

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2301T001 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studie podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo

Autor: **Bc. Petr Bláha**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr BLÁHA**
Osobní číslo: **S12N0016P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Studie podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

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

Základní požadavky:

Studie trakčního podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo. Hledat cesty pro nízkou hmotnost a dobré jízdní vlastnosti. Návrh neotočného i otočného podvozku.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše současných podvozků pro nízkopodlažní tramvaje
2. Návrh vlastního koncepčního řešení
3. Celková dispozice podvozku s variantami pro otočný a neotočný podvozek
4. Pevnostní výpočet vybraného dílu
5. Projekční výkres podvozku
6. Výrobní výkres vybraného dílu

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

DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla I. Plzeň: Západočeská univerzita, 2007

DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla II. Plzeň: Západočeská univerzita, 2009

DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla III. Plzeň: Západočeská univerzita, 2011

LATA, M. Konstrukce kolejových vozidel II. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004

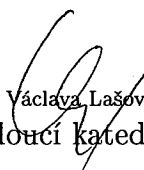
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**
Regionální technologický institut
Konzultant diplomové práce: **Ing. Radek Kottner, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **23. září 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **23. května 2014**


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan




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

V Plzni dne 23. září 2013

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském, č. 35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledků diplomové práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Doc. Ing. Petru Hellerovi, CSc. za cenné rady, poskytnuté informace, odborné připomínky, vstřícnost a vedení práce. Také bych chtěl poděkovat konzultantovi mé diplomové práce panu Ing. Radku Kottnerovi, Ph.D. za poskytnutí informací. Dále bych chtěl vyjádřit díky celé mé rodině a přátelům za jejich podporu během studia.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Bláha	Jméno Petr	
STUDIJNÍ OBOR	2301T001 – 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	Studie podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	58	TEXTOVÁ ČÁST	54	GRAFICKÁ ČÁST	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce se zabývá návrhem trakčního podvozku pod nízkopodlažní tramvaj. Cílem bylo vytvořit otočnou a neotočnou variantu. Podvozek využívá standardního dvojkolí s malými koly. Na podvozku je použit pouze hlavní příčník s kolébkou. Vedení dvojkolí je provedeno pomocí listových pružin nahrazující podélníky podvozku. Práce se také zabývá pevnostním výpočtem nápravy, listové a šroubové pružiny. Pro neotočnou variantu byly vytvořeny dva návrhy.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Druhy současných podvozků, nízkopodlažní trakční podvozek, otočná a neotočná varianta, 3D projekce, náprava, listová pružina, výpočet.</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Bc. Bláha	Name Petr	
FIELD OF STUDY	2301T001 - 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	Research study of a bogie for the low-floor tram		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	58	TEXT PART	54	GRAPHICAL PART	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis deals with the design of the traction bogie for the low-floor tram. The aim of the thesis was to create rotary and non-rotary bogie. The bogie has a standard axle with small wheels. There is used only the main crosspiece with a cradle in the bogie. The motion of a bogie is done by leaf springs without longitudinal beam. The thesis deals with the strength calculation of axle and leaf and coil spring too. For the non-rotary bogies were made two drafts.
KEY WORDS	Types of a present bogies, traction bogie of low-floor tram, rotary and non-rotary bogie, 3D design, axle, leaf spring, strength calculation.

Obsah

Seznam příloh.....	8
Seznam obrázků	8
Seznam tabulek	9
Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
1 Úvod.....	11
2 Současné podvozky pro nízkopodlažní tramvaje	13
2.1 Druhy uspořádání nízkopodlažních tramvajů	13
2.2 Podvozky pro částečně nízkopodlažní tramvaje.....	14
2.2.1 Neotočný podvozek tramvaje Astra (Škoda).....	14
2.2.2 Otočný podvozek Komfort plus tramvaje Vario LF2+ (Pragoimex).....	14
2.2.3 Otočný podvozek tramvaje Avanto SF 70 (Siemens)	15
2.3 Neotočné podvozky pro 100% nízkopodlažní tramvaje	16
2.3.1 Podvozek pro tramvaj Combino SF 30 C TFW (Siemens)	16
2.3.2 Podvozek pro tramvaj Combino plus SF 30 TFV/LFW (Siemens).....	16
2.3.3 Podvozek DG 1000/DG1235 (Sames)	17
2.3.4 Podvozek tramvaje Solaris Tramino S 105p (Solaris)	18
2.3.5 Podvozek FLEXX Urban 1000 (Bombardier)	18
2.3.6 Podvozek FLEXX Urban 3000 (Bombardier)	19
2.4 Otočné podvozky pro 100% nízkopodlažní tramvaje.....	20
2.4.1 Podvozek pro tramvaje For City (Škoda).....	20
2.4.2 Podvozek MB 202 (Prose).....	20
2.4.3 Podvozek iXége pro tramvaj Citadis (Alstom).....	21
2.5 Jednoosé podvozky pro 100% nízkopodlažní tramvaje.....	22
2.5.1 Podvozek pro tramvaj ULF (Siemens).....	22
3 Návrh vlastní koncepce – otočný podvozek.....	23
3.1 Rám podvozku – hlavní příčník.....	26
3.2 Kolébka	27
3.3 Dvojkolí.....	28
3.3.1 Náprava.....	28
3.3.1.1 Výpočet nápravy	28
3.3.2 Kolo	37
3.3.3 Nápravové ložisko	38
3.3.3.1 Výpočet nápravového ložiska	38
3.4 Vypružení	39

3.4.1	Návrh a výpočet vypružení	40
3.4.1.1	Návrh šroubovitě pružiny sekundárního vypružení:	42
3.4.1.2	Kontrola čepů primárního vypružení	43
4	Návrh vlastní varianty – neotočný podvozek	45
4.1	Přenos sil krátkou tažně - tlačnou tyčí	45
4.2	Přenos sil nárazky	46
5	Pevnostní kontrola listové pružiny	47
5.1	Síť	47
5.2	Okrajové podmínky	47
5.3	Výsledky	49
5.3.1	Deformace	49
5.3.2	Napětí	49
5.4	Alternativa materiálu listů	50
6	Závěr	52
7	Seznam použité literatury	53
7.1	Knižní publikace	53
7.2	Časopisecké zdroje	53
7.3	Publikace na internetu	53
7.4	Ostatní zdroje	54

Seznam příloh

Název	Číslo výkresu	Formát výkresu
Dispozice otočného podvozku	DP-2014-001	A1
Dispozice neotočného podvozku 1	DP-2014-002	A1
Dispozice neotočného podvozku 2	DP-2014-003	A1
Hlavní příčník	DP-2014-004	A0

Seznam obrázků

Obrázek 1: Omnibus	11
Obrázek 2: Nízká podlaha	12
Obrázek 3: Částečně nízkopodlažní vozidlo	13
Obrázek 4: Dvojkolí s menším průměrem kol	13
Obrázek 5: Podvozek s nápravnicí	13
Obrázek 6: Podvozek s nápravnicí pod kabinou řidiče	13
Obrázek 7: Podvozek tramvaje ASTRA	14
Obrázek 8: Otočný podvozek tramvaje Vario	15
Obrázek 9: Podvozek SF 70	15
Obrázek 10: Podvozek SF 30 C TFW	16
Obrázek 11: Podvozek 7 SF 30 TLF/LFW	17
Obrázek 12: Podvozek DG 1000	17
Obrázek 13: Podvozek tramvaje S105p	18
Obrázek 14: Podvozek FLEXX Urban 1000	19
Obrázek 15: Podvozek FLEXX Urban 3000	19
Obrázek 16: Podvozek pro tramvaj 15 T	20
Obrázek 17: Podvozek MB 202	21
Obrázek 18: Podvozek pro tramvaj Citadis	21
Obrázek 19: Podvozek tramvaje ULF	22
Obrázek 20: Otočný podvozek	23
Obrázek 21: Otočný podvozek – zdola	24
Obrázek 22: Řez podvozkem	25
Obrázek 23: Rám podvozku	26
Obrázek 24: Kolébka	27
Obrázek 25: Silové zatížení nápravy	29
Obrázek 26: Kontrolované průřezy	30

Obrázek 27: Kolo	37
Obrázek 28: Ložisková jednotka CTBU.....	38
Obrázek 29: Primární vypružení	39
Obrázek 30: Schéma uložení čepu	43
Obrázek 31: Neotočný podvozek 1	45
Obrázek 32: Krátká tažně tlačná tyč.....	46
Obrázek 33: Neotočný podvozek 2	46
Obrázek 34: Síť modelu.....	47
Obrázek 35: Okrajové podmínky	48
Obrázek 36: Deformace modelu	49
Obrázek 37: Průběh napětí - zředu	49
Obrázek 38: Průběh napětí - zezadu	50
Obrázek 39: Symetrický vyrovnaný laminát	51
Obrázek 40: Vrstvy kompozitu	51

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přípustná napětí nápravy	34
Tabulka 2: Tabulka výsledků	37
Tabulka 3: Parametry šroubovitě pružiny.....	43

Přehled použitých zkratk a symbolů

ČSN	Česká státní norma
EN	Evropská norma
KCU	Vrubová houževnatost
m [kg]	Hmotnost
F [N]	Síla
P [N]	Svislá síla
Q [N]	Svislá reakce
H [N]	Příčná síla
Y [N]	Příčná síla
M [N.m]	Moment
g [m/s ²]	Gravitační zrychlení
i [-]	Převod, počet náprav
h, s, b [m]	Délkové rozměry
y, m, k [m]	Ramena k průřezům
D, d [m]	Průměr
R, r [m]	Poloměr
p [MPa]	Tlak
μ [-]	Součinitel adheze
Γ [-]	Součinitel tření
σ [MPa]	Napětí
τ [MPa]	Tečné napětí
v [m/s]	Rychlost
n [ot]	Otáčky
C [N]	Základní dynamická únosnost
P [N]	Ekvivalentní dyn. zatížení
L [ot]	Trvanlivost
O [m]	Obvod
G [MPa]	Modul pružnosti ve smyku
k [N/m]	Tuhost
f [Hz]	Frekvence
H [m]	Výška pružiny
z [m]	Stlačení pružiny

1 Úvod

Městská přeprava lidí patřila už od počátku k velkým městům s mnoha tisíci počtem obyvatel. Ať už při prvopočátku dopravy kde hlavním pohonem byli koně a přepravní prostor pro cestující se používal dřevěný kočár. Nutno poznamenat, že jízdní komfort pro cestující nebyl zrovna příjemný a přepravní kapacita cestujících byla postupem času nevyhovující.

