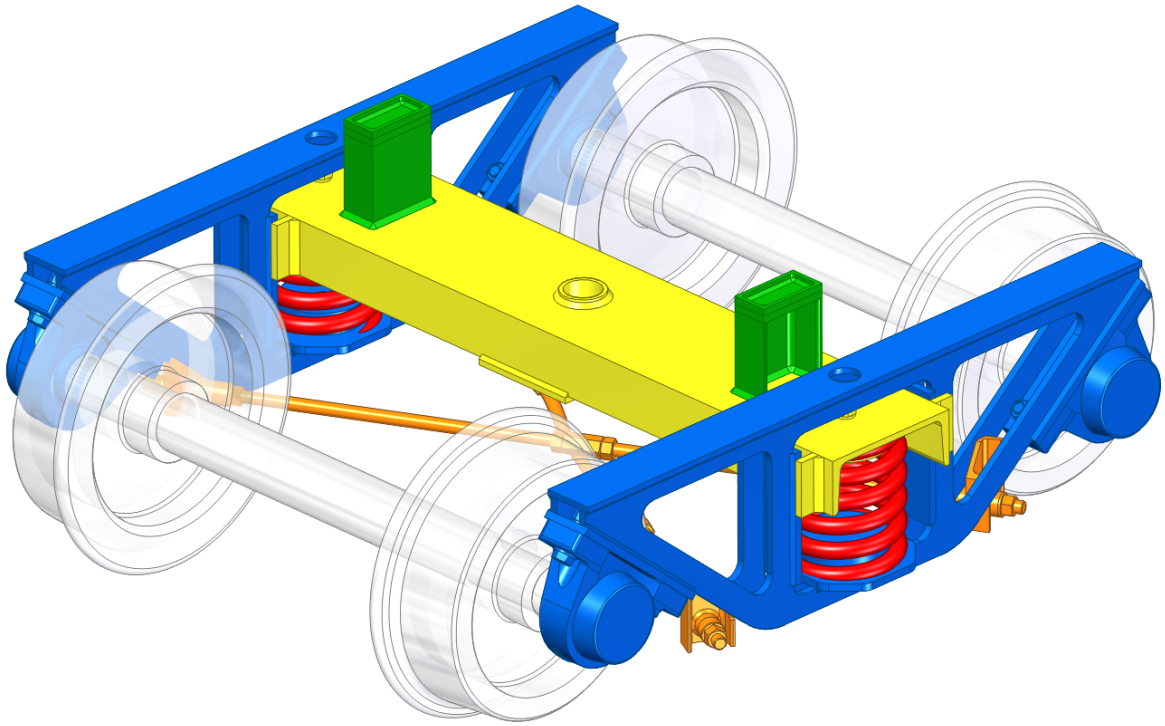
Obr. 20: Řez ložiskovou jednotkou Y s koncovým víkem [9]

Protože dvojkolí jsou vyráběná nově, není nutné dodržet původně požadovaný průměr čepů nápravy 45mm.

Obr. 21: Porovnání velikostí ložiskového domku, pružiny a koncového víka

4.3 Rám podvozku

Rám se skládá ze tří základních částí – jednoho příčníku a dvou postranic. Jednotlivým konstrukčním celkům se věnují následující kapitoly, na obrázku níže jsou tyto pro větší přehlednost barevně odlišeny.



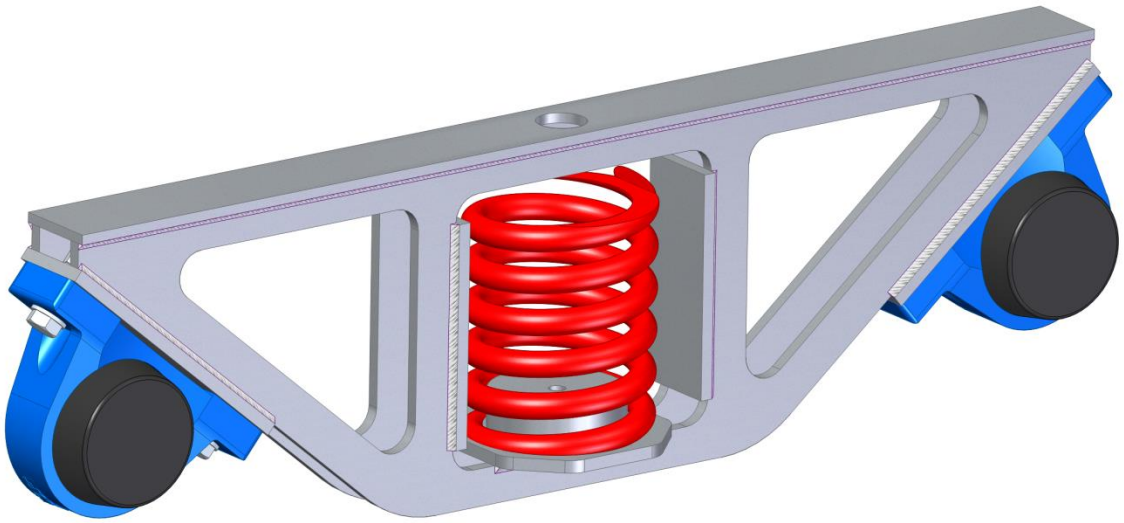
Obr. 22: Rám podvozku

4.3.1 Postranice

Konstrukce postranice je řešená jako svařenec z výpalků a normalizovaných polotovarů. Základní nosnou část tvoří dva výpalky lichoběžníkového tvaru, které přibližně vychází z tvaru používaného u ostatních podvozků koncepce Diamond. Tento lichoběžník je pálen z plechu tloušťky 10mm. Tloušťka může být variabilní a tím pádem i únosnost postranice lze snadno přizpůsobit příslušnému vozidlu a použití.

Obr. 23: Lichoběžníkový výpalek

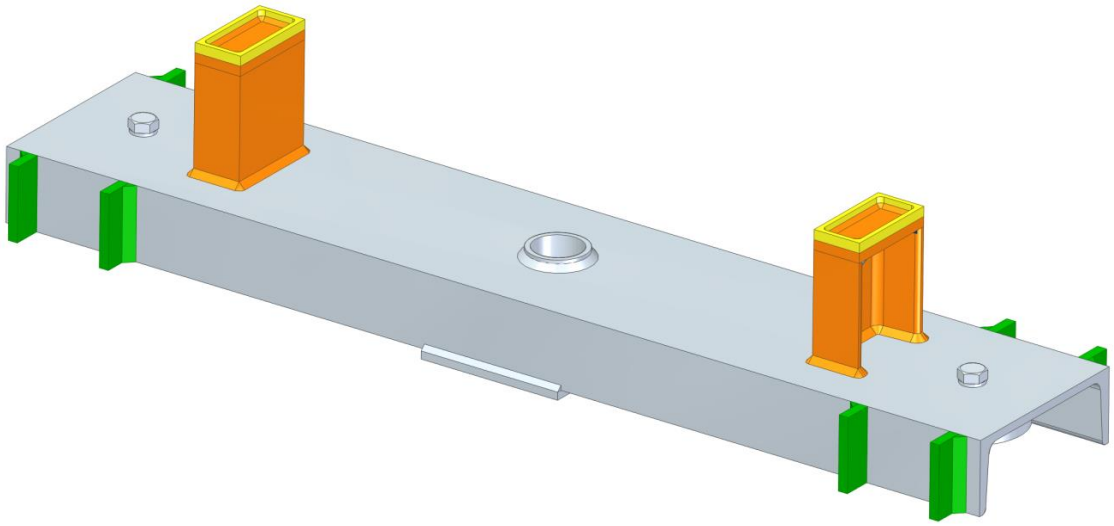
Tyto lichoběžníky jsou nahoře propojeny pásnicí, která má uprostřed díru pro klíč pro dotažení šroubu vedení pružiny v příčníku. Po stranách lichoběžníku jsou na každé straně přivařeny díly z ploché oceli s otvory pro šrouby, kterými je připevněna ložisková jednotka SKF SY. Šrouby jsou zajištěny podložkou Nordlock. Na spodní straně prostředního otvoru je přivařen osmiúhelníkový výpalek, na který dosedá pružina. Na tomto výpalku leží válcové vedení pružiny, které je staženo jedním šroubem zajištěným podložkou Nordlock. Po stranách prostředního otvoru jsou dva kusy ploché oceli, které tvoří kluzné vedení příčníku.



Obr. 24: Postranice s ložiskovými domky

4.3.2 Příčník

Příčník je tvořen normalizovaným polotovarem – ocelovým nosníkem průřezu U. Uprostřed příčníku je přivařeno pouzdro pro otočný čep, které je tvořeno normalizovanou silnostěnnou bezešvou trubkou odpovídajícího průměru, kterou již není potřeba obrábět. Aby pouzdro nebylo uloženo letmo, je zespodu příčníku přivařena výztuha. Dále jsou na příčník přivařeny konzoly kluznic (viz dále). V ose pružin jsou v nosníku vyvrtány otvory pro šrouby upevňující vedení pružin, tyto šrouby jsou dotahovány přes zmíněné otvory v horní části postranice. Na bokách příčníku jsou po montáži s postranicemi přivařeny narážky příčného vypružení, ty jsou z normalizované ploché oceli. Narážky nejsou stavitelné. Po montáži příčníku s postranicemi a přivařením narážek je tento celek nerozebíratelný.



Obr. 25: Příčník

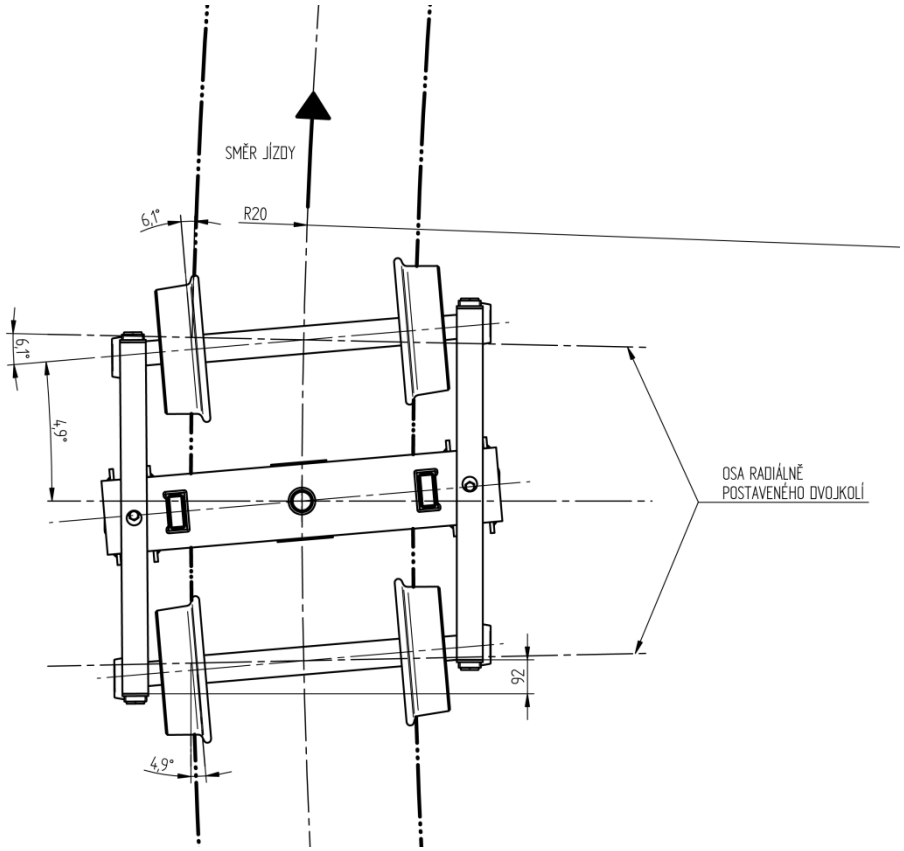
4.3.3 Uložení hlavního rámu na podvozek

Skříň vozu je na příčníku uložena pomocí otočného čepu a dvojice neodpružených kluznic. Konstrukce kluznic neumožňuje náklon skříně vůči příčníku, a proto tyto pohyby musí zajistit vypružení. Pro zabezpečení bezpečné vzdálenosti postranice od rámu vozu při propružení jsou kluzné plochy vyvýšeny nad příčník pomocí krátkých kusů nosníků průřezu U. Kluzná plocha je tvořena výpalkem – rámečkem, v jehož středu je mazivo pro mazání kluzné plochy. Mazivo je doplňováno úhlovou maznicí. Případně lze instalovat kluzné desky, jenž však vyžadují odpovídající jakost stykové plochy na rámu vagonu.

4.3.4 Vazba mezi postranicemi

Pro zvýšení komfortu jízdy, především při vjezdu do oblouků bez přechodnic, je vhodné podvozky vybavit příčným vypružením. Toho je u řešeného podvozku dosaženo příčnými vůlemi v uložení postranice a příčníku s využitím flexi-coil efektu. Při přejíždění nerovností, kolejnicových styků, případně při brzdění vznikají podélné rázy, které jsou, vzhledem k pouze otočné vazbě příčníku na rám vozu, tlumené též s využitím flexi-coil efektu s vůlemi v podélném směru.

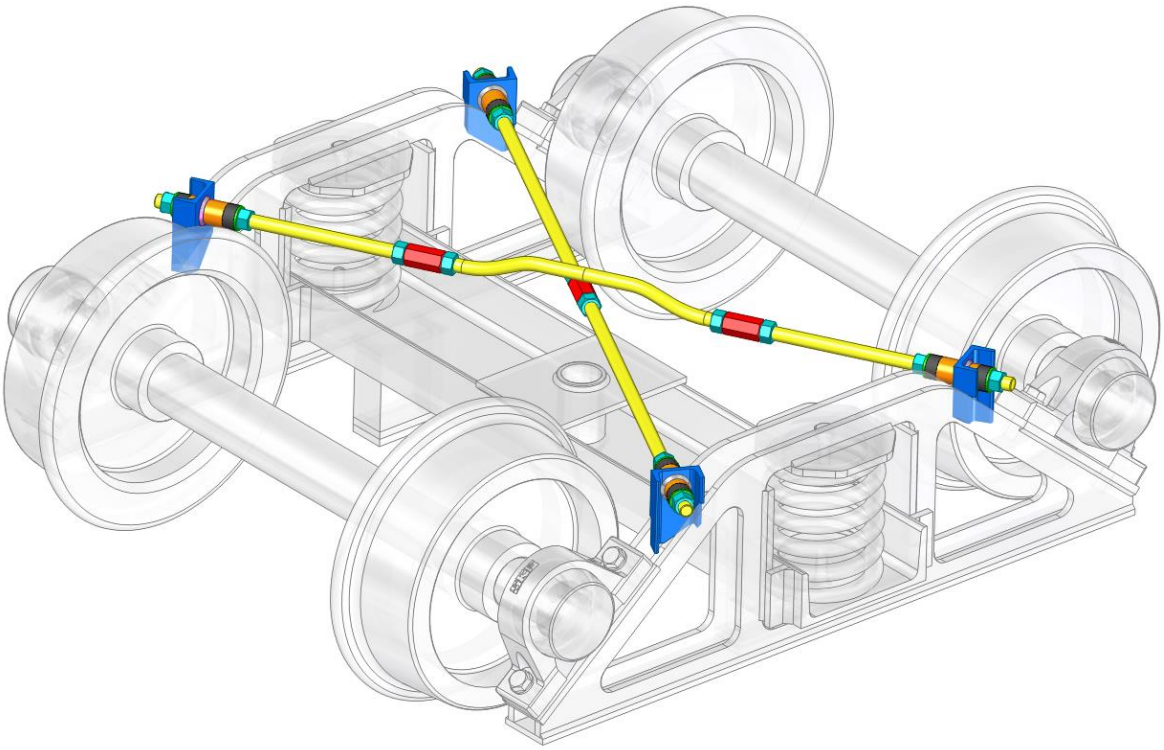
Uspořádání s vůlemi ve všech směrech však umožňuje pohyb postranic nezávisle vůči sobě. To vede k problémům při průjezdu obloukem, kdy dojde ke kosení podvozku - předsunutí vnitřní postranice vůči vnější, dvojkolí se postaví do polohy, která je v případě předního dvojkolí opačná, než radiální, se záporným úhlem náběhu a hrozí vykolejení.



Obr. 26: Průjezd obloukem bez křížové vazby při vyčerpání vůlí

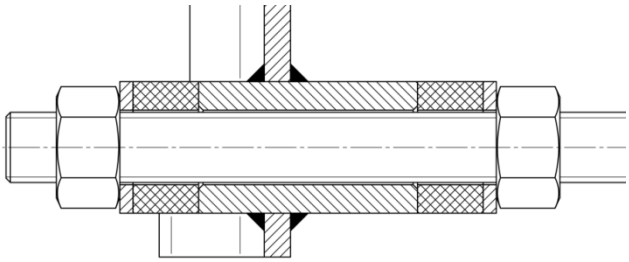
Při vyčerpání zvolených vůlí dojde v oblouku k přesazení postranic vůči sobě o 92mm a úhel náběhu kola bude 4,9°. Tato skutečnost byla i prakticky ověřena při zkušebním zavázání podvozků pod vůz, kdy při zkušební jízdě v malé rychlosti v oblouku téměř došlo k vyčerpání vůlí a vibrace od tření mezi okolkem a hlavou kolejnice byly snadno pozorovatelné. V přímé koleji se podvozek rychle srovnal a choval se klidně.

Aby nedocházelo k tomuto nebezpečnému jevu, byla navržena křížová vazba mezi postranicemi, která znemožní posun postranic vůči sobě a zachová tedy čtvercovou konfiguraci, ale schopnost podvozku přizpůsobit se křížovým propadům, tj. kývání postranic okolo příčné osy podvozku, zůstane zachováno.