Vývoj přepravy lidí se značně vyvíjel a první vznik samotné městské hromadné dopravy sahá do roku 1622, kdy v Paříži pod názvem „Carosse“ vznikl první omnibus. Tehdy šlo o vůz tažený koňmi pro osm cestujících, jezdící po městě dle předepsaného jízdního řádu. [9]



Obrázek 1: Omnibus [8]

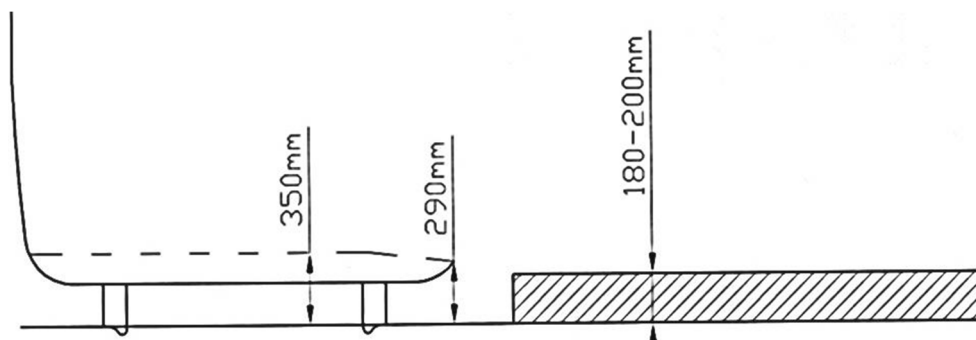
Později vznikají první linky s vozy taženými koňmi po kolejnicích – koňská tramvaj uvedena v New Yorku v roce 1832. V roce 1845 se začaly budovat tramvajové linky i v Evropě. V českých zemích vznikla tramvajová linka tažená koňmi v Praze roku 1875. Postupem času byly koně vyměněny za parní stroje a nástupem rozmachu elektrického proudu za elektromotory. V Praze roku 1891 byla představena první elektrická tramvaj na Jubilejní výstavě zásluhou Františka Křižíka. Tramvajové linky se v České republice postupně rozšiřovaly do větších měst, celkem jezdily tramvaje v 15 městech. Nástupem socialismu došlo k úpadku elektrické trakce a v některých městech byla zrušena tramvajová (např. České Budějovice, Opava, Mariánské Lázně, Teplice) tak i trolejbusová doprava. Nahradila ji autobusová doprava z důvodu nízké ceny ropy z SSSR. V současné době jezdí tramvaje v 7 městech České republiky. Také došlo k sjednocení rozchodu na 1435 mm až na výjimku tramvajové tratě o rozchodu 1000 mm z Jablonce nad Nisou do Liberce. [11]

Tramvajová doprava se stala nedílnou součástí v městské dopravě až dodnes. Její výhody jsou jednoznačné. Představuje velkou přepravní kapacitu cestujících v krátkých časových intervalech oproti autobusové dopravě. Má malé provozní náklady, kde velkou výhodou je malý valivý odpor. Neprodukuje skleníkové plyny a je šetrná k životnímu prostředí. Umožňuje kombinaci s provozem po železnici – tram-train a není závislá na přetížené automobilové dopravě vlivem vlastní jízdní dráhy.

Samozřejmě jako každá věc má i řadu nevýhod. Mezi hlavní nevýhody patří závislost na elektrické trakci, špatná manévrovatelnost, která je omezená kolejemi, jízdním průřezem a minimálním poloměrem jízdy v oblouku. Větší hmotnost vede k delším brzdným drahám. Při pohybu kola po kolejnici (kov na kov) vzniká riziko skluzu a smyku. Jejím provozem vzniká větší hlučnost zejména v obloucích. [11]

Mezi další nevýhody u starších modelů tramvají také patří vysoká podlaha, která se nacházela standardně 800 mm nad temenem kolejnice. Takto vysoké podlahy obsahují u vstupu do vozu 2 až 3 vysoké schůdky, které představují v dnešní době nepřekonatelnou bariéru pro starší obyvatelé nebo maminky s kočárky a také pro vozíčkáře. V dnešní společnosti, která se vydala cestou integrace takovýchto lidí do společnosti je zřejmý požadavek odstranit takovéto bariéry. Zejména města se snaží o bezbariérové přístupy a vyslovují tak požadavek na bezbariérové přístupy všude, tedy i do tramvají. Příčinou těchto vysokých podlah jsou podvozky pro tramvaj, kde musí být umístěny nápravy s koly a mnoho dalšího zařízení, jaké jsou např. pohon, brzdy apod.

Jak bylo uvedeno, dnes jsou tyto podvozky již nevyhovující a z tohoto důvodu se hledají nové varianty koncepcí skříní a podvozků, aby tramvaj obsahovala minimálně 30% nízké podlahy. Nejsložitější řešení nastává při hledání nových koncepcí pro 100% nízkopodlažní tramvaje. Zde nastává problém s umístěním podvozku, aby podlaha skříně neobsahovala žádný schůdek, nanejvýš šikmé rampy, které překonávají výšku podvozku od temena kolejnice. Podlaha musí dosahovat maximálně 350 mm od temena kolejnice u vstupu do vozidla. V tomto případě umístění trakčních motorů musí být na jiném místě než u klasických tramvajových podvozků. [3]



Obrázek 2: Nízká podlaha [3]

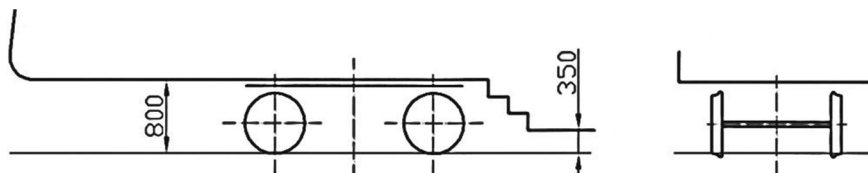
Diplomová práce se proto zabývá hledáním nových koncepčních řešení podvozků pro otočnou a neotočnou variantu nízkopodlažní tramvaje. Hlavními požadavky jsou nízká hmotnost podvozku, dobré jízdní vlastnosti, aby se nepřenašelo chvění od místa styku kola s kolejnicí do prostoru pro cestující a hledání nových uspořádání koncepce.

Diplomová práce se skládá ze dvou hlavních částí. V první části je provedena rešerše současných podvozků pro 100% nízkopodlažní tramvaje. Dále se zabývá druhy uspořádání nízké podlahy. V další části diplomové práce je popsán vlastní návrh podvozku pro otočnou a neotočnou variantu, kde jsou rozebrány jednotlivé komponenty podvozku. Byly vytvořeny dvě neotočné varianty podvozků a jedna varianta otočná. Je zde zaznamenán postup výpočtu nápravy, ložiska a vypružení podvozku. Výpočet primárního vypružení byl proveden pomocí metody konečných prvků. Na závěr diplomové práce jsou přiloženy v příloze projekční výkresy otočného a neotočného podvozku a výrobní výkres vybraného dílu.

2 Současné podvozky pro nízkopodlažní tramvaje

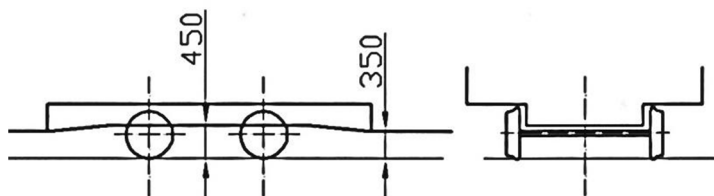
2.1 Druhy uspořádání nízkopodlažních tramvajů

- a) *Částečně nízkopodlažní vozidlo* – podvozek obvyklé koncepce umístěn v prostoru pod vysokou podlahou. Do prostoru nízké podlahy vedou 2-3 schůdky. [3]



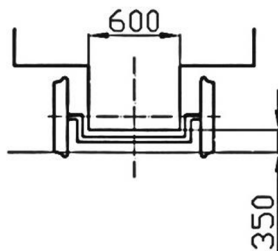
Obrázek 3: Částečně nízkopodlažní vozidlo [3]

- b) *Dvojkolí s menším průměrem kol* – úroveň podlahy je snížena na cca 450 mm. Mezi nízkou podlahou a vyšší podlahou je šikmá rampa nebo schůdek. [3]



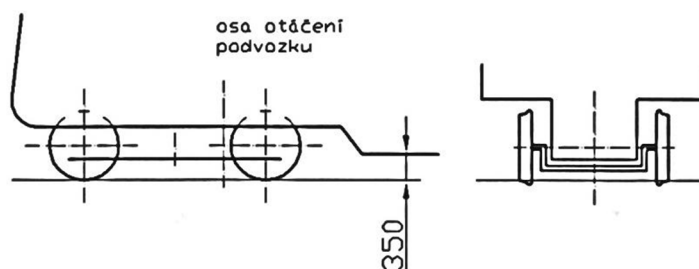
Obrázek 4: Dvojkolí s menším průměrem kol [3]

- c) *Podvozek s nápravnicemi s volně otočnými koly* – podvozek je většinou neotočný. Kola jsou obvyklého průměru umístěna do prostoru pod sedadlo. [3]



Obrázek 5: Podvozek s nápravnicí [3]

- d) *Podvozek s nápravnicemi, vysutého pod kabinou řidiče* [3]

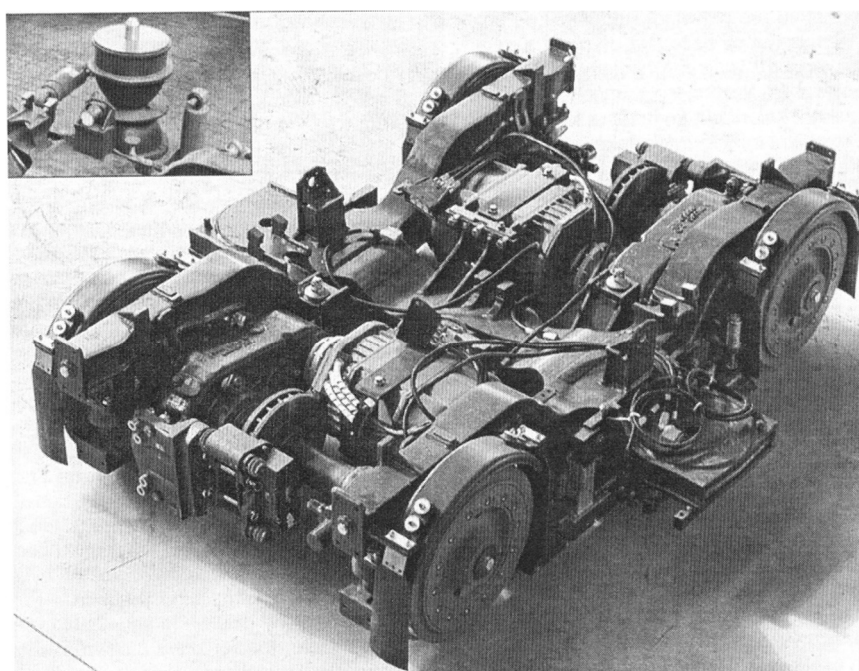


Obrázek 6: Podvozek s nápravnicí pod kabinou řidiče [3]

2.2 Podvozky pro částečně nízkopodlažní tramvaje

2.2.1 Neotočný podvozek tramvaje Astra (Škoda)

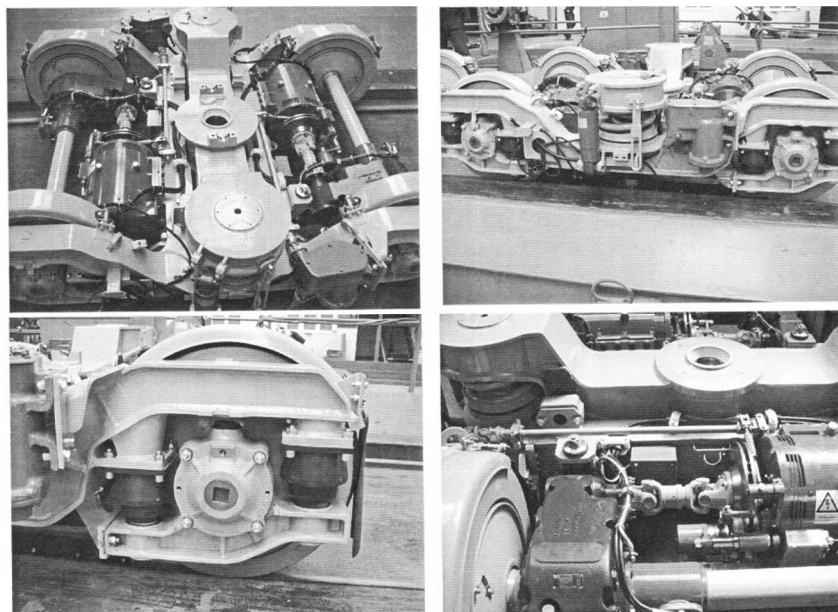
Podvozek je tvořen hlavním příčnickem a dvěma podélníky obdélníkového průřezu uprostřed snížených. Rám je svařovaný a otevřený ve tvaru H. Na hlavním příčnicku jsou konzoly pro upevnění trakčních motorů. Primární vypružení je tvořeno pryžovými silentbloky. Sekundární vypružení tvoří šroubovitě pružiny s paralelními tlumiči umístěné ve snížené části podélníku na „balkonkách“. Dvojkolí je obvyklé tramvajové s odpruženými koly. Pohon tvoří asynchronní trakční motor. Kroutící moment k dvoustupňové převodovce přenáší zubová spojka. Převodovka je zachycena k rámu podvozku pomocí svislé závěšky. Na převodové skříně je umístěna brzdová jednotka, která brzdí brzdový kotouč na nápravě. Přenos podélných sil z podvozku na skříně je tvořen ojnicí. [3]



Obrázek 7: Podvozek tramvaje ASTRA [3]

2.2.2 Otočný podvozek Komfort plus tramvaje Vario LF2+ (Pragoimex)

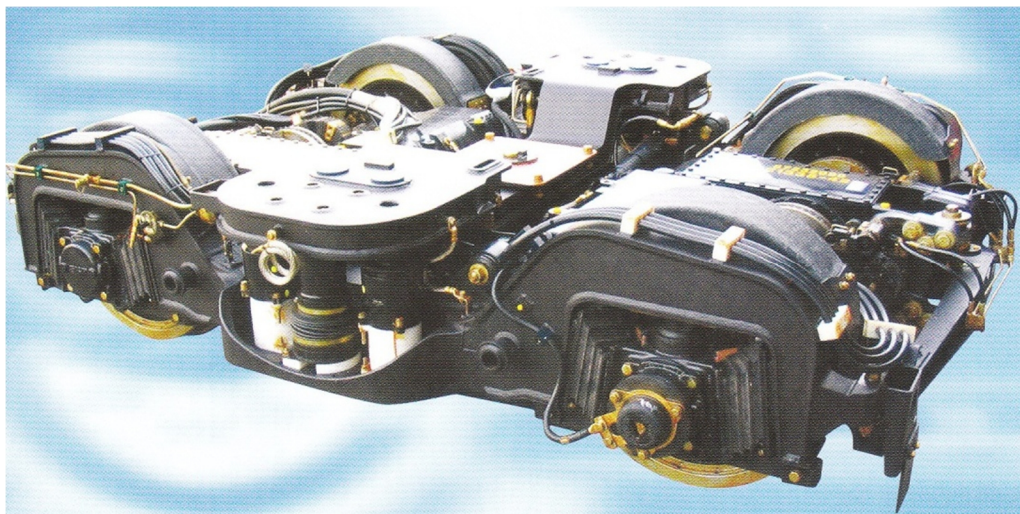
Rám podvozku je svařovaný z plechů a tvoří ho dva podélníky uprostřed snížené a hlavní příčník. Podvozek má standardní dvojkolí, na kterém jsou pryží odpružená kola. Primární vypružení tvoří pryžokovové válcové silentbloky. Sekundární vypružení tvoří dvě duplexní šroubovitě pružiny s paralelními tlumiči. Na sekundárním vypružení je umístěna kolébka s pouzdem se silentblokem pro otočný čep. Trakční motor je umístěn na hlavním příčnicku. Z motoru navazuje krátká kloubová hřídel, která pohání dvoustupňovou převodovku, která je zachycena k rámu podvozku pomocí závěšky. Podvozek je brzděn pomocí kotoučové brzdy umístěný na hřídeli motoru. Přenos podélných sil je proveden čtyřmi pružnými nárazkami na konzolách rámu podvozku a kolébce. [3]



Obrázek 8: Otočný podvozek tramvaje Vario [3]