Obr. 27: Pohled na vazbu mezi postranicemi

Vazba je tvořena táhly, která jsou sešroubovaná z několika kusů závitových tyčí pomocí prodloužených matic, jedno táhlo je uprostřed, v místě křížení, prohnuté. Táhla jsou v postranicích uložena v konzolách s přivařeným pouzdrem. Konzoly jsou tvořeny kusem opracovaného válcovaného normalizovaného nosníku průřezu U, které jsou k postranici přivařeny. Pouzdro je soustružené z kruhové tyče. Táhla jsou vložena do pouzder, na obě čela pouzdra přiléhá silentblok z materiálu EPDM. Silentbloky umožní mírný pohyb táhel a tím i postranic. Na silentbloky přiléhá normalizovaná podložka a táhla jsou zajištěna maticemi, jejichž závity jsou po montáži jištěny proti povolení lepením.



Obr. 28: Řez uložením táhla

Táhla jsou dělená, aby je po případném vykolejení bylo snadné a rychlé opravit, nebo vyměnit.

4.4 Vypružení

Vůz je odpružen pomocí dvou párů šroubovitých vinutých pružin, vypružení je pouze sekundární. Tyto pružiny byly navrženy ve spolupráci se specializovanou firmou se zkušenostmi v železničním průmyslu. Materiál pružin je 50CrV4 (0,47-0,55% C, 0,9-1,2% Cr, 0,1-0,2% V, <0,4% Si, <1,1% Mn).

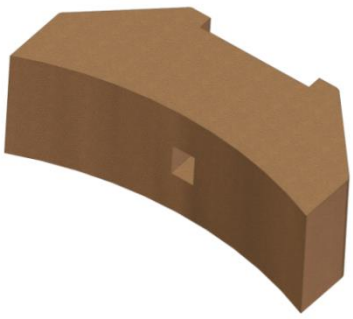
Výpočet byl proveden v programu MITCalc, výsledky výpočtu jsou přiloženy v příloze.

Požadované parametry pracovního cyklu	Proměnná	Hodnota	Odch. [%]	Jednotky
Maximální pracovní zatížení	F_8	12500,0	9,0	[N]
Minimální pracovní zatížení	F_1	4000,0	12,0	[N]
Délka plně zatížené pružiny	L_8	140,0	0,0	[mm]
Požadovaný pracovní zdvih pružiny	H	40,0	0,0	[mm]
Délka předpružené pružiny	L_1	180	0,0	[mm]

Tab. 2: Vstupní parametry vypružení

4.5 Brzda

Provozovatel preferuje špalíkovou jednostrannou brzdu s použitím brzdových špalků určených pro vozy VLB 1,5. Brzda je pouze ruční, přenos ovládací síly na podvozek je řešen lanovodem.

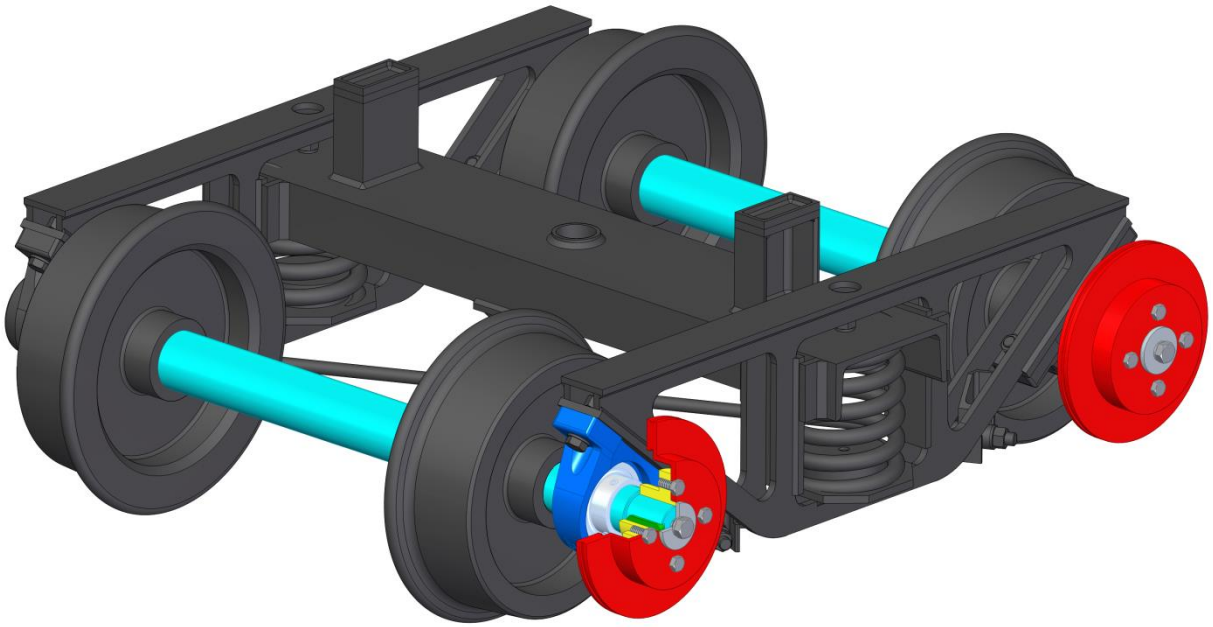


Obr. 29: Brzdový špalek z vozu VLB 1,5

4.5.1 Kotoučová brzda

Zajímavou a konstrukčně jednodušší alternativou ke špalíkové brzdě je brzda kotoučová. S využitím automobilových brzdových kotoučů a mechanických brzdových třmenů.

Kotouče by bylo nutno umístit vně kol, neboť jejich oprava, při umístění mezi koly, po poškození by byla velmi nesnadná a spojená s rozlisováním dvojkolí. Kotouče jsou na nápravě uchyceny přírubou, přenos krouticího momentu z příruby na nápravu je řešen pomocí těsného pera.



Obr. 30: Pohled na podvozek s kotouči

Kotoučová brzda vyhovuje požadavku na jednoduchou konstrukci s využitím normalizovaných dílů, nicméně cena uvažovaných brzdových třmenů je vysoká. Problematické by také bylo korodování kotoučů, při nízkém kilometrickém proběhu a nízkém využití brzdy by nebylo zajištěno dostatečné opotřebení kotoučů. To by vedlo ke ztrátě účinnosti brzdy. Taktéž kotoučová brzda nezajišťuje čištění jízdní plochy, při nepříznivých povětrnostních podmínkách by při brzdění docházelo k zablokování dvojkolí a s tím spojenému vzniku ploch. Oprava takto poškozeného dvojkolí vyžaduje osoustružení nového profilu jízdní plochy.

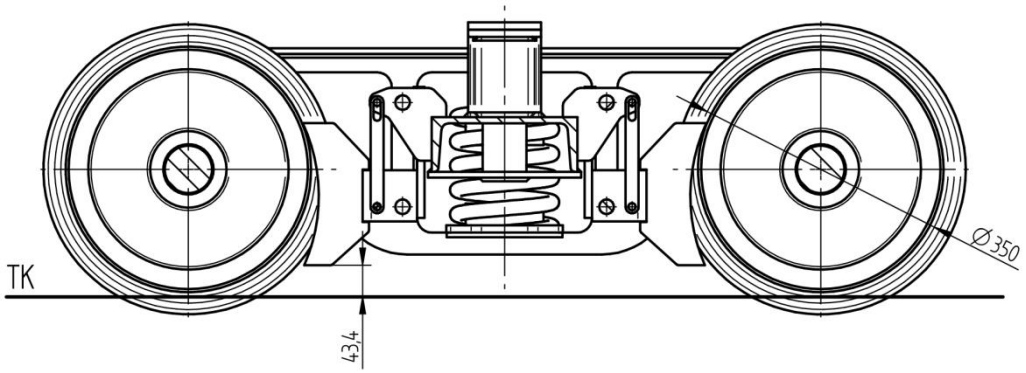
4.5.2 Špalíková brzda

Vzhledem ke koncepci podvozku budou kola brzděna pouze jednostranně. Mechanismus musí být schopný rozložit přítlačnou sílu na špalky rovnoměrně a to nejlépe s použitím pouze jednoho ovládacího bowdenu pro celý podvozek. Špalky musí být zajištěné proti otočení. Brzda musí umožňovat seřízení odlehlosti špalků.

4.5.2.1 Umístění na příčník

Z hlediska nevypružených hmot je vhodné mít značně hmotnou brzdu vypruženou. Umístění na příčník je též vhodné i z hlediska montáže a celkové jednoduchosti provedení. S rostoucí

deformací pružin však odlehlost špalků a tím se prodlužuje reakční doba brzdy – nutný větší počet otáček klikou. Problematické je též zvýšení tuhosti vypružení, kdy v krajním případě může být jeho funkce zcela potlačena, či mechanismus brzdy poničen. V loženém stavu se též špalky, se započtením dynamického přirážky, dostávají do nebezpečně malé vzdálenosti od temena kolejnice, tato vzdálenost bude dále snížena postupným opotřebením kol. Problematický je též návrh provedení mechanismu zajišťující rovnoměrné rozložení přítlačné síly na špalky, ten se spolu s celým příčníkem též pohybuje a taktéž se dostává do nebezpečně nízké polohy. Brzda též koliduje s navrženou mezipostranicovou křížovou vazbou.

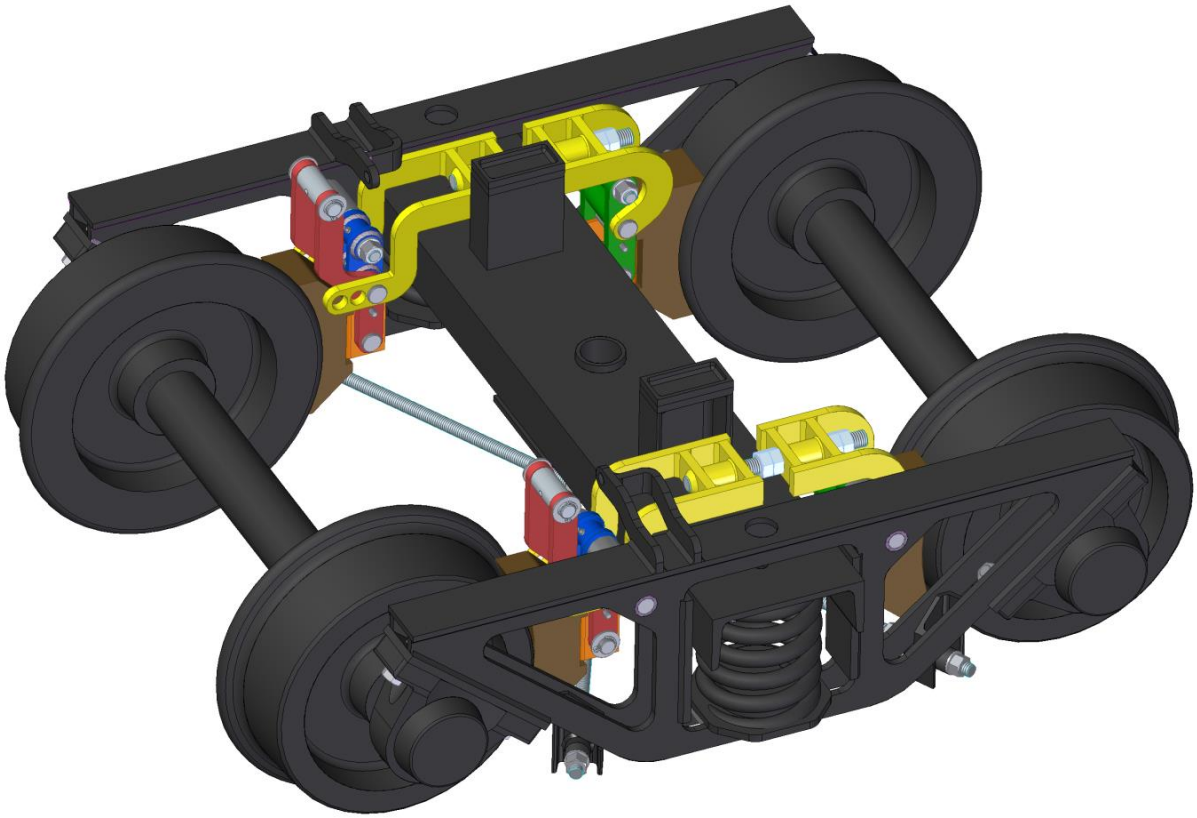


Obr. 31: Vzdálenost špalků od temen kolejnice v loženém stavu

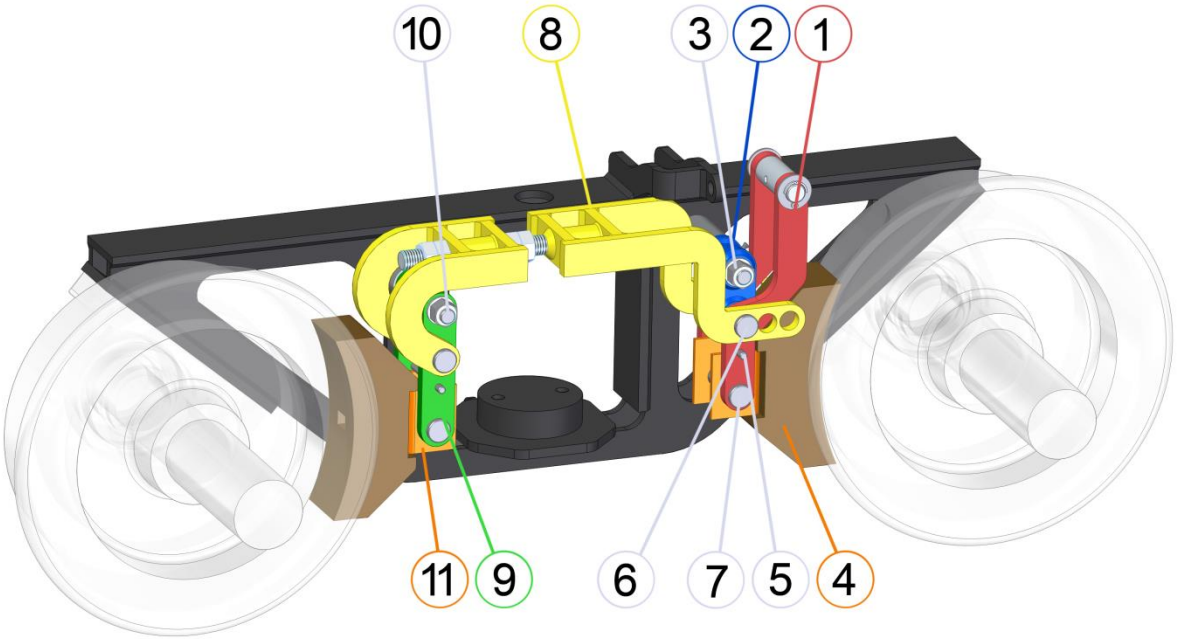
Nutností bude zavěšení brzdy na postranice, poloha špalků vůči kolům se při deformaci pružin nebude měnit. To však vyžaduje konstrukční úpravy postranic, které nebudou záměnné s nebrzděnou variantou, resp. podvozek vyrobený bez brzdy nebude možné zpětně brzdou osadit.

4.5.3 Konstrukční návrh

Navrženy byly 2 samostatné brzdové jednotky, jedna jednotka na pravé a druhá na levé straně podvozku. Mechanismus je zavěšen na 2 čepech vetknutých do postranice.



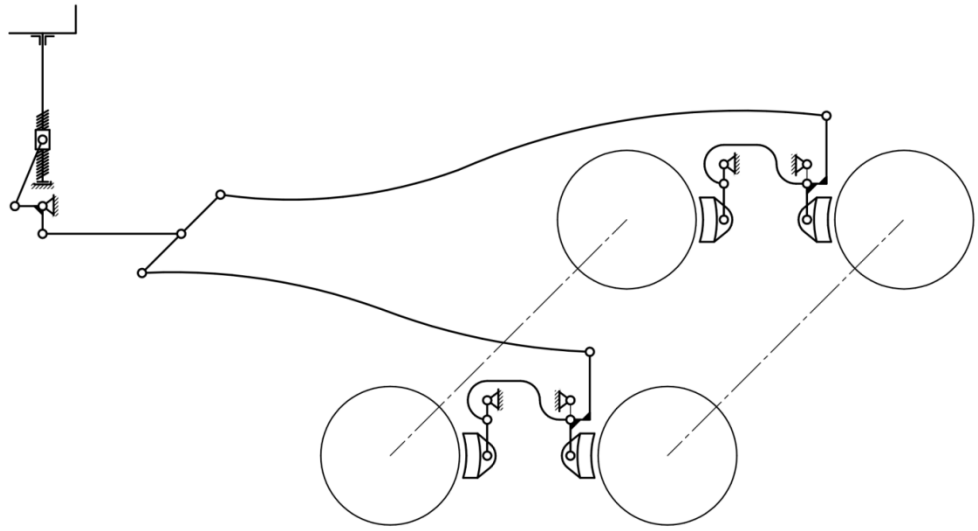
Obr. 32: Zástavba brzdy v podvozku



Obr. 33: Rozmístění komponent brzdy

Převodnice (1) je zavěšena na závěsce (2), která je otočná kolem nosného čepu postranice (3). Na převodnici (1) je zavěšena brzdová zdrž (4), zajištěná proti otočení čepem (5). Během brzdění se převodnice (1) otáčí kolem čepu (6). Jakmile dojde k dotyku zdrže (4) na jízdní

plochu změní se osa otáčení, nyní se převodnice (1) otáčí kolem čepu (7). Protože však brzdová zdrž (4) přiléhá ke kolu a zároveň se převodnice (1) dále otáčí, dojde k též k pohybu spojnice převodnic (8), která se posouvá ve smyslu otáčení převodnice (1). Spojnice převodnic uvede do pohybu druhou převodnici (9), která se otáčí kolem nosného čepu (10). Na převodnici (9) je zavěšena brzdová zdrž (11), která přilehne ke kolu. Tím dojde k vymezení všech vůlí a síla na brzdové špalky je rovnoměrně rozložena. Rozložení sil mezi obě strany podvozku zajišťuje těhlice umístěná na voze.