2.2.3 Otočný podvozek tramvaje Avanto SF 70 (Siemens)

Rám podvozku je svařovaný z plechů a odlitků. Tvoří ho uprostřed snížené podélníky a hlavní příčník. Podvozek má čelníky upevněny přes pryžové elementy, které slouží jako dodatečná podpora pro trakční jednotku. Podvozek má klasické dvojkolí o průměru 660 mm. Primární vypružení a vedení nápravového ložiska tvoří pružiny Meggi. Sekundární vypružení tvoří dva páry šroubovitých pružin, které podpírají kolébku s otvorem pro otočný čep. Podélné síly jsou přenášeny podélnými táhly. K pohonu je použit třífázový asynchronní motor. Kroučící moment se přenáší přes čelní převodovku, dutou kloubovou hřídel kolem nápravy a klínové pryžové spojky. [3]



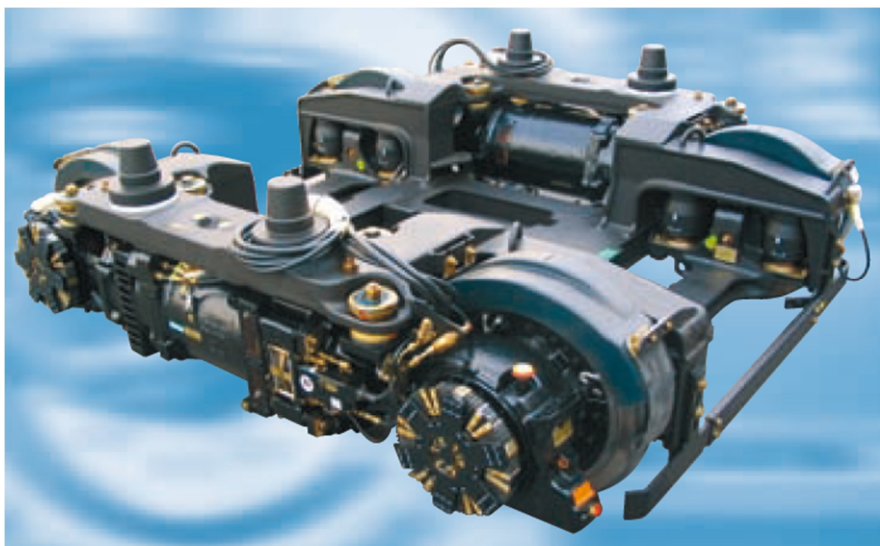
Obrázek 9: Podvozek SF 70 [4]

2.3 Neotočné podvozky pro 100% nízkopodlažní tramvaje

- podvozek je svázan pevně se skříní – může se pouze vychylovat o 1° až 2° . V oblouku se natáčí se skříní.

2.3.1 Podvozek pro tramvaj Combino SF 30 C TFW (Siemens)

Tento podvozek musí umožňovat místo pro nízkou podlahu, který vyžaduje umístění trakčních motorů vně dvojkolí. Jedná se o podélný motor se skupinovým pohonem volně otočných kol na nápravnici. Kola mají protihlukovou izolaci. Na otevřeném složitém rámu je upevněn pružně hnací agregát. Nachází se nízko od temena kolejnice, čímž zaručuje malé neodpružené hmoty a nízko položené těžiště. Kroutící moment se přenáší pomocí klínové spojky na dvojkolí přes převodovku. Vedení kol a primární vypružení tvoří pryžové silentbloky. Sekundární vypružení tvoří šroubovitě pružiny s paralelními tlumiči. Kotoučová brzda je umístěna v hnacím agregátu hned vedle motoru. Maximální rychlost je 70 km/h. Rozvor podvozku je 1800 mm. [3]



Obrázek 10: Podvozek SF 30 C TFW [4]

2.3.2 Podvozek pro tramvaj Combino plus SF 30 TFV/LFW (Siemens)

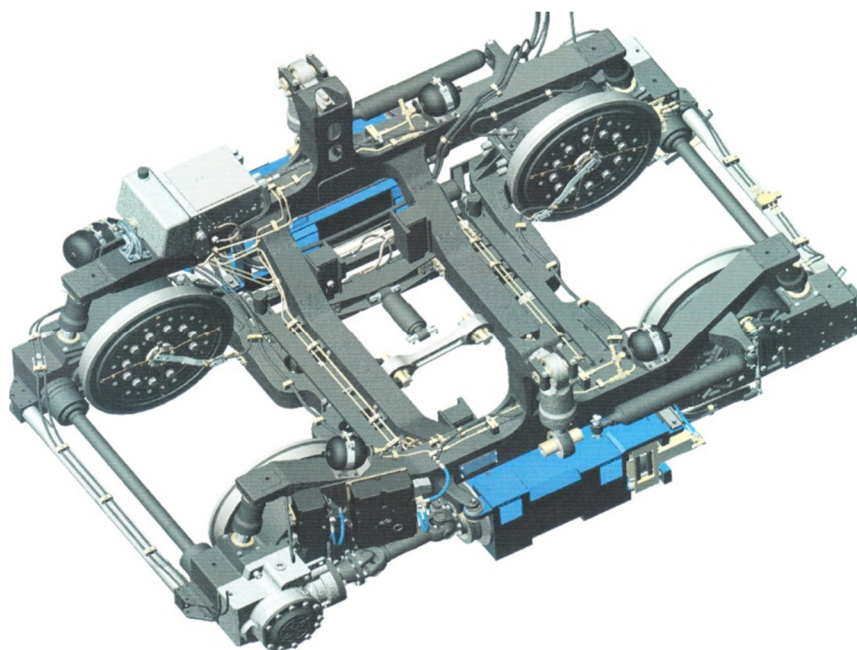
Tyto podvozky umožňují vertikální posuv cca o $4,5^\circ$ oproti předchozímu podvozku. Sekundární vypružení je čtyřmi pryžokovovými silentbloky s paralelním tlumičem. Přenos podélné síly umožňuje krátká tažně tlačná tyč, která je uložena v silentblokách. Kotoučová brzda u podvozku TFW (trakční) je umístěna také v hnacím agregátu hned vedle motoru. U podvozku LFW (běžný) je umístěna kotoučová brzda vedle kola vně podvozku a brzdová jednotka je umístěna na rámu podvozku. Maximální rychlost je 70 km/h. Rozvor podvozku je 1800 mm. [3]



Obrázek 11: Podvozek 7 SF 30 TLF/LFW [4]

2.3.3 Podvozek DG 1000/DG1235 (Sames)

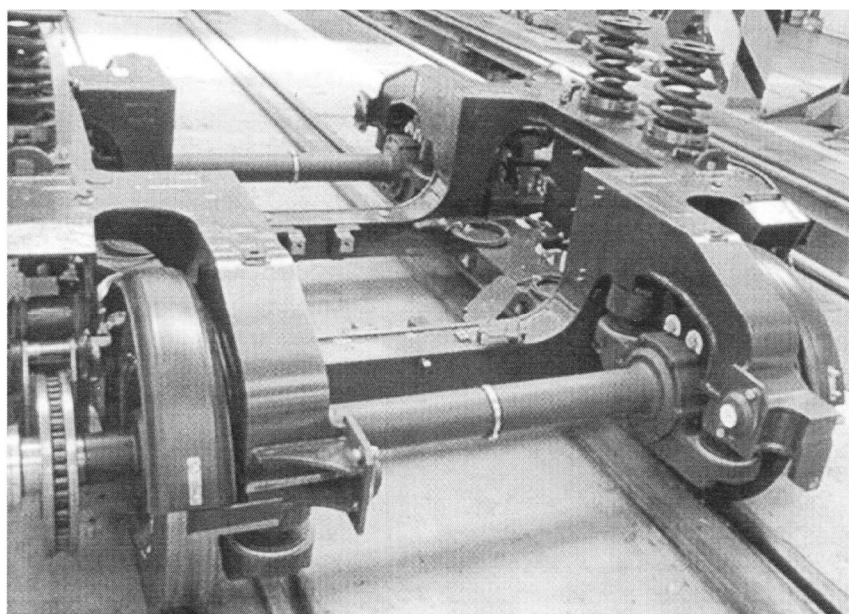
Koncepce podvozku je navržena pro úzký rozchod 1000 mm. Kola o průměru 600 mm jsou uložena v ložiskových skříních, která tvoří rám a současně kývačku s hydropneumatickým primárním vypružením. Kola jsou spojena přes kuželové převodovky hřídelí, které nahrazují nápravu a jsou radiálně stavitelná při jízdě v oblouku. Dvojkolí pohání asynchronní motor o výkonu 65 kW podélně uložené vně rámu. Rám je svařované konstrukce z dvou příčníků a podélníků. Na rámu podvozku je umístěna krátká tažně tlačná tyč pro přenos podélných sil ze skříně. Sekundární vypružení tvoří hydropneumatické pružiny, které regulují výšku podlahy. Maximální rychlost je 70 km/h. Rozvor podvozku je 2000 mm. [3]



Obrázek 12: Podvozek DG 1000 [6]

2.3.4 Podvozek tramvaje Solaris Tramino S 105p (Solaris)

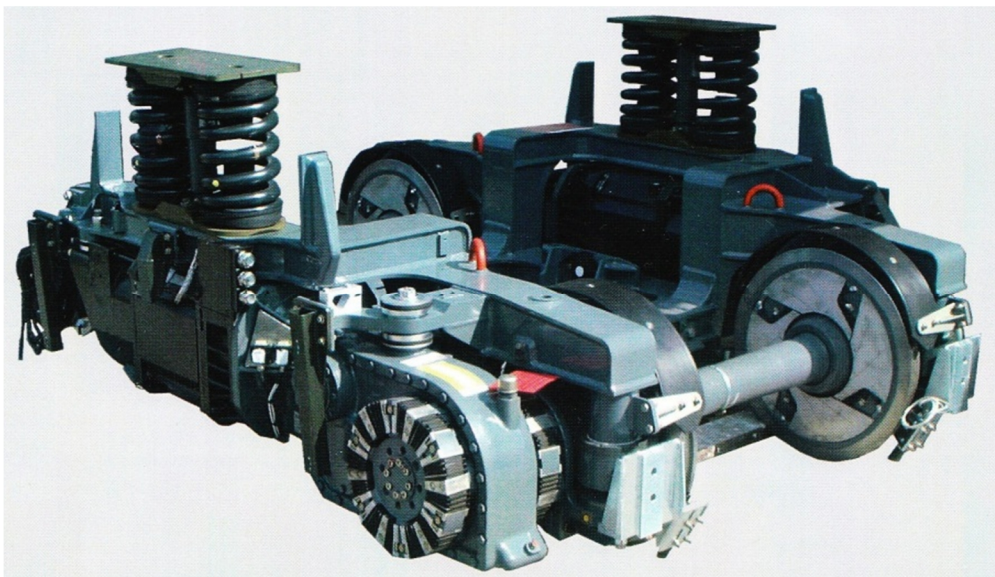
Tramvaj má stejný typ trakčního a běžného podvozku, které mají stejný rozvor 1800 mm a průměr dvojkolí 620/540 mm. Pohon u trakčního podvozku je zajištěn podélnými vně uloženými asynchronními motory o výkonu 105 kW, které pohánějí přes kuželočelní převodovku a dvoudílnou flexibilní spojku jedno dvojkolí. Na druhé straně dvojkolí je umístěna kotoučová brzda. Rám podvozku je svařovaný otevřen, doplněn o vevařené odlitky v místech vysokého namáhání. Primární vypružení je provedeno kuželovými silentbloky, které umožňuje stavění dvojkolí v oblouku do radiální polohy. Sekundární vypružení je provedeno čtyřmi šroubovitými pružiny. [3]



Obrázek 13: Podvozek tramvaje S105p [3]

2.3.5 Podvozek FLEXX Uraban 1000 (Bombardier)

Podvozek tvoří otevřený rám, svařený z podélníků a příčníků skříňových průřezů, na kterém je umístěn podélný trakční motor vně rámu. Motor pohání vždy jedno dvojkolí o výkonu 100 kW umístěn kolmo k ose nápravy. Kotoučová brzda je umístěna na druhém konci nápravy. Dvojkolí má průměr 560 mm s tlumiči hluku. Primární vypružení a zároveň vedení dvojkolí zajišťují čtyři pryžokovové pružící prvky na každé nápravě. Sekundární vypružení je tvořeno dvojicí flexi-coilových pružin na každé straně s paralelním tlumičem. V příčném směru mají větší tuhost, proto podvozek nemá torzní stabilizátor. Vrtivé pohyby podvozku tlumí hydraulické tlumiče a čtyři svislé konzoly s pružnými nárazkami, které tento pohyb omezují. Maximální rychlost je 70 km/h. Rozvor podvozku je 1850 mm. [3]



Obrázek 14: Podvozek FLEXX Urban 1000 [5]

2.3.6 Podvozek FLEXX Urban 3000 (Bombardier)

Tento podvozek je nástupce podvozku FLEXX Urban 1000 pro 100% nízkopodlažní tramvaje díky jeho spolehlivosti, robustnosti a nízké hlučnosti. Pohon tvoří dva kompaktní vodou chlazené elektromotory o výkonu 2x125 kW umístěné podélně vně rámu. Kola jsou doplněná o tlumiče hluku a jsou plně odpružená. Primární vypružení je tvořeno pryžovými bloky. Sekundární vypružení je tvořeno kuželovými pryžovými. Brzdový systém je hydraulický integrován do podvozku. Podélná síla se přenáší pomocí ojnice. Maximální rychlost je 80 km/h. Rozvor podvozku je 1850 mm. [13]



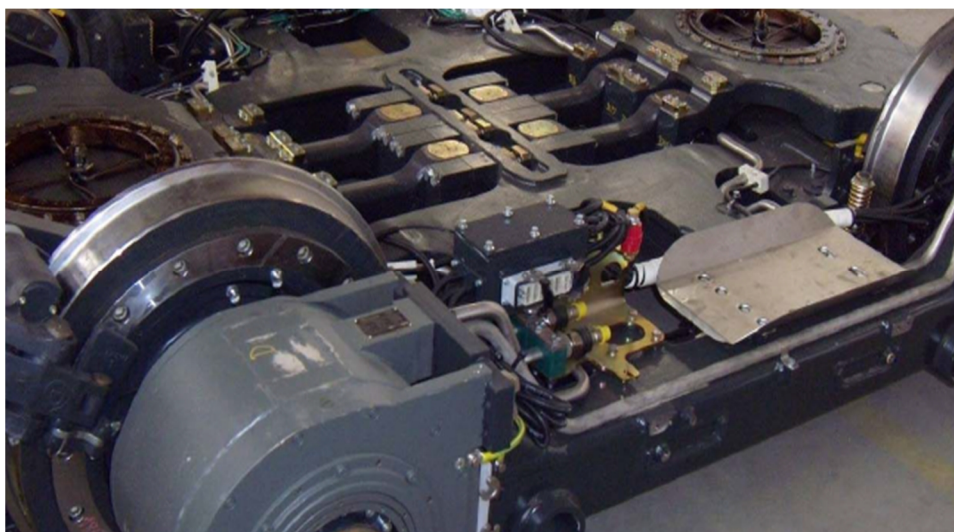
Obrázek 15: Podvozek FLEXX Urban 3000 [12]

2.4 Otočné podvozky pro 100% nízkopodlažní tramvaje

- jsou zcela volně otočné v oblouku

2.4.1 Podvozek pro tramvaje For City (Škoda)

Pohon kol je individuální, který zajišťují čtyři synchronní motory s permanentními magnety vodou chlazené. Kola u tohoto podvozku jsou volně otočná umístěná na nápravnicích. Nápravnice má konzole na upevnění kotoučové brzdy a zahloubení pro primární vypružení, které je tvořeno pryžokovovými silentbloky. Na Silentblokách je umístěn plochý rám podvozku. Na rámu podvozku je přes sekundární vypružení šroubovitými pružinami uložena kolébka, na které je vytvořeno velké ložisko pro montáž skříně. Přenos podélné síly mezi rámem podvozku a kolébkou zajišťují dva páry ojnic. Ojnice slouží také jako torzní tlumiče. [3]



Obrázek 16: Podvozek pro tramvaj 15 T [3]

2.4.2 Podvozek MB 202 (Prose)

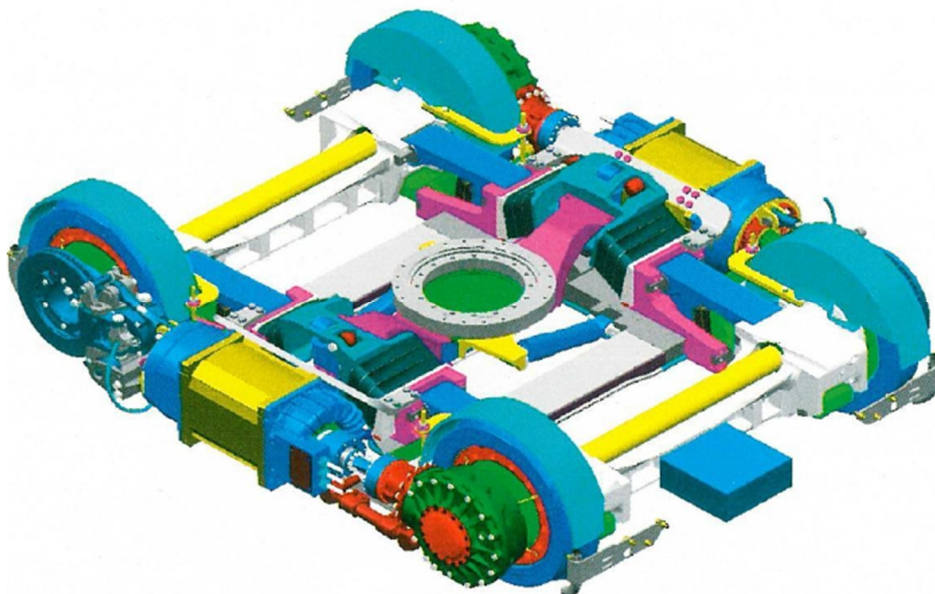
Pohon podvozku zajišťují dva podélně uložené elektromotory vně rámu. Každý elektromotor pohání jednu nápravu přes nápravové převodovky a klínovou spojku. Na druhé straně nápravy je umístěna vně rámu kotoučová brzda ovládaná pomocí hydraulické jednotky. Náprava je osazena koly o průměru 680/620 mm. Podvozek je tvořen svařovaným otevřeným H rámem. Podvozek je doplněn také o elektromagnetickou brzdu. Maximální rychlost 80 km/h. Rozvor podvozku je 1700 mm a rozchod podvozku 1000 mm. [7]