Obr. 34: Kinematické schéma brzdy

Konstrukce mechanismu neobsahuje pouzdra čepů, závěska (2) a převodnice (9) jsou opatřeny maznicemi. Převodnice a spojnice převodnic jsou páleny z plechu, díry pro uložení čepů následně obrobeny a lícovány. Spojnice převodnic umožňuje skokovou změnu odlehlosti zdrží pomocí přesazení čepu do vzdálenějšího otvoru, jemnější seřízení odlehlosti je možné pomocí závitu. Rozpona mezi zdržemi není instalována kvůli vzájemnému relativnímu pohybu postranic, jenž by mohl způsobovat zvýšené opotřebení, případně vymačkání uložení čepů.

5. Pevnostní výpočet podvozku

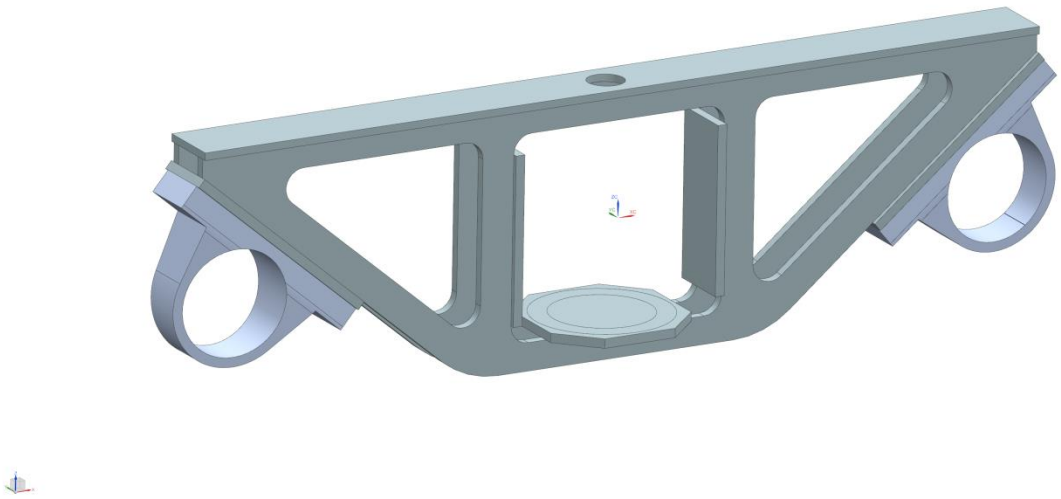
Cílem pevnostních analýz je ověření navržené konstrukce a stanovení koeficientu bezpečnosti. Model a výkresová dokumentace byly vytvořeny v programu Solid Edge a následně importovány do programu Siemens NX, ve kterém byla provedena MKP analýza. V něm byly modely idealizovány.

Ze zadání vyplývá zatížení podvozku hmotností 2,5 tuny, tato byla rovnoměrně rozdělena na všechny komponenty podléhající výpočtu.

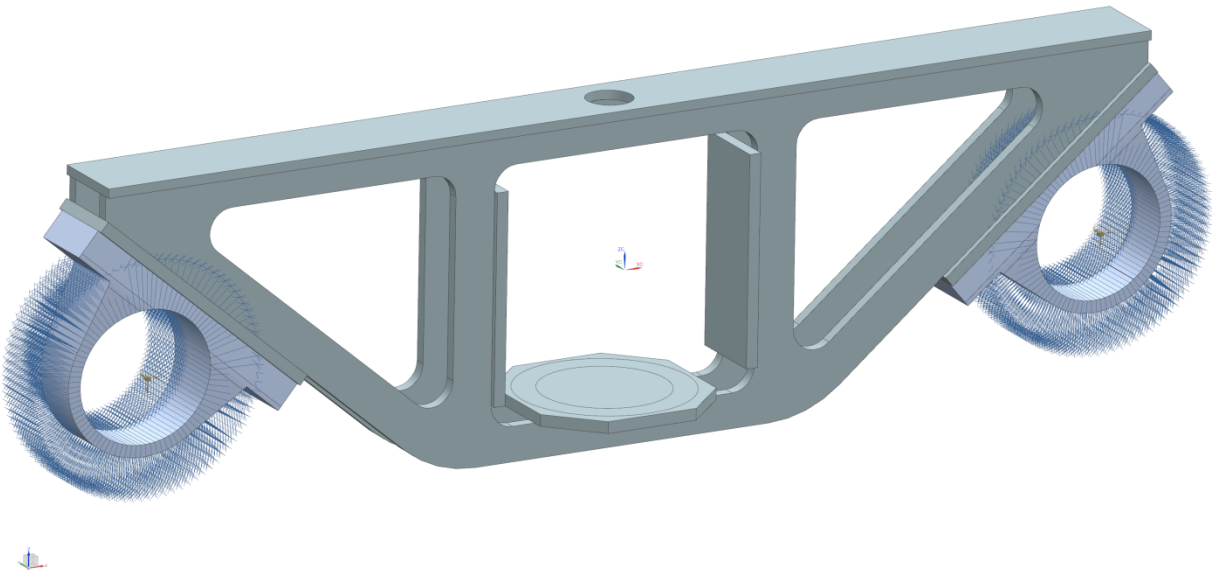
5.1 Pevnostní analýza postranice

Postranice je tvořená výpalky z materiálu S355J2+N o mezi kluzu 355 MPa.

5.1.1 Idealizace, okrajové podmínky a síť postranice

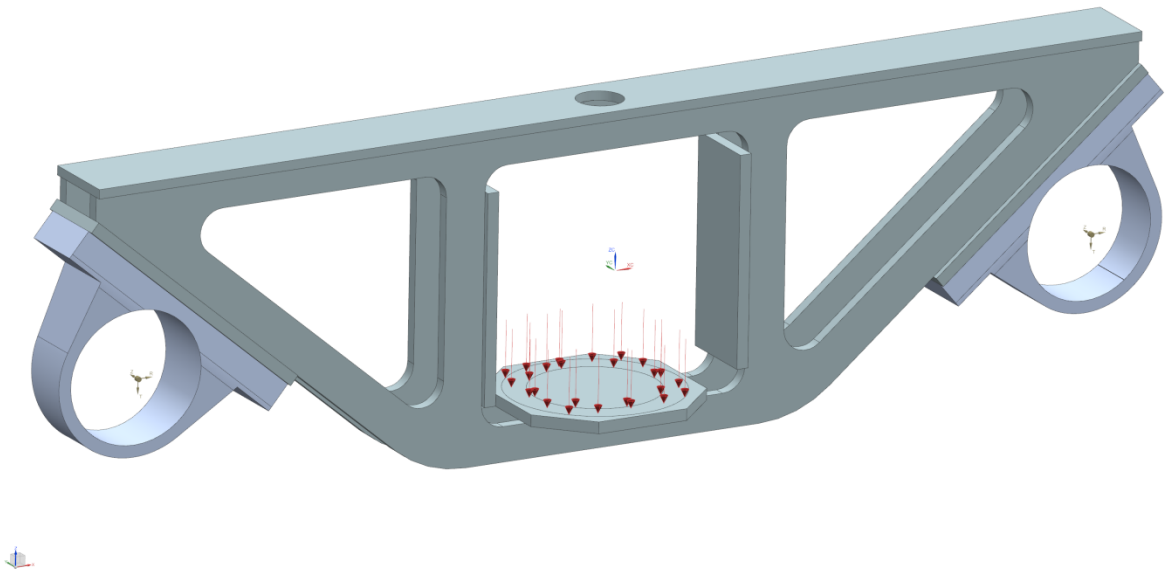


Obr. 35: Idealizovaný model postranice



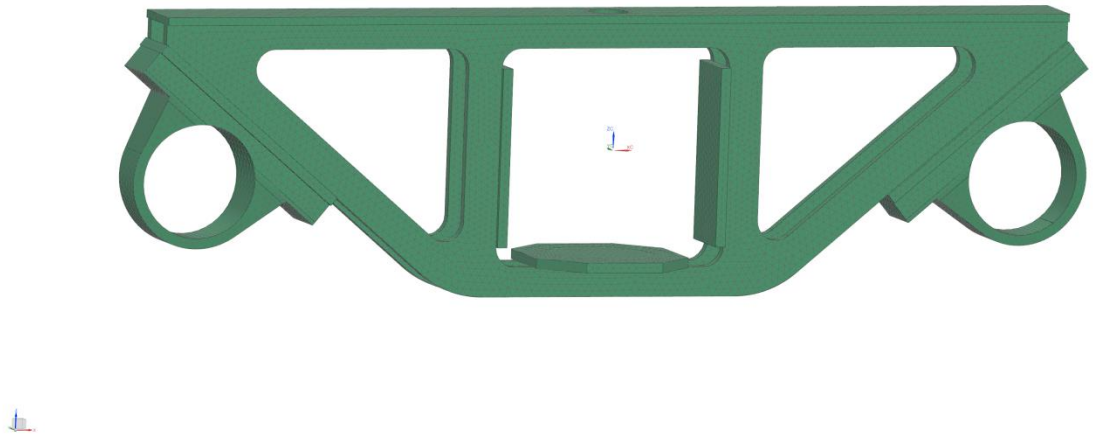
Obr. 36: Okrajové podmínky postranice

V ložiskových domcích byla použita vazba Cylindrical constraint s uvolněnou axiální rotací. Svary byly aproximovány lepeným spojem se 100% pevností.



Obr. 37: Zatížení postranice

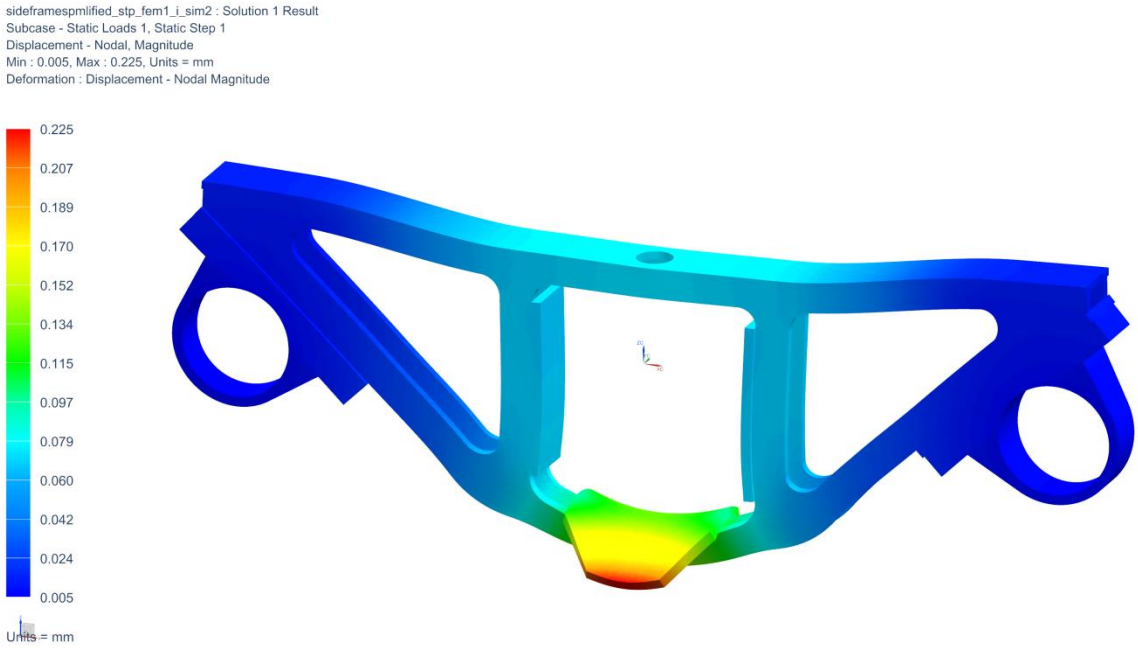
Model byl zatížen na dosedací ploše pružiny silou 12500N. Zatížení od hmotnosti příčníku bylo zanedbáno.



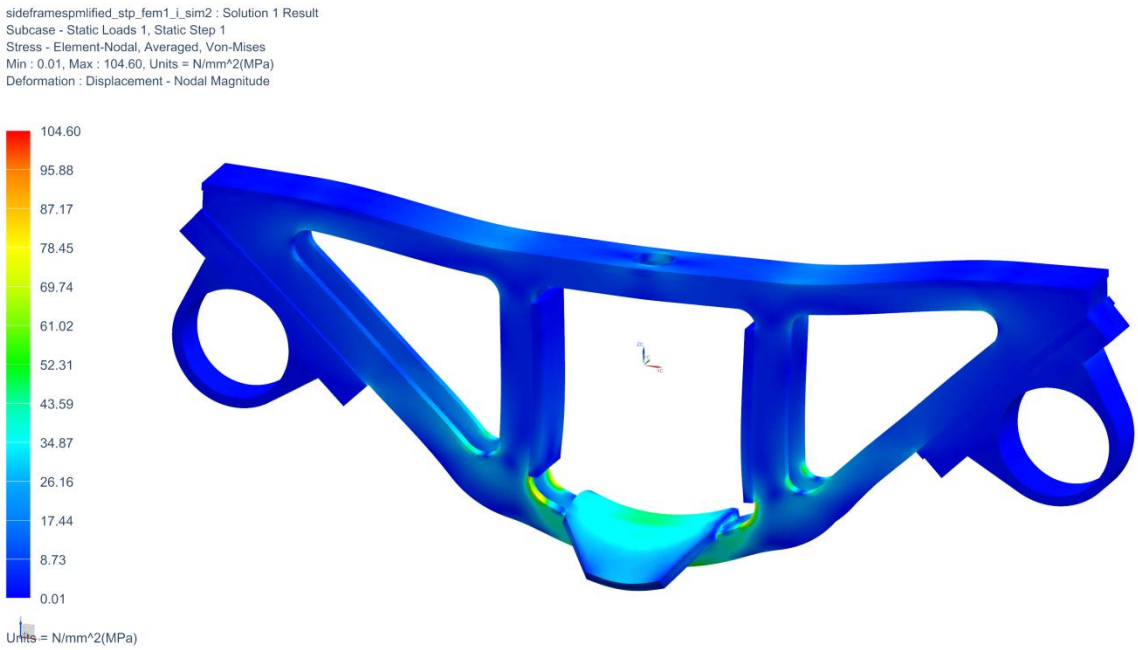
Obr. 38: Síť postranice

Na model byla aplikována síť elementů CTETRA(10) o velikosti 5mm.

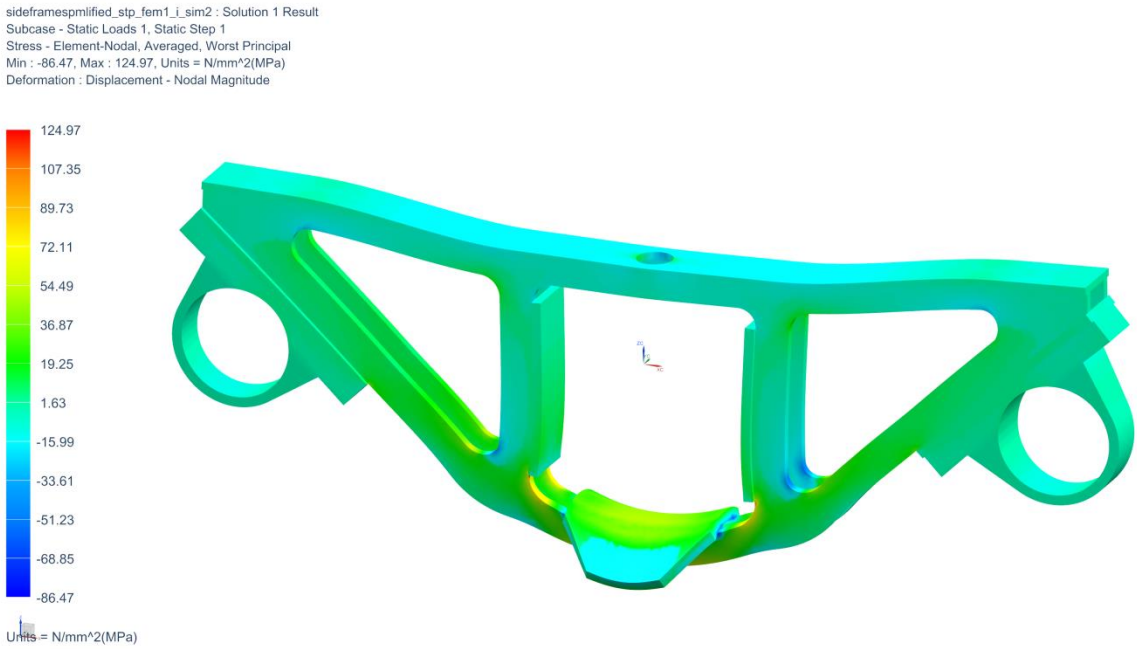
5.1.2 Výsledky FEM simulace postranice



Obr. 39: Celková deformace postranice [mm]



Obr. 40: Průběh napětí Von-Mises [MPa]



Obr. 41: Napětí Worst principal [MPa]

5.1.3 Stanovení koeficientu bezpečnosti postranice

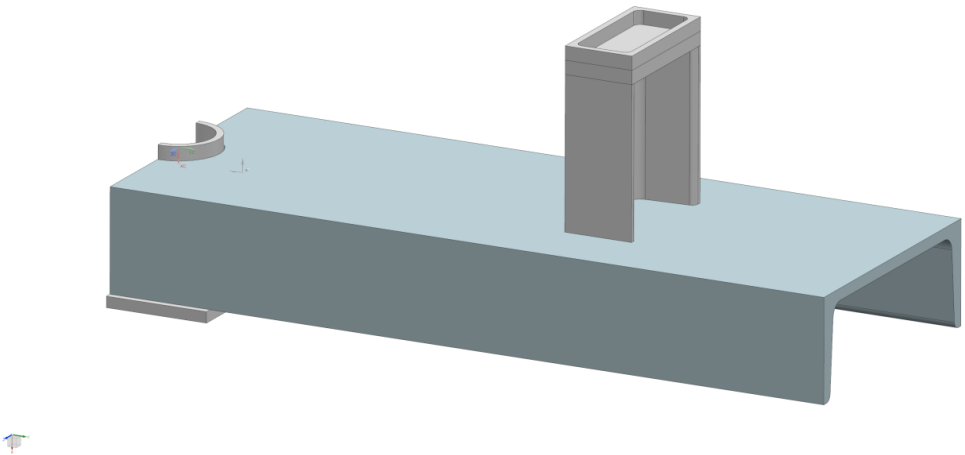
Maximální tahové napětí v postranici dosahuje hodnoty 124,97 MPa.

$$k = \frac{R_e}{\sigma_D} = \frac{250}{124{,}97} = 2$$

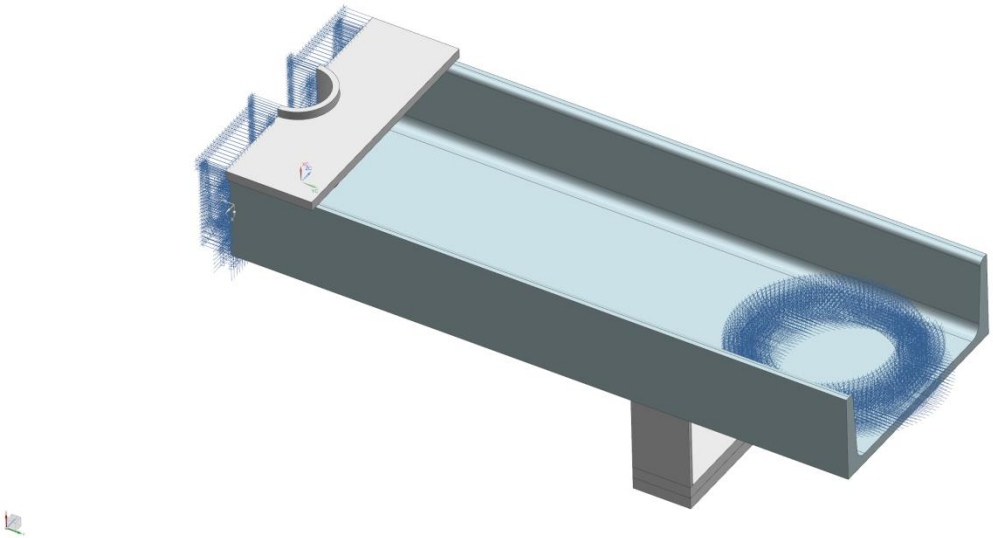
5.2 Pevnostní analýza příčníku

Příčník je tvořen normalizovanými polotovary, především válcovanými profily U z materiálu S235JR s mezí kluzu 235 MPa a několika výpalky z téhož materiálu.

5.2.1 Idealizace, okrajové podmínky a síť příčníku

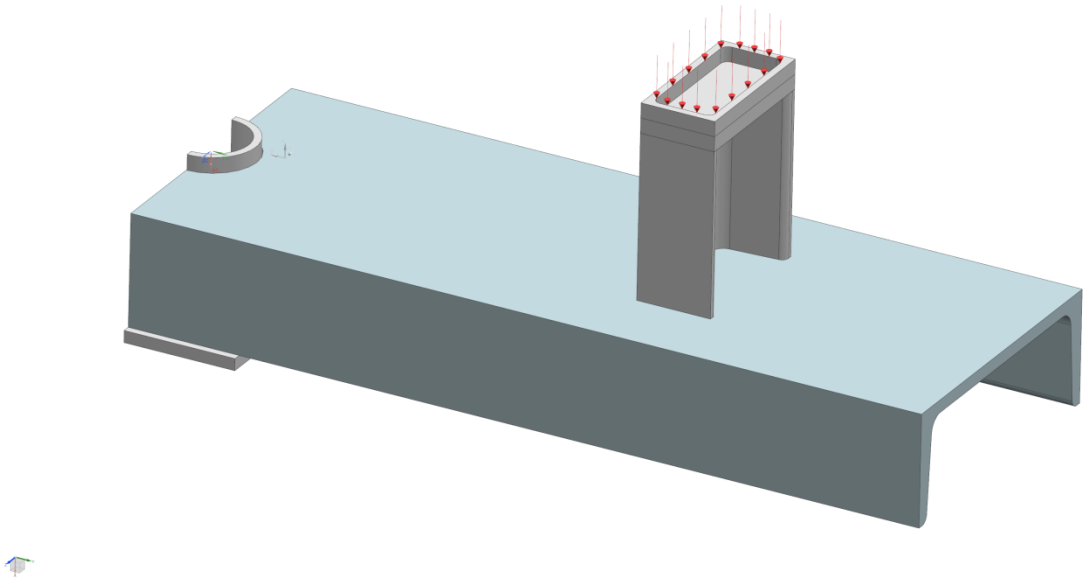


Obr. 42: Idealizovaný model příčníku



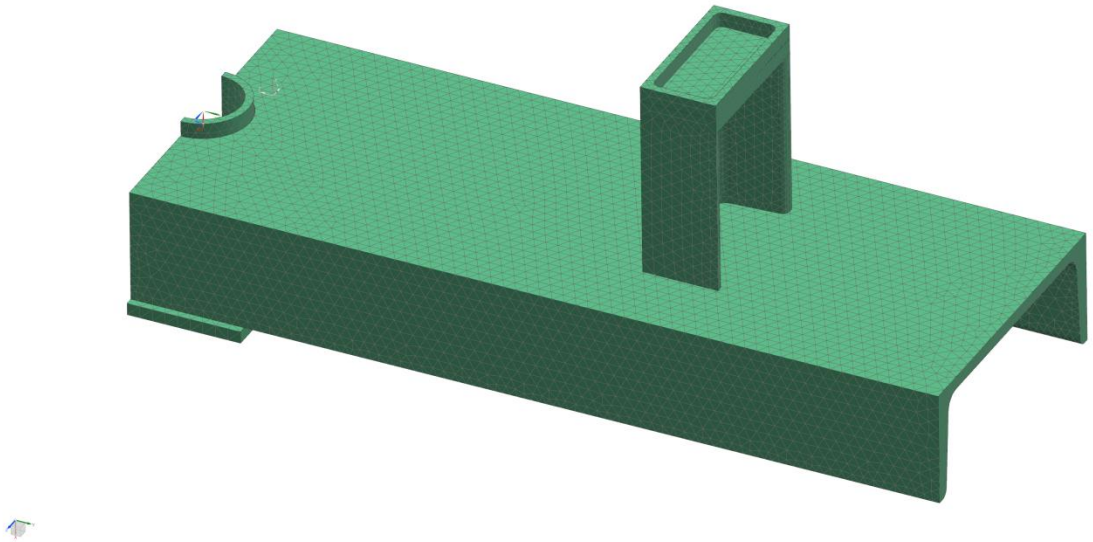
Obr. 43: Okrajové podmínky příčníku

V rovině symetrie byla aplikována vazba symetrie, v naseknutém mezikruží, na které dosedá pružina, byla aplikována User defined constraint, kde byl povolen posun po ose Y a rotace kolem osy Z. Svary byly aproximovány lepeným spojem se 100% pevností.



Obr. 44: Zatížení příčníku

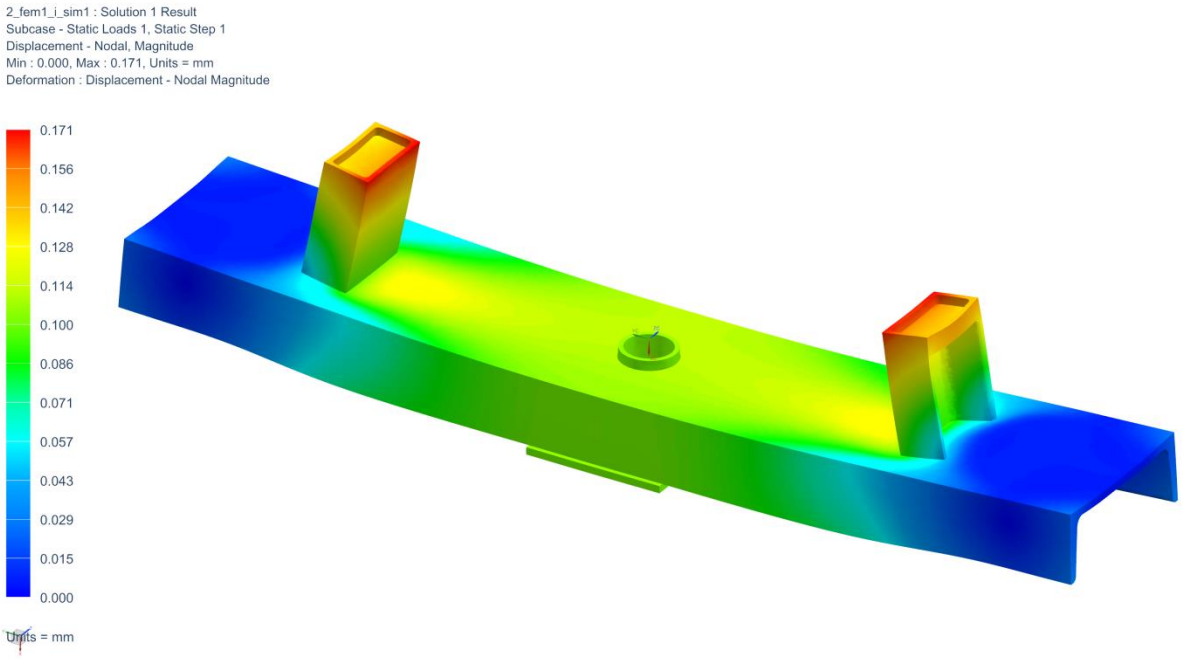
Model byl zatížen na dosedací ploše kluznice silou 12500N.



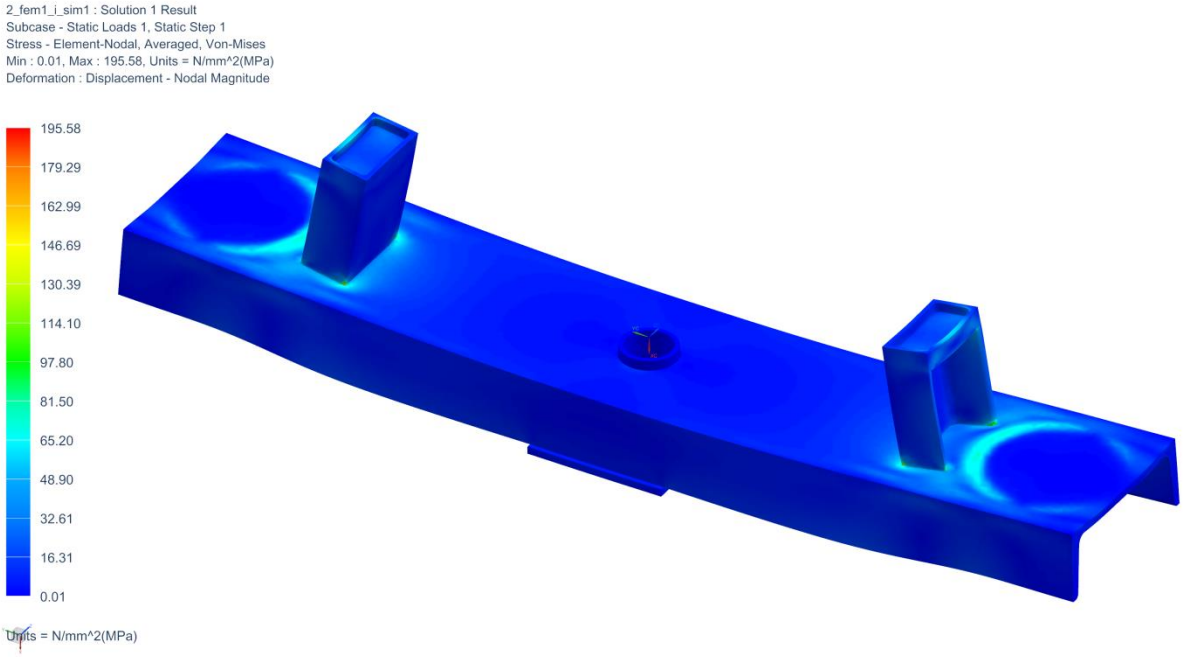
Obr. 45: Síť příčníku

Na model byla aplikována síť elementů CTETRA(10) o velikosti 5mm.

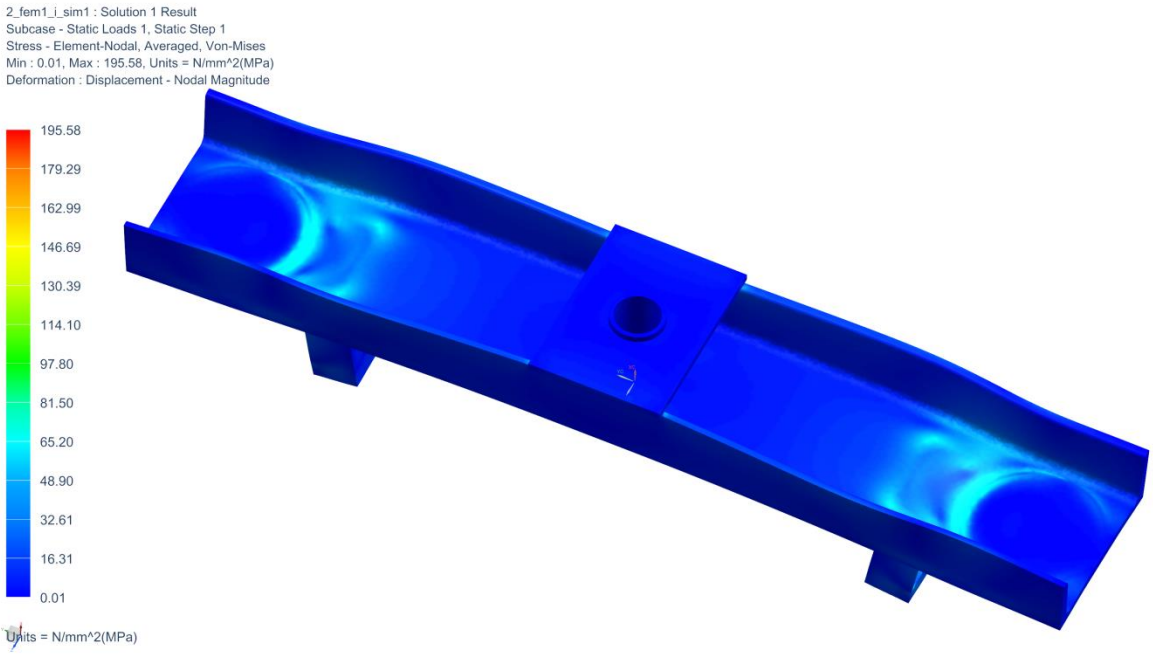
5.2.2 Výsledky FEM simulace příčníku



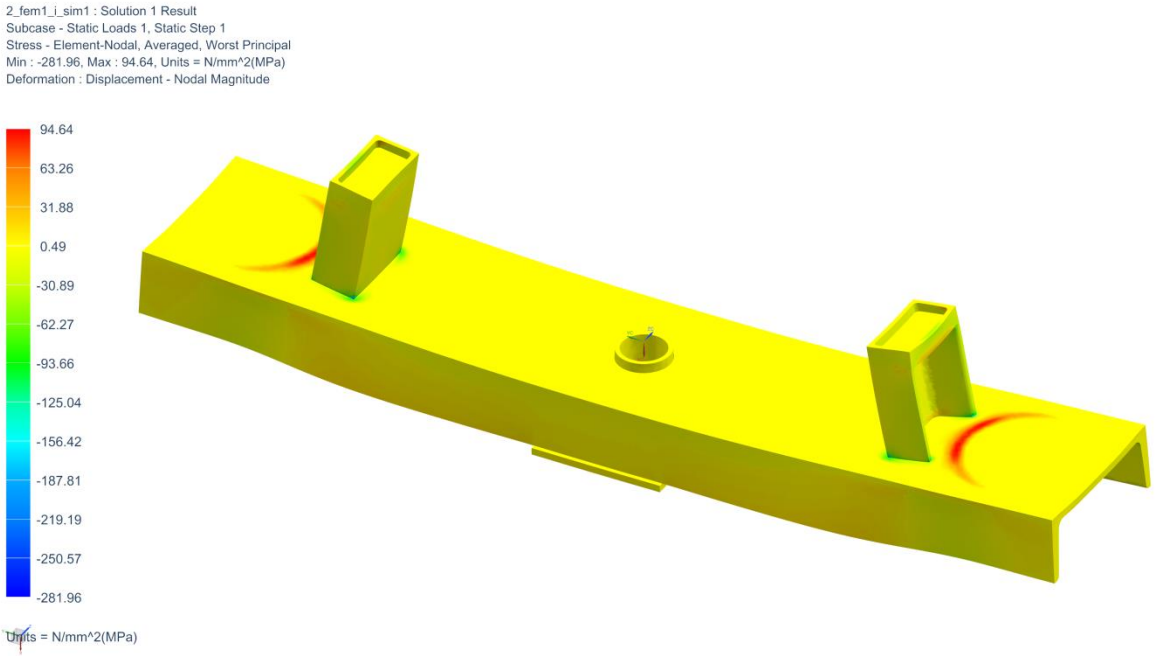
Obr. 46: Celková deformace příčníku [mm]