Obrázek 17: Podvozek MB 202 [7]

2.4.3 Podvozek iXége pro tramvaj Citadis (Alstom)

Podvozek tvoří dva hlavní podélníky, jeden příčný a dvě standardní dvojkolí s koly menšího průměru. Kola jsou celoodpružená. Na jedné straně nápravy je umístěna pružná spojka od pohonu a na druhé straně nápravy je přidělán brzdový kotouč. Primární vypružení je tvořeno šroubovitými pružinami, fungující na principu jako paralelogram. Sekundární vypružení je realizováno pryžokovovými bloky. Pohon je řešen elektromotorem umístěným na příčniku vně rámu, každé dvojkolí je poháněno jedním elektromotorem. Rozvor podvozku je 1850 mm a průměr kola je 720 mm. Podlaha nad podvozkem je ve výšce 850 mm od temene kolejnice a je překonána rampičkou. [10]

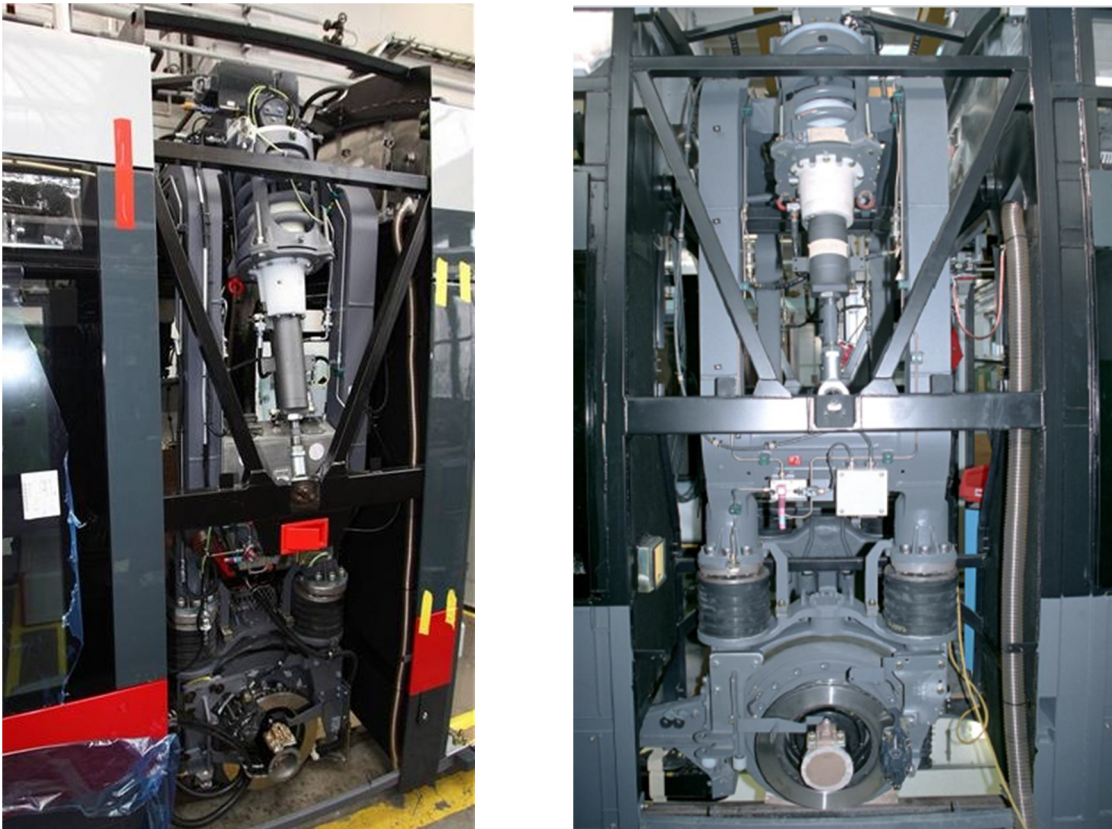


Obrázek 18: Podvozek pro tramvaj Citadis [16]

2.5 Jednoosé podvozky pro 100% nízkopodlažní tramvaje

2.5.1 Podvozek pro tramvaj ULF (Siemens)

Jednoosý podvozek se vyrábí pro tramvaj Vídeňskou ULF, která se vyznačuje velmi nízkou podlahou, která je 19 cm nad temenem kolejnice. Jednoosé podvozky jsou montované na rozteč 5,7 m. Nad podvozkem je umístěn portálový rám s pojezdy, ty spojují jednotlivé moduly vozidla. Je zde mechanismus, který umožňuje udržovat stálou výšku podlahy od temene kolejnice, případně ji může snížit až na 10 cm nebo zvýšit o 40 cm. Pohon zajišťují vertikálně umístěné elektrické vzduchem chlazené motory o výkonu 80 kW, které pohánějí každé kolo samostatně. Motory jsou umístěné za bočním krytem. Maximální rychlost je 70 km/h. [14]

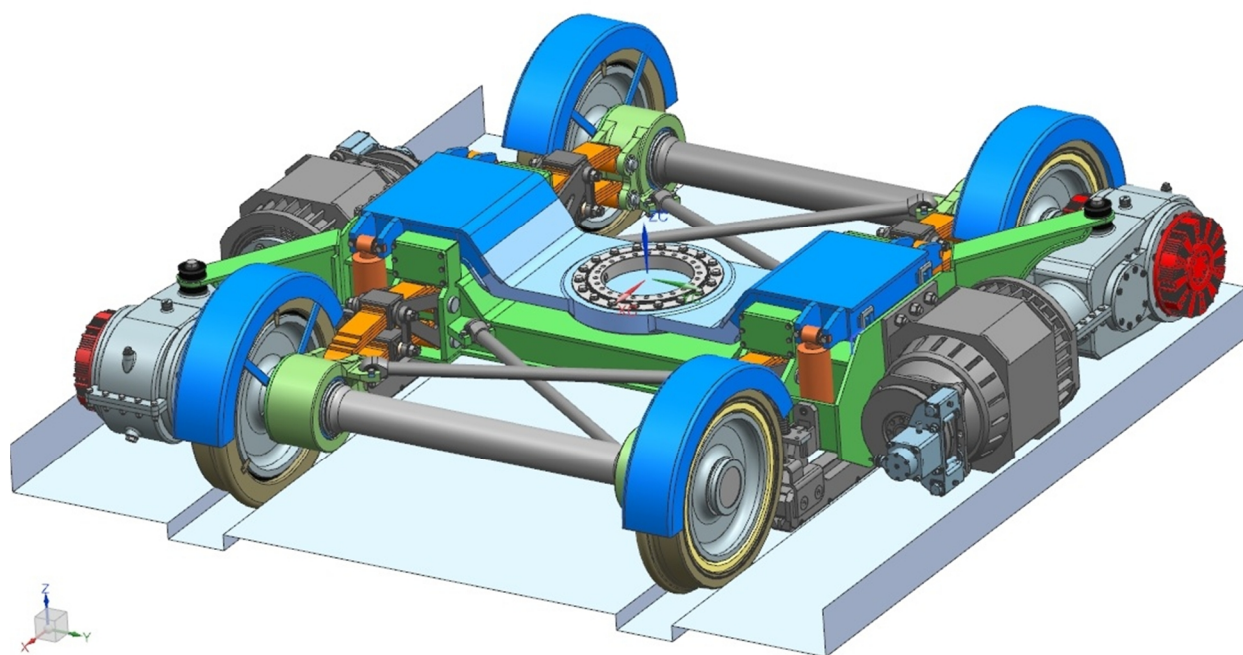


Obrázek 19: Podvozek tramvaje ULF [14]

3 Návrh vlastní koncepce – otočný podvozek

Při realizaci studie nízkopodlažního podvozku tramvaje byl proveden průzkum stávajících řešení různých podvozků. V průběhu sbírání poznatků byl objeven obrázek podvozku motorového vozu Slovenské strely, která disponuje použitím vedení dvojkolí listovou pružinou. Tato myšlenka se stala inspirujícím podnětem o pokus realizace vlastního konceptu vedení a uspořádání podvozku pro nízkopodlažní tramvaj, které nebylo dosud realizováno.

Otočný podvozek pod nízkopodlažní tramvaj je navržen pro rozchod kolejí 1435 mm. Rozvor podvozku je 1800 mm a průměr kola je 600 mm. Podvozek musí splňovat normu vztažné linie podle ČSN 28 0337:19194, která udává ohraničení podvozku. [3] Rám podvozku tvoří pouze jeden hlavní příčník, který je skříňového průřezu, kde je uchycen pohon dvojkolí s kuželočelní převodovkou. Převodovka je uchycena k motoru šrouby a k hlavnímu příčníku přes silentbloky. Součástí převodovky je pojistná spojka, která zabraňuje přetížení motoru. Převodovka obsahuje odvzdušňovací ventil, kontrolní a nalévací zátku. Na spodní straně převodovky se nachází vypouštěcí otvor. Kuželočelní převodovka slouží k přenosu točivého momentu od motoru na klínovou spojku, která ho dále přenáší na dvojkolí.



Obrázek 20: Otočný podvozek

Každé dvojkolí na podvozku je poháněno vlastním pohonem umístěným na jedné straně podvozku. Dvojkolí se skládá z celoodpružených kol, plné nápravy a ložiskových domků.