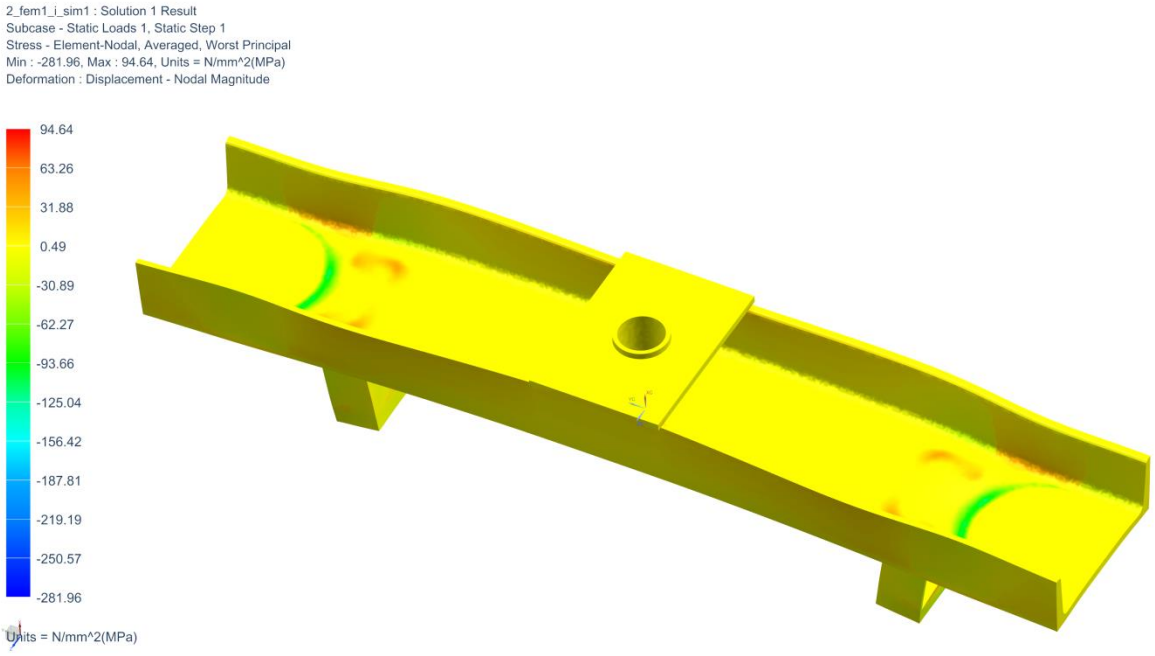
Obr. 47: Napětí Von-Mises [MPa] shora



Obr. 48: Napětí Von-Mises [MPa] zespodu



Obr. 49: Napětí Worst principal [MPa] shora



Obr. 50: Napětí Worst principal [MPa] zespodu

5.2.3 Stanovení koeficientu bezpečnosti příčníku

Maximální tahové napětí v příčníku dosahuje hodnoty 94,64 MPa.

$$k = \frac{R_e}{\sigma_D} = \frac{250}{94{,}64} = 2{,}64$$

6. Výroba prototypů

Pro zajištění zvyšující se poptávky po výletních jízdách bylo přistoupeno k výrobě dvou prototypových nebrzděných podvozků, které byly zavázány pod skříň osobního vozu vzniklého přestavbou z plošinového vozu. Tento vůz byl zpočátku provozován s podvozky s oválným rámem, nicméně provoz nebyl úspěšný, proto byly podvozky vyvázány a později použity pod nově vyrobený nákladní vůz. Skříň vozu byla postavena na dílenské podvozky a odstavena.

Rozsah provozu po Mladějovské dráze neustále narůstá a pro obsluhu trati v celé původní délce už nebude postačovat jedna souprava osobních vozů. Druhou soupravu osobních vozů bude potřeba vyrobit zcela nově, jejich konstrukce byla řešena paralelně s podvozky, nicméně na výrobu alespoň rámu vozu nebyly finanční prostředky. Proto bylo rozhodnuto podvozky otestovat nejdříve pod zmíněnou skříní, která byla nevyužitá. Uložení této skříně na podvozku není ideální, ale dosavadní zkušenosti s provozem prokázaly funkčnost řešení.

6.1 Možnosti výroby

V areálu bývalého šamotového závodu se nachází rozsáhlé dílenské zázemí, které disponuje všemi obvyklými stroji. K dispozici jsou 3 soustruhy, největší s oběžným průměrem nad ložem 700mm, konzolové frézky, sloupové a stojanové vrtačky, pily, brusky, vodorovná obrážečka, hoblovka, ohýbačka, ohraňovací lis, lis na dvojkolí, kovářská výheň a několik zámečnických pracovišť. K dispozici je též několik svářeček pro svařování elektrodou a metodou MAG.

Dílna je, jak je patrné z předchozího výčtu, poměrně dobře vybavena, ale bohužel některé stroje jsou nefunkční. Hlavním limitujícím faktorem je však nedostatek odborně proškolené obsluhy, která by zvládla výrobu v požadovaných tolerancích a při rozumné časové a finanční náročnosti. Tomu jde, vyjma dvojkolí, naproti celá konstrukce podvozku, která byla navržena pro snadnou výrobu vyžadující z obrábění pouze vrtání a řezání. Tyto operace zvládne s požadovanou přesností (+-1mm) každý dobrovolník působící při MPD. Výjimku představuje svařování, u kterého je vyžadován kvalifikovaný svářeč.

6.2 Výroba

I přes relativně nenáročnou výrobu rámu podvozku bylo nakonec rozhodnuto nevyrábět podvozky v dílnách provozovatele, výroba byla realizována externě u sponzora MPD (dále jen výrobce). Ten disponuje kvalifikovaným personálem a všemi potřebnými stroji, především však kalicí pecí, která umožní ohřev kol pro nalisování na nápravu. Zkušenostem a problémům při výrobě se věnují následující kapitoly.

6.2.1 Soustružení kol

Jak vyplynulo z předchozího popisu v kapitole 4.1.2, tak jsou polotovary kol řešeny jako kruhové výpalky z plechu. S polotovarem je obtížná manipulace daná především velkou hmotností a jeho kruhovým tvarem bez žádného vnitřního otvoru, za který by bylo možné disk snadno zavěsit. Hlavní problém však nastal při upínání do soustruhu. Jeho sklíčidlo bylo malé velikosti, a proto nebylo schopné roztáhnout čelisti na požadovaný průměr. Nákup většího sklíčidla nebyl ze strany výrobce vyhodnocen jako ekonomicky přijatelný, proto bylo nutné část soustružení zadat externí firmě, jež disponuje svislým soustruhem (karuselem) umožňující upnutí takto rozměrných součástí. U této firmy byl z jedné strany obroben vnitřní tvar kola a polotovary odeslány zpět k výrobci. Obrobení vnitřního tvaru již umožňovalo upnutí polotovaru za náboj i s menším sklíčidlem. Kolo bylo vyhrubováno, díra v náboji osoustružená na čisto s požadovanou tolerancí.

Obr. 51: Osoustružená kola

6.2.2 Soustružení nápravy

Náprava je soustružená z kruhové tyče válcované za tepla. Opracované plochy jsou pouze sedla pro kola a ložiskové čepy. Soustružení náprav bylo bezproblémové, určité problémy mohly vzniknout pouze při manipulaci s obrobkem, který je relativně rozměrný.

6.2.3 Montáž dvojkolí

Protože výrobce disponuje kalící pecí, tak bylo opuštěno původně navrhované lisování za studena na hydraulickém lisu. Lisovací teplota byla vypočtena na 350 °C. Určitým limitujícím faktorem byly rozměry pece, do které se vešly pouze 2 kola, ohřev tedy bylo nutné 4x opakovat. Zavezení a vyjmutí kol z pece bylo provedeno upraveným ručním paletovým vysokozdvižným vozíkem.

Obr. 52: Zavážení kola do pece

Po zhruba 4 hodiny trvajícím ohřevu byla kola vyjmuta z pece, položeny na připravené dřevěné špalíky a do nábojů byly zasunuty nápravy. Pro usnadnění celého postupu a

minimalizace rizika vychladnutí kola pod lisovací teplotu byla lisována kola nejdříve na jedné straně, v každém okamžiku byla rozpracována dvě dvojkolí současně.

Obr. 53: Montáž dvojkolí

Po dohodě s výrobcem byla sedla kol na nápravě vyrobena o 5 mm delší, tj. při zachování požadovaného rozkolí vznikne mezi čelem kola a osazením nápravy mezera široká 5 mm u každého kola. Ta byla zavařena výplňovým svarem. Příčinou tohoto řešení byla obava výrobce o dodržení požadovaných tolerancí a tím pádem i požadované únosnosti lisovaného spoje.

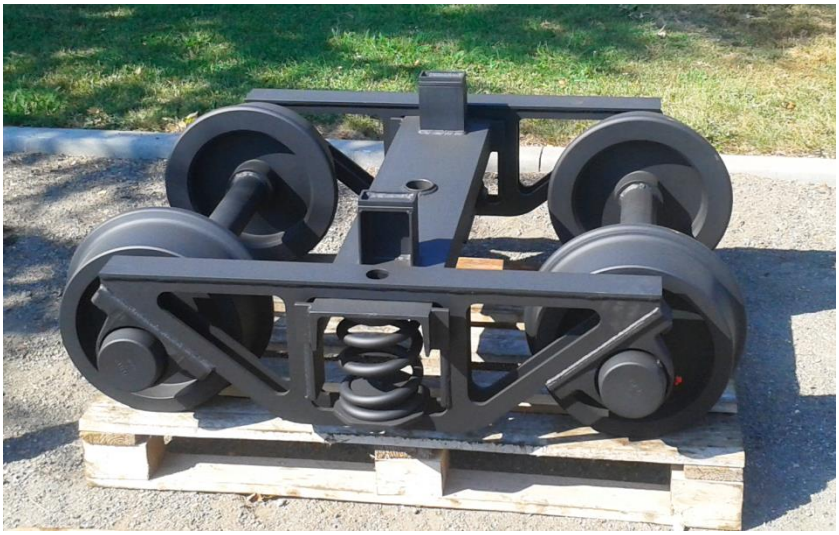
Po montáži kol na nápravy bylo celé dvojkolí opět upnuto do soustruhu a jízdní plochy s čely věnce osoustruženy na čisto pro dodržení souososti s ložisky. Poté byla na ložiskové čepy nalisována ložiska i s ložiskovými domky, upínací pouzdro ložiska bylo dotaženo dle předpisu výrobce.

6.2.4 Svařování rámu

Oproti původně navrženému počtu výpalků byly nakonec jako výpalky vyrobeny ještě 2 součásti – výztuha příčníku držící pouzdro čepu a horní pásnice postranice, původně uvažované jako přístřih plechu a kus ploché oceli. Tyto 2 součásti mají ve svých středech otvory relativně velkého průměru a pro usnadnění montáže a obrábění jsou tyto otvory vypáleny. Horní pásnice byla původně navržená s tloušťkou 7 mm, nicméně byla z ekonomických důvodů vypálena z plechu obvyklejší tloušťky 8mm bez vlivu na pevnost postranice. Svařování rámu bylo bezproblémové a rychlé. Pružiny s volnou délkou 200mm bylo potřeba mírně stlačit kvůli jednodušší montáži. Svařováno bylo metodou MAG. Vazba mezi postranicemi nebyla po dohodě s výrobcem vyrobena kvůli ověření předpokládaného chování podvozku v oblouku. Mírná nepřesnost při výrobě způsobila o několik milimetrů větší příčné vůle ve vedení příčníku, než bylo předepsáno na výkrese.

6.2.5 Konečná montáž

Pro montáž dvojkolí byl rám podvozku otočen vzhůru, ložiskové domky usazeny do polohy dle výkresu, šrouby byly dotaženy pneumatickou utahovačkou. Podvozky byly nastříkány černou barvou dle požadavku provozovatele a připraveny na expedici.



Obr. 54: Podvozek připravený na nakládku

6.3 Konstrukční úpravy vozové skříně

Osobní nástavba vozu byla postavena na rámu nákladního vozu (viz kapitola 2.2.1), jehož čelníky nejsou konstruovány pro montáž spřáhla a přenos podélných sil, neboť spřáhlo je v původním provedení umístěno na podvozku. Jelikož však prototypy podvozků spřáhly vybaveny nejsou, bylo nutné spřáhla nově vyrobit a konstrukci rámu přizpůsobit. Provozovatel požadoval, aby změny provedené na rámu byly vratné, protože skříň vozu vyžaduje rozsáhlejší rekonstrukci a pro pravidelný provoz je vhodné mít spřahovací ústrojí vypružené.

Obr. 55: Vůz se zavázanými podvozky

Spřáhla jsou jednoduché konstrukce, nárazník je z ohnutého nosníku průřezu U. Z vrcholu oblouku nárazníku vybíhá směrem do středu vozu šikmá vzpěra z nosníku průřezu I, která se na druhém konci opírá o hlavní příčník s uložením podvozku. Touto vzpěrou bylo dosaženo vhodného rozložení silových účinků a taktéž vyšší pevnosti nárazníku, u kterého by jinak hrozilo ulomení. Čep z kulatiny je přivařen k nárazníku a vzpěře, na vrchu je opatřen bezpečnostním prvkem tvořeným válcovaným profilem L zabraňujícím náhodnému rozpřažení vozů.

Obr. 56: Spřáhlo vagonu

Pouzdra pro čepy uložení podvozku jsou původního provedení, čepy jsou soustružené nově.

Po úpravách skříně byly zkušebně zavázány podvozky a podniknuty první zkušební jízdy, které mj. prokázaly nutnost mezipostranicové vazby, jejíž montáž vyžadovala opětovné vyvázání podvozků. Ty byly vyvázány, vazba doplněna a vůz byl připraven ke zkušebnímu provozu, jemuž se věnuje následující kapitola.

7. Zkušební provoz

Po dokončení všech úprav započal zkušební provoz, který stále probíhá. Cílem zkušebního provozu je ověřit navržené řešení a získat zkušenosti pro návrh zdokonalené varianty pro další výrobu.

Vůz byl nejprve zkoušen bez cestujících, v loženém i prázdném stavu. Jako zátěž simulující náklad byly použity dřevěné pražce, jeden pražec zhruba odpovídá hmotnosti jedné osoby – 80 kg. Maximální obsaditelnost vozu je 30 osob, naloženo je cca 2400 kg balastu (váženo nepřímo pomocí deformace pružin).

7.1 Poznatky ze zkušebního provozu

7.1.1 Tlumení

Ihned po zahájení zkušebního provozu se ukázala nutnost tlumit vypružení, neboť šroubovité pružiny nemají schopnost se samy utlumit. Při jízdě se tento problém neprojevoval, s výjimkou přejíždění výhybek do odbočky, kdy byla skříň nabuzena značným příčným rázem, a došlo k rozkolébání. Hlavním projevem netlumeného vypružení bylo „poskakování“ vozu při simulovaném nástupu cestujících s velmi dlouhou dobou utlumení. Celou skříň lze snadno rozkolébat kolem podélné osy, to bylo vyhodnoceno jako potenciálně nebezpečné, neboť při kontrolovaném rozkolébání skříně bylo dosaženo takových výchylek, že došlo až k odlehčení kol. Především mladší cestující by mohli cíleně vagon rozhoupávat, a pokud by došlo k nadlehčení kol při jízdě, mohlo by hrozit vykolejení. Kolébání je také potenciálně nebezpečné pro posunovače, vozy jsou spřahovány ručně a během spřahování by mohlo dojít k úrazu.

7.1.2 Ložiska

Zkušební provoz ukázal, že volba ložisek byla správná, jízdní odpory vozu jsou velmi malé. Původní obava o velkou tuhost kulového uložení ložiska se ukázala jako neopodstatněná, podvozek se velmi dobře přizpůsobuje všem nerovnostem koleje. Aby nedošlo ke ztrátě krycího víka ložiska, byly tyto přilepeny. Jedinou slabou stránkou ložiskování je možné poškození maznice při vykolejení, neboť ložiskový domek má zápich pro krycí víko pouze na jedné straně, takže není možné ložiskové těleso otočit a tím změnit i polohu maznice, jak bylo plánováno při návrhu. Proto vždy u dvou ložiskových jednotek maznice směřují směrem dolů, zatímco u druhé dvojice směrují dopředu/dozadu.

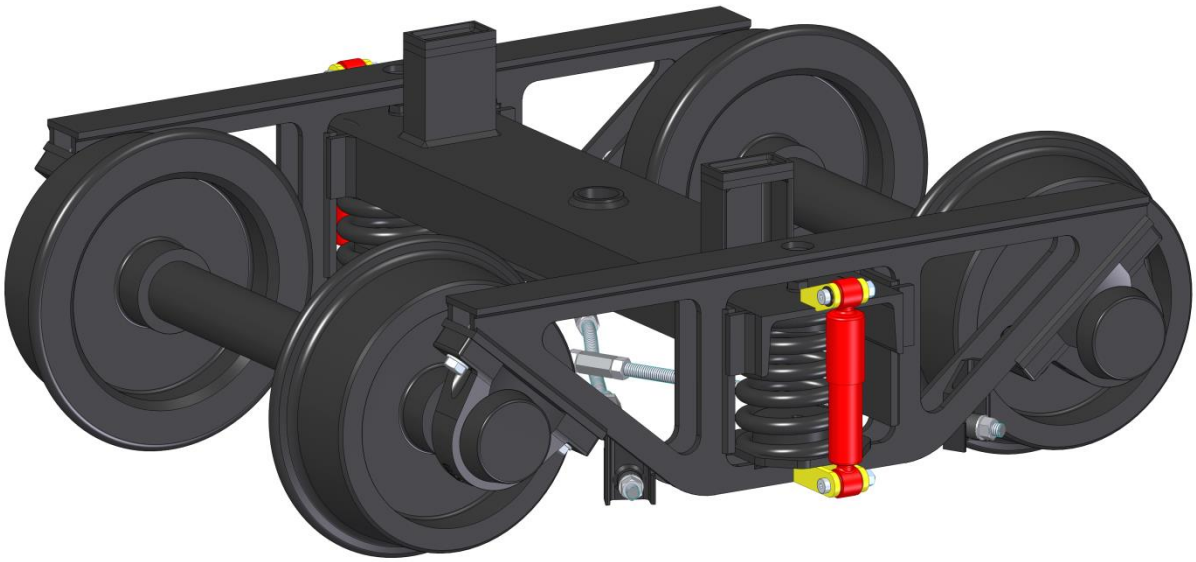
7.2 Stanovení nápravných opatření

7.2.1 Instalace tlumičů vypružení

Instalace tlumičů byla tedy nezbytná, po průzkumu trhu byly jako nejlepší řešení vyhodnoceny kapalinové tlumiče. Velkým problémem však bylo nalezení vhodného tlumiče. Běžně vyráběné automobilové tlumiče jsou příliš dlouhé a zakázková výroba je ekonomicky nepřijatelná. Vhodný typ tlumiče byl netypicky nalezen katalogu tlumičů vypružení kabiny nákladních automobilů. Tyto tlumiče mají příznivé rozměry, nepřekračují průjezdný průřez v oblasti podvozku a mají zdvih odpovídající navrženému vypružení. Použity byly tlumiče z kabiny automobilu Renault Magnum.

Pro jejich uchycení byly navrženy výpalky, tlumiče byly uchyceny lícovanými šrouby, matice zajištěny lepidlem.

Spolu s instalací tlumičů vyplynula nutnost zmenšit podélné vůle, protože silentbloky v okách tlumičů nemohou být dlouhodobě namáhány velkými úhlovými výchylkami. Tato úprava však kvůli nutnosti rozebrat postranice od příčníku nebyla realizována.



Obr. 57: Umístění tlumičů

7.2.2 Úprava maznic

Při velmi nízkém kilometrickém proběhu, cca. 1600 km za rok, není nutné podle diagramů výrobce ložiska v příštích 20 letech vůbec domazávat. Praxe u provozovatele je však taková, že vždy před zahájením provozu na jaře je celý vozový park zkontrolován, jsou provedeny malé opravy a všechny ložiska domazána. Podvozek využívá ložiska krytovaná plechem, těsněná NBR a při necitlivém mazání by mohlo dojít k poškození těsnění. Pro minimalizaci rizika poškození ložiska neodbornou obsluhou a též maznice při možném vykolejení bylo navrženo maznice demontovat a nahradit je nylonovými zátkami, jež jsou cenově příznivé a dobře splní svojí funkci. Tato úprava sice prodlouží dobu nutnou k namazání ložisek, nicméně téměř 100% eliminuje zásah neproškolené osoby.

7.3 Závěry ze zkušebního provozu

Zkušební provoz probíhá, po provedení úprav, bez problémů a navržená konstrukce prokázala svou funkčnost ve všech směrech. V současnosti je vůz již 2 roky v provozu s cestujícími s velmi pozitivními výsledky. Jízdní vlastnosti vozu jsou excelentní, velmi dobře projíždí nerovnosti a komfort jízdy chválí i cestující. Hlavním přínosem jsou velmi nízké jízdní odpory dané použitím kvalitních ložisek a otočnými podvozky s relativně malým rozvorem.

Jízdní komfort je nesrovnatelný s dvounápravovými vozy, velmi se osvědčilo příčné vypružení, kdy směrové zlomy koleje nejsou ve voze znatelné. Vůz, spolu s podvozky, se při vyšších rychlostech chová stabilně, tlumiče nedovolují nežádoucí rozkolébání, ke kterému jsou dvounápravové vozy náchylné. Avšak pokud by provozovatel vyžadoval provoz vyššími rychlostmi (okolo 30 km/h), bylo by vhodné podvozek doplnit ještě příčným tlumičem mezi postranici a příčník. Určitou nevýhodou jsou nevypružená spřáhla, nárazy na sousední vozy jsou silné a částečně snižují komfort.

Obr. 58: Podvozek s tlumiči

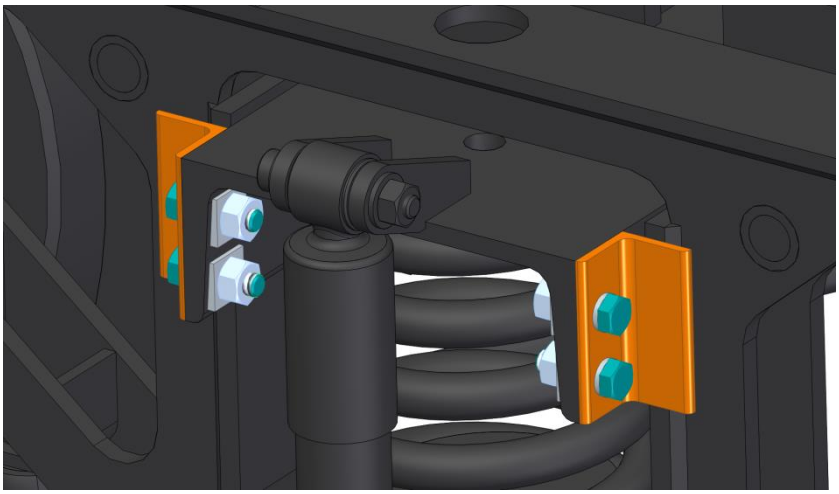
8. Návrh zdokonalené varianty na základě zkušebního provozu

8.1 Konstrukční úpravy

Zdokonalené uzly uvedené v této kapitole je vhodné při další výrobě realizovat, neboť přináší snížení výrobních nákladů, pracnosti a zjednodušení údržby.

8.1.1 Demontovatelné narážky

V současném provedení je podvozek nerozebíratelný, to může působit těžkosti při případných opravách, navíc příčné vůle nelze později vymezit. Proto bylo navrženo nové provedení narážek. Nově jsou narážky tvořeny normalizovaným rovnoramenným profilem L a k příčníku jsou šroubovány. Umístěny jsou pouze z vnější strany, uvnitř podvozku, zvláště u brzděné varianty, je nedostatek místa a případné seřízení by bylo velmi nesnadné. Umístění z vnější strany postačuje, neboť postranice jsou kromě dvojkolí spřaženy též mezipostranicovou vazbou a jejich případný náklon podél podélné osy není možný. Narážky jsou k příčníku šroubovány dvěma šrouby M10, příslušné díry v narážkách jsou oválné, takže umožňují posun narážky. Šrouby jsou jištěny podložkami Nordlock. Nové řešení narážek lze, po vytvoření příslušných otvorů a odstranění původních narážek, aplikovat i na prototypy.



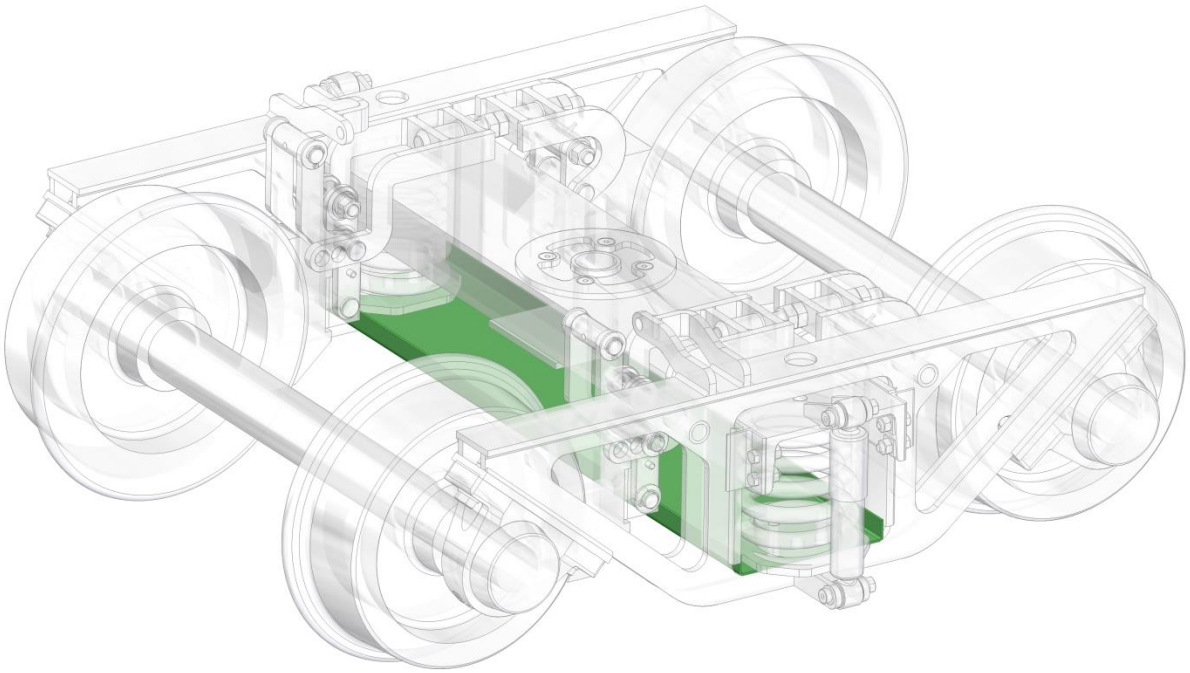
Obr. 59: Stavitelné narážky příčného vypružení

8.1.2 Úpravy mezipostranicové vazby

Původně navržené řešení vazby mezi postranicemi se v provozu ukázalo jako funkční, ale kvůli své přílišné složitosti byla celá vazba přepracována. Výroba, montáž a seřízení původního provedení bylo velmi složité, požadované přesnosti se dosahovalo velmi obtížně. Prohnutí jednoho táhla se nepodařilo realizovat, proto táhla spočívají na sobě. Tento fakt byl částečně způsoben instalací na už vyrobený a zkompletovaný podvozek. Vypružení vazby silentbloky splnilo svůj účel – torzní poddajnost podvozku se téměř nezměnila. V původním provedení umožňuje zkrut podvozku, potažmo náklon dvojkolí až o 15°, což jsou hodnoty, kterých nelze v provozu nikdy dosáhnout. Pro malé náklony, do 2°, není nutné silentbloky instalovat. Byla navrženy 2 nová řešení, výběr varianty záleží na provozovateli. Navržená řešení budou aplikována na dalších vyrobených kusech, prototypy zůstanou v původním provedení.

8.1.2.1 Vazba profilem průřezu U

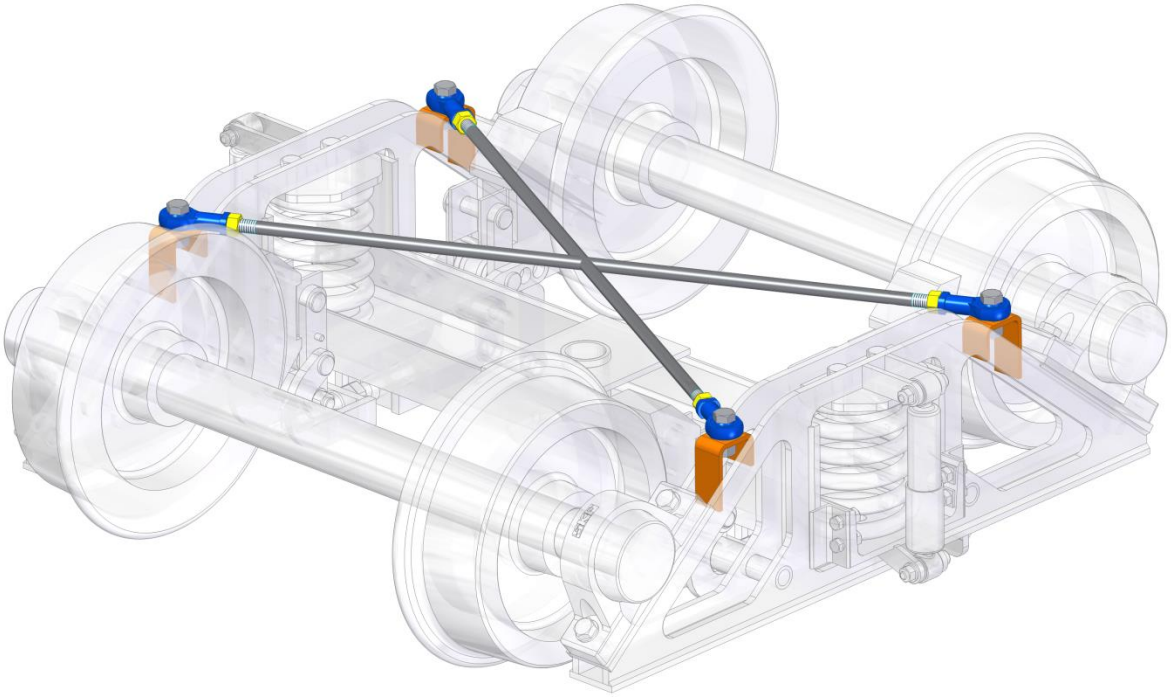
První navržené provedení vazby využívá plech o tloušťce 3 mm ohnutý do tvaru U. Na koncích plechu jsou 2 otvory pro šrouby. Plech je v postranicích umístěn pod dosedací plochou pružiny, která je v tomto provedení šroubovaná k postranici, nikoliv přivařená. Úpravy se dotkly též válcového vedení pružiny, které je nyní jištěno dvěma šrouby. Vazba zvýší torzní tuhost podvozku s pozitivním dopadem na jakost chodu. Navržené provedení je výrobně velmi jednoduché, prostorově úsporné a levné.



Obr. 60: Vazba profilem U

8.1.2.2 Vazba táhly s kloubovými hlavicemi

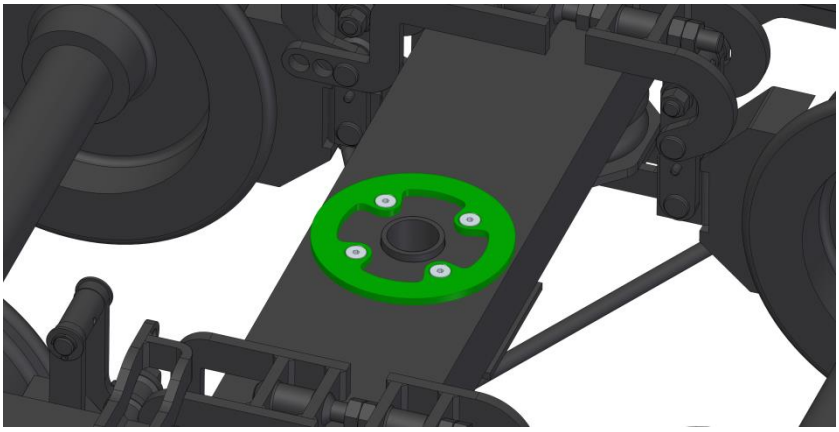
Druhé navržené řešení s výhodou využívá kloubových hlavic, zkroucení podvozku tedy není nutné realizovat pomocí deformací. Kloubové hlavice jsou uloženy ve stejných místech, jako u původní vazby, ale na nově navržených konzolách. Ty jsou tvořeny ohnutým plechem, v jehož středu je otvor pro šroub. Kloubové hlavice jsou uchyceny šroubem a s protější stranou spojeny táhlem. Táhlo má na jednom konci pravý a na druhém konci levý závit, proto i hlavice musí být na jednom konci s levostranným závitem. Pro snadné seřízení vazby je na tyči vytvořena plocha pro klíč. Nastavená poloha je jištěna maticemi dotaženými ke kloubovým hlavicím. Oproti původnímu provedení vazby není jedno táhlo prohnuté, ale tyče budou spočívat na sobě, neboť realizované provedení u prototypů neprokázalo nutnost úpravy tvaru.



Obr. 61: Vazba kloubovými hlavicemi

8.1.3 Změna uložení skříně

U zcela nově konstruovaných vozů lze uvažovat i s jiným uložením skříně. Konstrukce nového vozu byla řešena paralelně s návrhem podvozků a jako nejvýhodnější řešení uložení skříně se jeví plochá torna. Rám vozu je páteřové konstrukce, páteř tvoří profil čtvercového průřezu. Především u brzděné varianty jsou kluznice příliš blízko otočnému čepu, navíc je nutné k rámu vozu přivařit nosné konzoly, které dále omezují prostor nad podvozkem. Plochá torna je řešena pomocí obrobku z materiálu TIVAR TECH, na které dosedá shodné ocelové mezikruží pevně spojené s rámem vozu.



Obr. 62: Plochá torna

8.1.4 Zmenšení podélných vůlí

Jak již vyplynulo z kapitoly 6.2.1, bude nutné zmenšit podélné vůle. Tato úprava byla realizována zúžením otvoru v lichoběžníkovém výpalku o 10 mm, všechny ostatní rozměry i

konstrukční provedení byly zachovány. Úpravy v navrženém provedení nelze zpětně aplikovat na prototypy, v případě nutnosti bude úprava na prototypech realizována jinou formou – přivařením ploché oceli zvolené tloušťky.

8.1.5 Zvýšení tuhosti vypružení

Kvůli nutnosti instalovat tlumiče vypružení se jako vhodná úprava jeví též úprava vypružení samotného. Výrobce pružin, po provedení výpočtu, navrhoval na základě zkušeností zvětšit volnou délku pružiny o 10 mm kvůli eliminaci počátečního sesednutí. Bohužel vlivem špatné komunikace byly nakonec dodány pružiny dle výpočtu a po zavázání podvozků pod vůz došlo během zimní přestávky provozu k sesednutí zhruba o 5 mm. To však může způsobovat problémy u tlumičů, jejichž pracovní délka je omezená. U prototypů bude pružiny nutno podložit o zmíněných 5mm, u dalších vyrobených kusů výroba pružin dle nových parametrů.