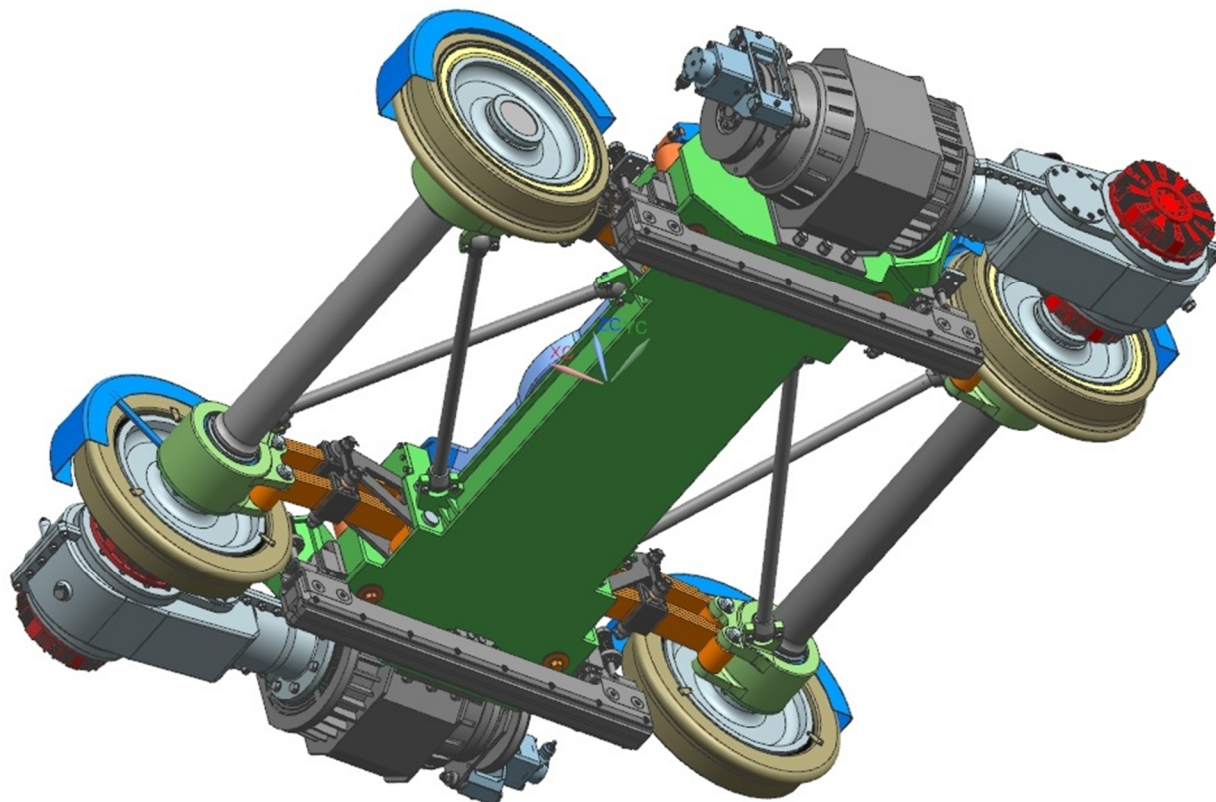
Hnací sílu podvozku vytváří elektrický motor od firmy Škoda Electric 8MLU 3436 K/6 o výkonu 90 kW a hmotnosti 318 kg chlazený vzduchem. [20] Motor je uchycen k hlavnímu příčníku šesti šrouby M20. Na motoru je uchycena kotoučová brzda firmy Dako. Kotoučová brzda je vhodná svým vysokým brzdícím účinkem a lepším chlazením. Uložení brzdové jednotky na druhou stranu hřídele elektromotoru bylo zvoleno z důvodu menších rozměrů brzdové jednotky. Dalším důvodem byla nemožnost uchycení brzdové jednotky

k hlavnímu příčnicku při realizaci uložení brzdového kotouče přímo na nápravu. Brzdová soustava je hydraulicky ovládaná.

Dále na hlavním příčnicku je uloženo osm listových pružin, které jsou uloženy paralelně po dvojicích, kde nahrazují zároveň podélníky a slouží k vedení dvojkolí. Na straně hlavního příčnicku jsou uloženy otočně pomocí pryžových pouzder. Na druhém konci jsou listové pružiny uchyceny otočně k ložiskovému domku, který je umístěn na dvojkolí podvozku. Zde jsou také použita pryžová pouzdra. Pro přenos sil od dvojkolí je zde uložena v ložiskovém domku kuželíková jednotka. Ložiskový domek má dvě konzoly pro uchycení listových pružin. Celý ložiskový domek bude vyráběn jako odlitek.

Po obrobení funkčních částí ložiskového domku a uložení ložiska je ze strany namontováno víčko ložiskového domku šrouby M12. Zároveň je na víčko upevněn blatník tramvajového podvozku. Blatník je vytažen z plechu a jsou k němu navařeny dvě konzole, ve kterých jsou díry pro uchycení k ložiskovému domku. Z důvodu utlumení přenosu vibrací na blatník jsou umístěny mezi šrouby a blatníkem pryžové segmenty.

Přenos příčných sil zde zajišťují dvě překřížená táhla, která jsou uchycena dvěma šrouby na boku ložiskových domků a zároveň na hlavním příčnicku. Táhla jsou vyrobeny z trubek o průměru 40 mm a tloušťky stěny 5 mm, kde na každém konci je přivařena uložení silentbloku. Aby nedošlo ke kontaktu mezi táhly příčných sil, jsou ložiskové domky upraveny pro pravou a levou stranu podvozku. Konzole pro uchycení táhla určitého ložiskového domku jsou vytvořeny ve stejné vzdálenosti na opačnou stranu. Táhlo je uchyceno v konzoli přes silentbloky pomocí šroubů. Silentbloky jsou zde použity, aby docházelo k pružení a zároveň se nepřenášely vibrace na hlavní příčník podvozku.



Obrázek 21: Otočný podvozek – zdola

Nad hlavním příčnickem je umístěna kolébka, která zajišťuje otočné spojení podvozku se skříňí tramvaje. Kolébka je uložena na čtyřech šroubových pružinách, které tvoří sekundární vypružení podvozku.

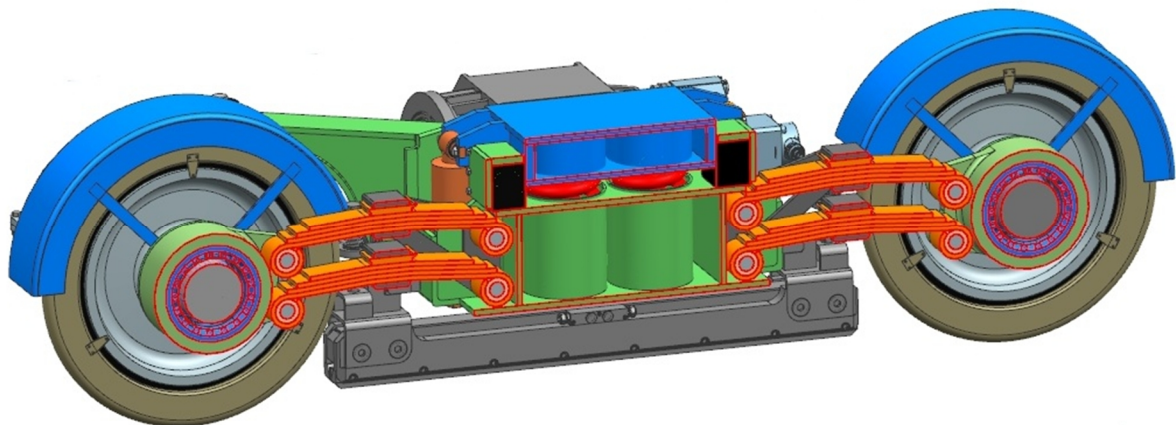
Podvozek nepotřebuje torzní stabilizátor, protože vzdálenost sekundárních pružin v podélném směru je podstatně menší, než je tomu u příčného směru. Pružiny mají v příčném směru větší tuhost. [3]

Šroubovitě pružiny jsou doplněny paralelně teleskopickými hydraulickými tlumiči P8 od firmy ST-OS Oslavany. Hydraulický tlumič P8 dosahuje maximální tlumící síly 25 kN. [19] Tlumiče jsou spodní částí uchyceny pomocí šroubu a silentbloku k hlavnímu příčnicku. Horní část je uložena do konzoly vystupující z kolébky. Zde je přichycen dvěma šrouby.

Přenos podélných sil mezi kolébkou a hlavním příčnickem zajišťují pryžové bloky, které jsou umístěny v obdélníkovém uložení hlavního příčnicku. Uložení pryžových bloků jsou opatřeny víčky pro případnou výměnu.

Mezi kolébkou a hlavním příčnickem jsou umístěny čtyři podchytky přimontované k hornímu plechu hlavního příčnicku. Na každé straně podvozku se nachází dvě. Na hlavním příčnicku je také umístěna kolejnicová brzda, která je nesena nad temenem kolejnice.