Požadované parametry pracovního cyklu	Proměnná	Hodnota	Odch. [%]	Jednotky
Maximální pracovní zatížení	F_8	12500,0	9,0	[N]
Minimální pracovní zatížení	F_1	4000,0	12,0	[N]
Délka plně zatížené pružiny	L_8	150,0	0,0	[mm]
Požadovaný pracovní zdvih pružiny	H	30,0	0,0	[mm]
Délka předpružené pružiny	L_1	180	0,0	[mm]

Tab. 3: Optimalizace vstupních parametrů vypružení

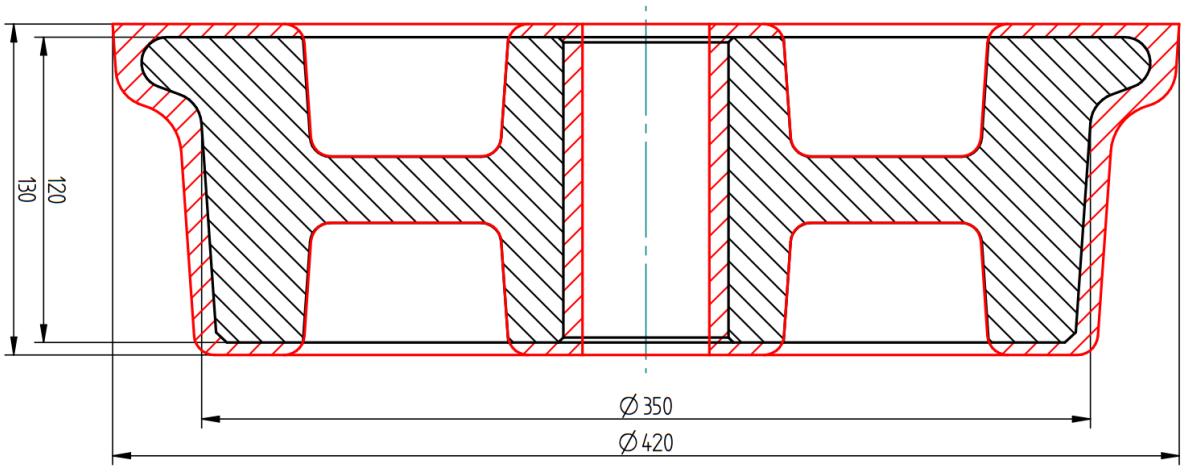
Oproti výchozímu stavu došlo ke zmenšení pracovního zdvihu na 30mm, délka L1 zůstala zachována.

8.2 Další možnosti optimalizace

Zlepšení navržená v této kapitole ukazují případný další směr vývoje, jejich implementace do výrobního procesu není nutná.

8.2.1 Odlévaná kola

Navržené dvojkolí využívá jako polotovaru pro soustružení kol kruhových výpalků. Tento polotovar však není příliš ekonomický, odpad tvoří 60% polotovaru a soustružení kola je časově velmi náročné. Nabízí se možnost kola odlévat z ocelolitiny, kdy by byly obrobeny pouze funkční plochy – jízdní plocha a náboj.



Obr. 63: Odlitek kola (červeně) a obrobené kolo (černě)

Jako materiál byla zvolena ocelolitina 42 2712.5 (0,17 - 0,25% C), legovaná manganem (1,2%). Tato ocelolitina je otěruvzdorná, což přináší výhodu v nízkém opotřebení kol, zvlášť u brzděných podvozků. Také je zaručeně svařitelná, takže jízdní plochy lze po jejich opotřebení navařovat, případně pojistit lisovaný spoj.

Cena odlitku je však vysoká, přibližně o 30% vyšší než v případě výpalku. Cena je daná především malým počtem uvažovaných kol (32) a tím vysokými režijními náklady – z celkové ceny jednoho odlitku tvoří 15% jen poplatek za výrobu modelového zařízení. Úměrně tomu se ale sníží cena obrábění, nicméně odlitek vychází v tomto konkrétním případě stále dráž.

9. Závěr

Cílem práce bylo navrhnout brzděnou i nebrzděnou variantu běžného úzkorozchodného podvozku. Hlavní motivací pro vývoj nového podvozku byla snaha provozovatele, Mladějovské průmyslové dráhy, o rozšíření provozu v následujících letech.

Podvozek vychází z osvědčené koncepce Diamond. Hlavní důraz při návrhu byl kladen na maximální jednoduchost, nízký počet součástí, vysoký podíl normalizovaných součástí, minimalizované obrábění a celkovou ekonomičnost řešení. Zároveň byl též důraz kladen na robustnost a bezúdržbovost – důležité parametry v železničním provozu.

Brzda je provedena jako špalíková, zavěšená na postranici. Každá strana podvozku je ovládaná nezávisle prostřednictvím lanovodu z vozu. Brzda je pouze ruční.

Po dokončení návrhu bylo přistoupeno k výrobě prototypů, na kterých byla správnost návrhu prakticky ověřena. Po provedení prvotních konstrukčních úprav (instalace tlumičů) byl zahájen zkušební provoz s pozitivními výsledky.

Na základě zkušeností z výroby a zkušebního provozu prototypů byly navrženy další zlepšení, které povedou dokonalejší konstrukci připravené pro sériovou výrobu. Některá nová řešení

byla provedena variantně, výběr záleží na provozovateli a především na jeho finančních možnostech.

Podvozek se v provozu osvědčil a po zavedení navržených zlepšení bude k dispozici spolehlivá a univerzální konstrukce určená pro provoz pod nejrůznějšími vozy.

10. Použitá literatura

10.1 Knižní publikace

[3] BAUER, Z., ZEITHAMMER, K., *Mladějovská průmyslová dráha*. Praha: ETS, 1992.

10.2 Internetové zdroje

[1] *Richard Trevithick* [online]. poslední aktualizace 19.3.2019 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: *https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Trevithick*
[2] *Stephenson's Rocket* [online]. poslední aktualizace 10.4.2019 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: *https://en.wikipedia.org/wiki/Stephenson%27s_Rocket*
[4] *Historie provozu* [online]. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: *https://www.mladejov.cz/historie-provozu*
[5] *Plošiňák čtyřnápravový ex Spolchemie* [online]. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: *http://www.mpz.cz/nakladni-vozy/plosinak-ctyrnapravovy-ex-spolchemie*
[6] *Podvozek Diamond* [online]. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: *http://www.vagony.cz/pojezdy/diamond/diamond.html*
[7] *Uniwagon bogies* [online]. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: https://www.uniwagon.com/media/images/Barber_S-2-R_25_ts_1.2e16d0ba.fill-998x624.jpg
[8] *Dělená stojatá ložisková tělesa SNL* [online]. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/bearing-housings/split-plummer-block-housings-snl-2-3-5-6-series/index.html
[9] *Ložiskové jednotky SY* [online]. [cit. 2019-02-03]. Dostupné z WWW: https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/index.html

PŘÍLOHA č. 1

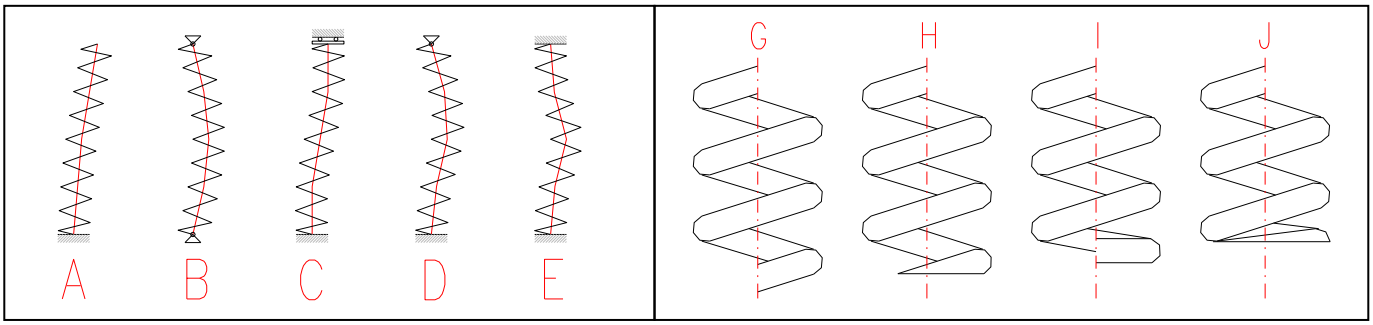
Výpočet pružiny

Provozní parametry pracovního cyklu

Způsob zatížení		Cyklické zatížení		
Provozní teplota	T	20,0		[° C]
Provozní prostředí		Neagresivní		

Provedení pružiny

Uložení pružiny		E		
Provedení konců		J		
Povrchové zpracování		Kuličkované pružiny		
Smysl vinutí zavitu		Pravý		
Počet závěrných / obrobených závitů	n_C / n_G	2,0	1,0	



Staticky zatížená pružina

Provozní režim zatížení		Středně těžký provoz		
Požadovaná míra bezpečnosti	s_s	1,15		
Způsob korekce napětí v krutu		Dle Bergsträsserra		

Cyklicky zatížená pružina

Provozní režim zatížení		S lehkými rázy		
Požadovaná životnost pružiny v tisících cyklů	N	Neomezená životnost		
Požadovaná míra bezpečnosti	s_f	1,10		
Způsob korekce napětí v krutu		Dle Wahla		

Volba materiálu pružiny.

Způsob výroby :		**Formované za tepla**		
Materiál pružiny :		EN 10089 50CrV4		

Oblast použití vybraného materiálu

Vhodnost pro dynamické zatížení		excelentní		
Relativní pevnost materiálu		vysoká		
Korozivní odolnost		dobrá		
Maximální pracovní teplota		220		[° C]
Dodávané průměry drátu		8 - 80		[mm]

Mechanické a fyzikální vlastnosti materiálu

Modul pružnosti ve smyku	G_{20}	78500		[MPa]
Modul pružnosti ve smyku při pracovní teplotě	G	78500		[MPa]
Hustota	r	7850		[kg/m^3]

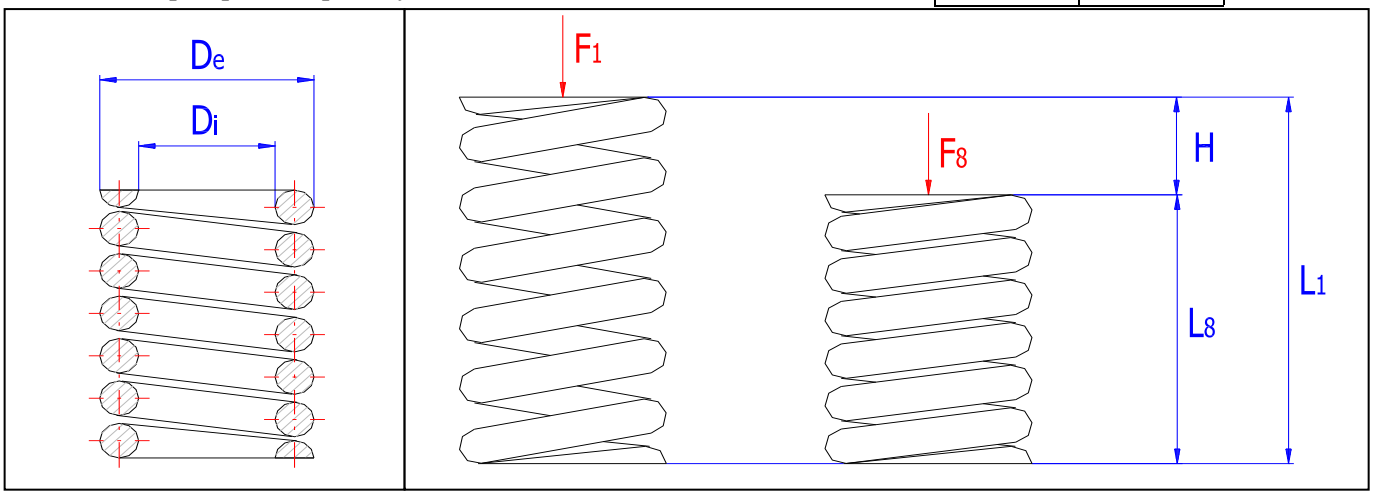
Pevnostní charakteristiky materiálu

Mez pevnosti v tahu	R_m	1370		[MPa]
Mezní dovolené napětí v krutu	t_D	836		[MPa]
Mezní únavová pevnost v krutu	t_c	418		[MPa]
Únavová pevnost v krutu při omezené životnosti	t_f	418		[Mpa]

Návrh pružiny.

Požadované parametry pracovního cyklu

Maximální pracovní zatížení	F_8	12500,0	9,0	[N]
Minimální pracovní zatížení	F_1	4000,0	12,0	[N]
Délka plně zatížené pružiny	L_8	140,0	0,0	[mm]
Požadovaný pracovní zdvih pružiny	H	40,0	0,0	[mm]
Délka předpružené pružiny	L_1	180	0,00	[mm]



Filtry návrhu řešení

Maximální dovolený vnější průměr pružiny	D_{emax}	150,00	[mm]
Minimální dovolený vnitřní průměr pružiny	D_{imin}	110,00	[mm]

Souhrný výpis parametrů navržené pružiny.

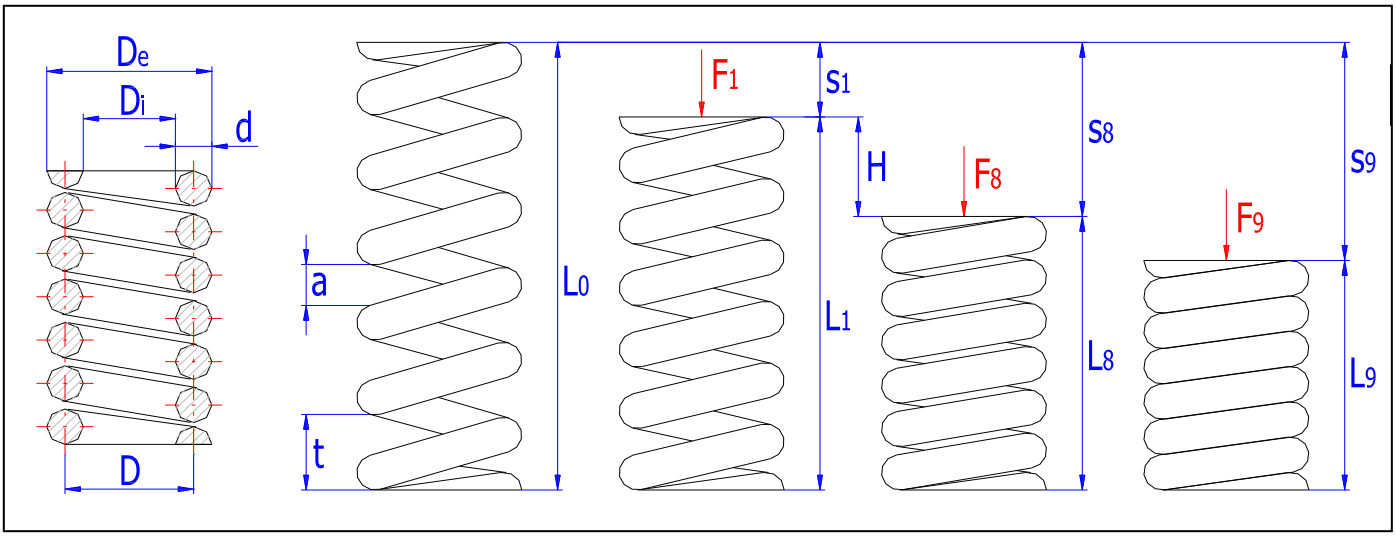
Zatížení pružiny

Minimální pracovní zatížení	F_1	3998,86		[N]
Maximální pracovní zatížení	F_8	12499,95		[N]

Rozměry pružiny

Střední průměr pružiny	D	130		[mm]
Doporučené meze průměru drátu	d_{min} / d_{max}	10,83	43,33	[mm]
Průměr drátu	d	20		[mm]
Vnější / vnitřní průměr pružiny	D_e / D_i	150	110	[mm]
Poměr vinutí	i	6,50		
Počet činných závitů	n	3		
Doporučené meze volné délky	L_{0min} / L_{0max}	157,00	254,50	[mm]
Volná délka pružiny	L_0	200		[mm]
Doporučené meze rozteče mezi závity	t_{min} / t_{max}	39,00	71,50	[mm]
Vůle / rozteč mezi závity volné pružiny	a / t	33,33	53,33	[mm]

Parametry předpružené pružiny				
Deformace (stlačení) pružiny	s_1	16,79		[mm]
Délka pružiny	L_1	183,21		[mm]
Napětí pružiny	t_1	165,47		[MPa]
Parametry plně zatížené pružiny				
Deformace (stlačení) pružiny	s_8	52,48		[mm]
Délka pružiny	L_8	147,52		[mm]
Pracovní zdvih pružiny	H	35,69		[mm]
Napětí pružiny	t_8	517,25		[MPa]
Parametry pružiny ve stavu mezním				
Teoretické mezní zatížení pružiny	F_9	23820,36		[N]
Teoretické stlačení / délka pružiny	s_9 / L_9	100,00	100,00	[mm]
Teoretické napětí pružiny	t_9	985,69		[MPa]
Suma min. dovolených vůlí mezi činnými závity	s_{amin}	18,000		[mm]
Minimální mezní zkušební délka pružiny	L_{minF}	118,00		[mm]
Fyzikální a mechanické vlastnosti pružiny				
Tuhost pružiny	c	238,20		[N/mm]
Deformační energie pružiny	W_8	327,97		[J]
Kritická rychlost pružiny	v_k	13,34		[m/s]
Vlastní kmitočet pružiny	f	140,39		[Hz]
Rozvinutá délka drátu	l	2080		[mm]
Hmotnost pružiny	m	5,130		[kg]



Pevnostní kontrola pružiny				
Korekční součinitel napětí v krutu	K_s	1,2174		
Korigované napětí pružiny v plně zatíženém stavu	t_{8C}	629,70		[MPa]
Mezní dovolené napětí v krutu	t_D	836		[MPa]
Míra bezpečnosti		1,328		

Kontrola pružiny na vzpěrné vybočení

Dovolené / skutečné max. pracovní stlačení pružiny		100	26,24	[%]

Pevnostní kontrola cyklicky zatížené pružiny

Korekční součinitel napětí v krutu	K_f	1,2310		
Korigované napětí pružiny v plně zatíženém stavu	t_{8C}	636,73		[MPa]
Únavová pevnost pro daný průběh zatížení	t_{max}	521		[MPa]
Míra bezpečnosti		0,818		

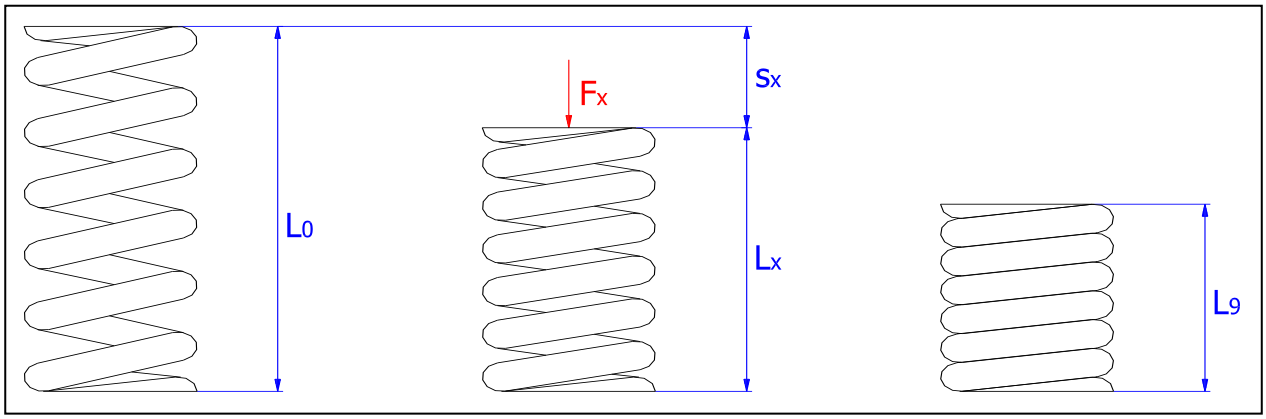
Parametry navržené pružiny pro specifické pracovní zatížení resp. délku pružiny.

Parametry pružiny pro dané pracovní zatížení

Zatížení pružiny	F_x	12500,0		[N]
Deformace (stlačení) pružiny	s_x	52,48		[mm]
Délka pružiny	L_x	147,52		[mm]
Napětí pružiny	t_x	517,25		[MPa]

Parametry pružiny pro danou pracovní délku

Délka pružiny	L_x	140,00		[mm]
Deformace (stlačení) pružiny	s_x	60,00		[mm]
Síla vyvinutá pružinou	F_x	14292,22		[N]
Napětí pružiny	t_x	591,42		[MPa]



Kontrola únosnosti cyklicky zatížené pružiny.

Korekční součinitel napětí v krutu	K_f	1,2310		
Korigované napětí předpružené pružiny	t_{1c}	203,69		[MPa]
Korigované napětí pružiny v plně zatíženém stavu	t_{8c}	636,73		[MPa]
Mez pevnosti materiálu ve smyku	R_{ms}	1096		[MPa]
Mezní dovolené napětí v krutu	t_D	836		[MPa]
Mezní únavová pevnost v krutu	t_c	418		[MPa]
Únavová pevnost v krutu při omezené životnosti	t_f	418		[Mpa]
Únavová pevnost pro daný průběh zatížení	t_{max}	521,1		[MPa]
Míra bezpečnosti		0,818		

Kontrolní výpočet pružiny.

Parametry pracovního cyklu				
Maximální pracovní zatížení	F_8	12499,95		[N]
Minimální pracovní zatížení	F_1	3891,3		[N]
Pracovní zdvih pružiny	H	36,14		[mm]
Pevnostní kontrola pružiny				
Střední průměr pružiny	D	130,00		[mm]
Doporučené meze průměru drátu	d_{min} / d_{max}	19,00	43,33	[mm]
Průměr drátu / z tabulky	d	20,00		[mm]
Vnější / vnitřní průměr pružiny	D_e / D_i	150	110	[mm]
Poměr vinutí	i	6,50		
Mezní dovolené napětí v krutu	t_D	836		[MPa]
Korigované napětí pružiny v plně zatíženém stavu	t_{8c}	629,7		[MPa]
Míra bezpečnosti		1,328		
Stabilita provedení pružiny				
Doporučený minimální počet činných závitů	n_{min}	3,00		
Počet činných závitů	n	3,00		
Teoretická mezní délka pružiny	L_9	100		[mm]
Doporučené meze volné délky	L_{0min} / L_{0max}	170,48	254,50	[mm]
Volná délka pružiny	L_0	200,00		[mm]
Doporučené meze rozteče mezi závity	t_{min} / t_{max}	39	71,5	[mm]
Rozteč mezi závity volné pružiny	t	53,33		[mm]
Minimální mezní zkušební délka pružiny	L_{minF}	118,0		[mm]
Délka pružiny při min. / max. pracovním zatížení	L_1 / L_8	183,66	147,52	[mm]
Stlačení pružiny při min. / max. pracovním zatížení	s_1 / s_8	16,34	52,48	[mm]
Dovolené / skutečné max. pracovní stlačení pružiny		100	26,24	[%]

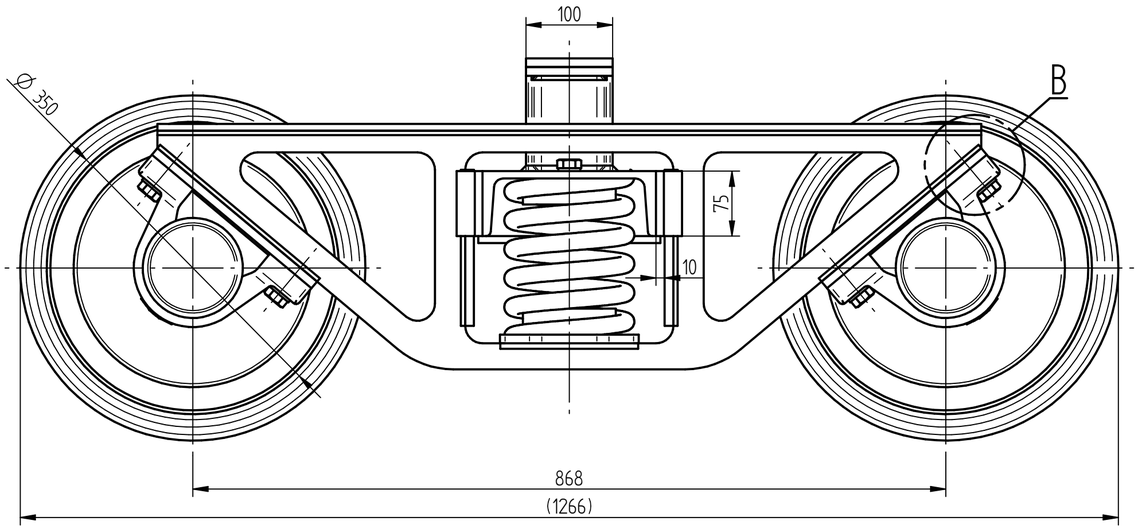
Výpočet pracovních sil pružiny.

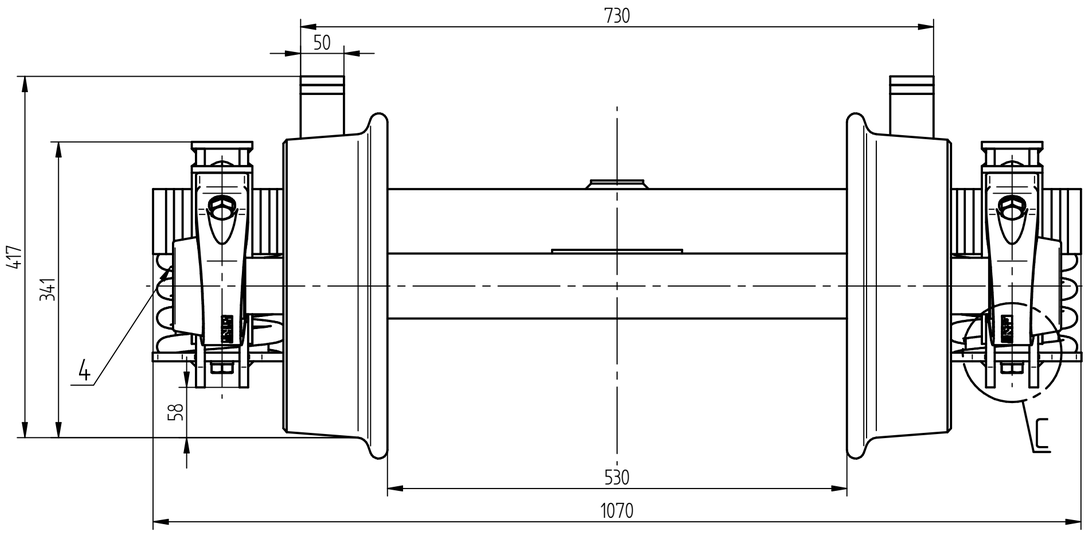
Parametry pracovního cyklu				
Délka plně zatížené pružiny	L_8	146,86		[mm]
Délka předpružené pružiny	L_1	183,00		[mm]
Pracovní zdvih pružiny	H	36,14		[mm]
Rozměry pružiny				
Střední průměr pružiny	D	130,00		[mm]
Průměr drátu / z tabulky	d	20,00		[mm]
Vnější / vnitřní průměr pružiny	D_e / D_i	150	110	[mm]
Poměr vinutí	i	6,50		
Počet činných závitů	n	3,00		
Volná délka pružiny	L_0	200,00		[mm]
Stlačení pružiny při min. / max. pracovním zatížení	s_1 / s_8	17,00	53,14	[mm]
Teoretická mezní délka pružiny	L_9	100		[mm]

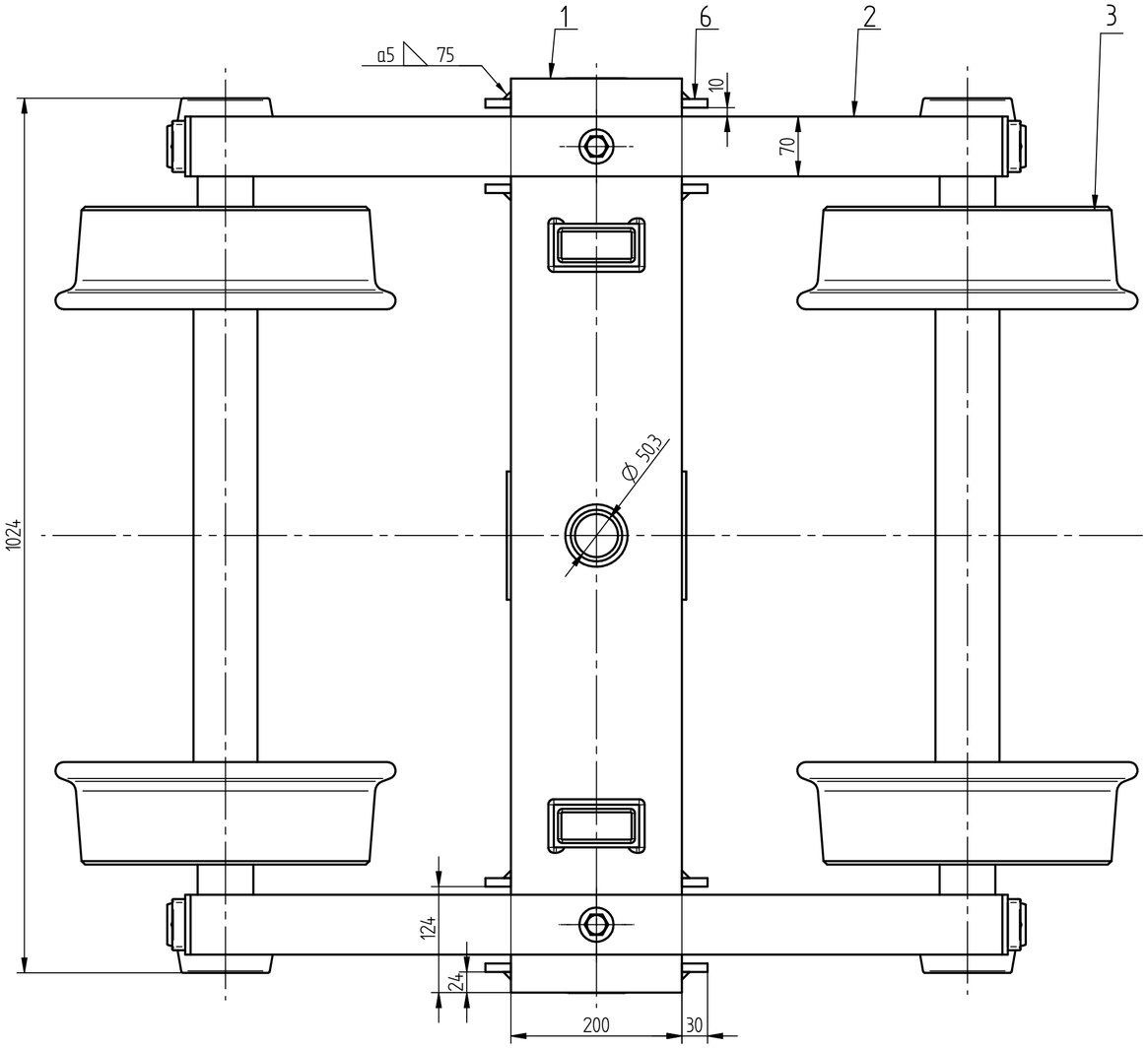
Zatížení pružiny			
Maximální pracovní zatížení	F_8	12658,1	[N]
Minimální pracovní zatížení	F_1	4049,5	[N]
Pevnostní kontrola pružiny			
Mezní dovolené napětí v krutu	t_D	836	[MPa]
Korigované napětí pružiny v plně zatíženém stavu	t_{8c}	637,7	[MPa]
Míra bezpečnosti		1,311	

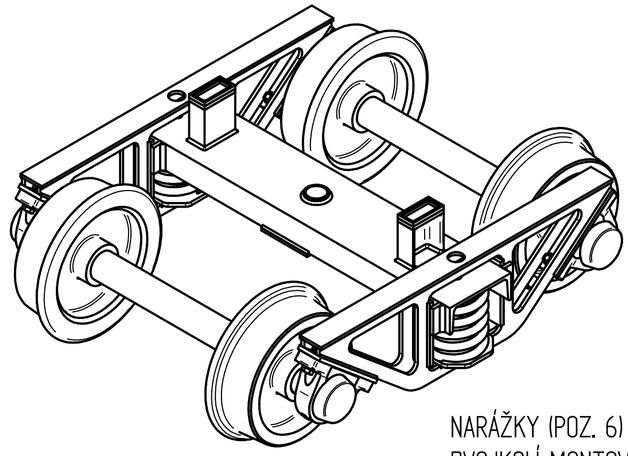
Výpočet pracovních délek pružiny.

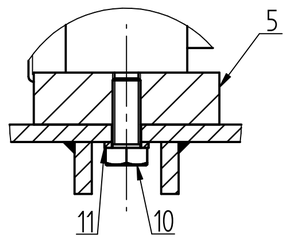
Zatížení pružiny				
Maximální pracovní zatížení	F_8	12499,95		[N]
Minimální pracovní zatížení	F_1	3998,86		[N]
Rozměry pružiny				
Střední průměr pružiny	D	130,00		[mm]
Průměr drátu / z tabulky	d	20,00		[mm]
Vnější / vnitřní průměr pružiny	D_e / D_i	150	110	[mm]
Poměr vinutí	i	6,50		
Počet činných závitů	n	3,00		
Volná délka pružiny	L_0	200,00		[mm]
Teoretická mezní délka pružiny	L_9	100		[mm]
Parametry pracovního cyklu				
Stlačení pružiny při min. / max. pracovním zatížení	s_1 / s_8	16,79	52,48	[mm]
Délka plně zatížené pružiny	L_8	147,52		[mm]
Délka předpružené pružiny	L_1	183,21		[mm]
Pracovní zdvih pružiny	H	35,69		[mm]
Pevnostní kontrola pružiny				
Mezní dovolené napětí v krutu	t_D	836		[MPa]
Korigované napětí pružiny v plně zatíženém stavu	t_{8c}	629,7		[MPa]
Míra bezpečnosti		1,328		



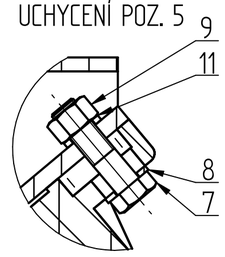








DETAIL C
UCHYCENÍ POZ. 5



DETAIL B
USPOŘÁDÁNÍ ŠROUB.
SPOJE LOŽ. DOMKU

NARÁŽKY (POZ. 6) PŘIVAŘIT AŽ PO SESTAVENÍ POZIC 1 A 2
DVOJKOLÍ MONTOVAT MAZNICEMI SMĚREM "VEN"
UCHYCENÍ POZICE 5 NA PŘÍČNÍK (POZ. 1) JE STEJNÉ JAKO V DETAILU C
PRUŽINY NAKRESLENY V ZATÍŽENÉM STAVU
ČELA KOL V BARVĚ RAL 9010 – PLOCHA VYZNAČENA NA VÝK. BHT600-C-005

11	PODLOŽKA NORDLOCK M16				12
10	ŠROUB M16x40	ISO 4017			4
9	MATICE M16	ISO 4032			8
8	PODLOŽKA 17x30x3	ISO 7089			8
7	ŠROUB M16x60	ISO 4017			8
6	NARÁŽKA	PÁSOVINA 30x10x75			8
5	VEDENÍ PRUŽINY	BHT600-S-001	2,1		4
4	PRUŽINA 20x150x200x5z	BHT600-P-001.xls	5,5		2
3	DVOJKOLÍ	BHT600-C-005	137		2
2	PODÉLNÍK	BHT600-C-002	27		2
1	PŘÍČNÍK	BHT600-C-003	34,1		1
Číslo polož.	Název - označení	Polotovar Číslo výkresu - označení normy	Hmotn. (kg)	J.	Množ.

Měřítko	Hmotnost (kg)	Povrchová úprava	Počet vyráběných kusů	Poznámka	Promítání	Formát
1:5	390	NÁTĚR RAL 9005	2	PROTOTYPOVÉ PROVEDENÍ		A2

Kontakt
Jan **BENO**
tel.: 725 240 201
Jiří **HURTA**
tel.: 608 778 767

Kreslil Jan BENO
Datum 29.3.2016
Schválil
Datum
Druh dokumentu VÝKRES SESTAVY

Název
PODVOZEK BHT600
Číslo dokumentu
BTH600-C-001
List Listů