Brzda je tvořena elektromagnetem z podlouhlé cívky orientované v podélném směru koleje a podkovitého jádra. Funkce brzdění spočívá ve vybuzení magnetického pole uzavřené přes hlavu kolejnice – tím dojde k přitažení brzdění ke kolejnici. Třecí síla mezi magnetem a kolejnicí tvoří brzdící sílu. [2]



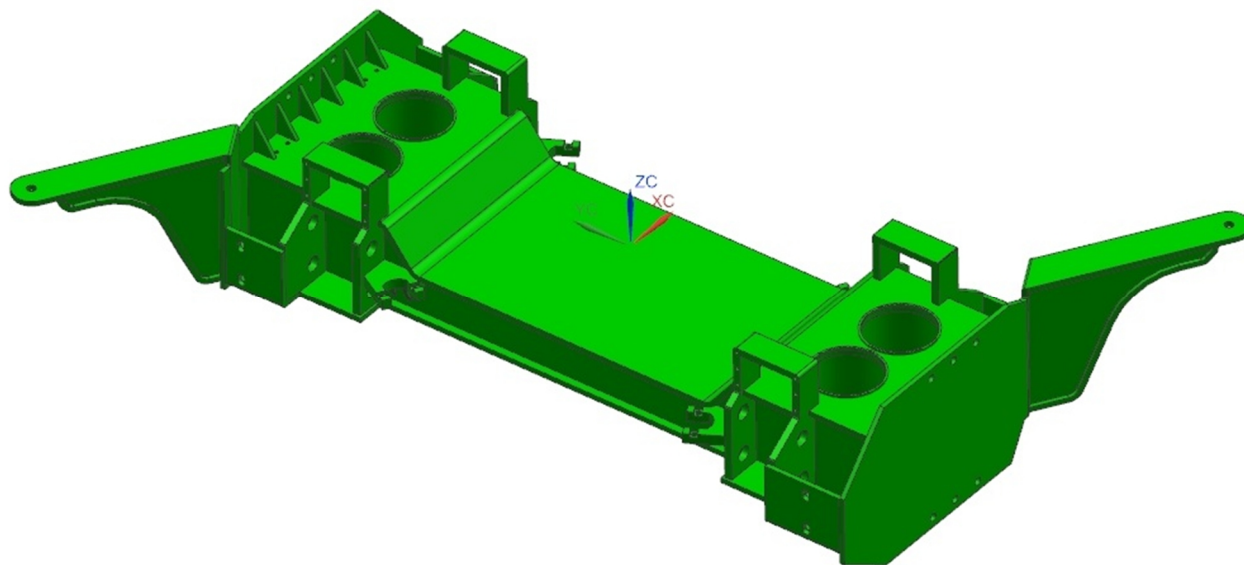
Obrázek 22: Řez podvozkem

3.1 Rám podvozku – hlavní příčnick

Příčnick je hlavní nosnou částí celého podvozku a tvoří prakticky celý jediný rám. Nese samotnou skříň a přenáší síly mezi skříň tramvajového vozidla a dvojkolím ve všech směrech. Délka příčnicku je 774 mm a šířka 1734 mm bez konzolí pro uchycení převodové skříně. Hmotnost rámu podvozku je 421 kg.

Konstrukce hlavního příčnicku je skříňového průřezu. Hlavní příčnick je svařován z ocelových plechů, kde pásnice mají tloušťku 12 mm a stojny 10 mm. Bočnice, na kterých je upevněn trakční motor, mají tloušťku plechu 12 mm. Vrchní plech příčnicku je naohýbán, aby uprostřed vznikl prostor pro umístění kolébky a zároveň aby byla zachována nízká výška podlahy od temene kolejnice a průchozí ulička. Na vnitřní straně jsou navařeny návarky, které slouží k upevnění podchytek k hlavnímu příčnicku. Hlavní příčnick obsahuje uvnitř vevařené kapsy tvořené z trubek o průměru 180 mm a tloušťky 5 mm, které jsou následně použity pro uložení pružin sekundárního vypružení. Na spodním plechu příčnicku jsou vytvořeny úchyty pro upevnění kolejnicové brzdy. Bočnice je vytvarována do specifického tvaru z důvodu vytvoření konzole pro uchycení převodové skříně. Konzole je svisle vyztužena dvěma plechy a uzavřena zespodu pro větší únosnost. Spoj mezi bočnicí a hlavním příčnickem je vyztužen žebry. Dále je zde vytvořeno uložení pro čepy listových pružin, pryžových bloků a držáků pro táhla příčných sil podvozku. Držáky jsou vyztuženy žebry.

Plechys jsou z materiálu S355J2G podle normy EN 10 025, který musí odolávat dynamickému namáhání i při nízkých teplotách. Vrubová houževnatost KCU nesmí klesnout při nízké teplotě pod 27 J.cm^{-2} . Tento požadavek platí i pro vlastnosti svarových spojů. [2]

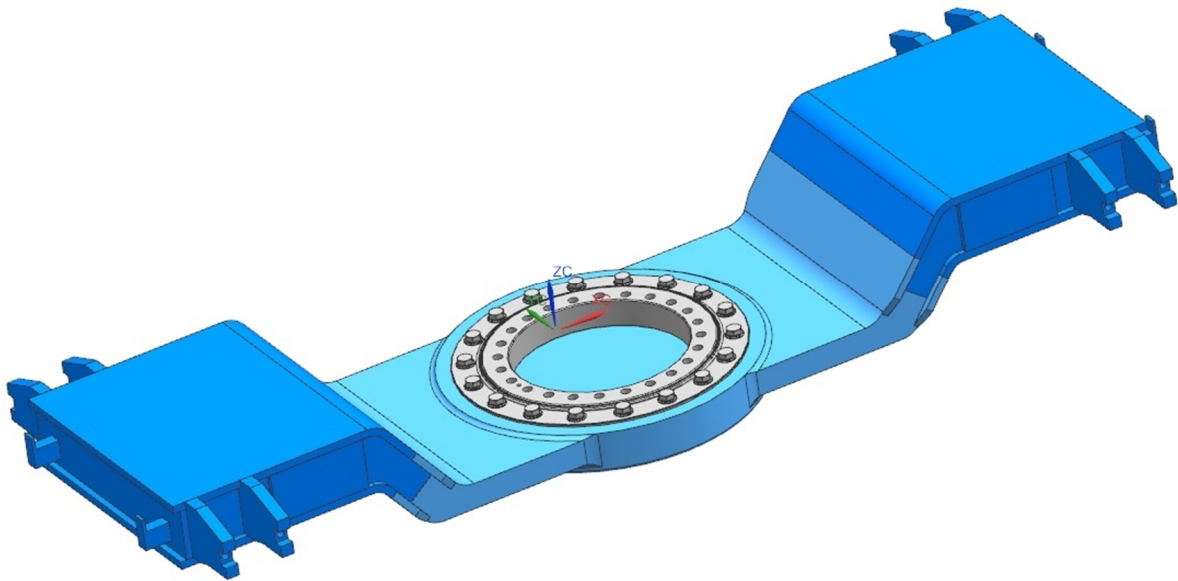


Obrázek 23: Rám podvozku

3.2 Kolébka

Kolébka se skládá ze dvou částí. První část – boční (tmavě modrá) je svařená z plechů skříňového průřezu a druhá část – střední je odlitek. Horní a spodní plechy jsou tloušťky 12 mm a stojna s bočnicí tloušťky 10 mm.

Hlavní rozměry kolébky je šířka 1630 mm a délka 420 mm. Kolébka má hmotnost 250 kg. Spojení odlitku se skříňovým profilem je provedeno pomocí přesazení z důvodu situování svarů do různých míst. Na bočnici jsou navařeny narážky podchytky pro zajištění vazby mezi kolébkou a hlavním příčnickem při případném zvedání tramvajového vozidla. Na stojně jsou přivařeny konzole pro uchycení tlumičů sekundárního vypružení. Dále je zde přivařen plech k zajištění dosedu pryžového bloku vazby kolébky s hlavním příčnickem.



Obrázek 24: Kolébka

Odlitek spojuje obě dvě boční části, kde uprostřed je umístěno otočné ložisko MTO 265 od firmy Kaydon. [18] Ložisko je připevněno k odlitku pomocí šroubů. Do středu ložiska bude uložena skříň tramvajového vozidla. Použitý materiál plechů bude S355J2G stejný jako u hlavního příčnicku. Jako materiál odlitku dle ČSN bude použita tvárná feritická ocel o vysoké pevnosti 42 2303. Tvar odlitku koresponduje s tvarem hlavního příčnicku z důvodu nízké podlahy. Ve středu je rozšířen pro uložení již zmíněného ložiska.

3.3 Dvojkolí

Dvojkolí je navrženo se standartní nápravou s odstupňovanými průřezy dle daného uložení. Na dvojkolí jsou nalisována kola menšího průměru ve vzdálenosti rozkolí 1360 mm. Mezi koly jsou na nápravě nalisovány dva ložiskové domky s kuželíkovou jednotkou, kde na jedné straně je osazena na nápravě. Z druhé strany je kuželíková jednotka zajištěna distanční podložkou a opírá se o nalisované kolo.

Standartní dvojkolí bylo zvoleno z důvodu schopnosti samovolného centrování do osy koleje. Tato schopnost vzniká díky kuželovité styčné ploše. Podélná třecí síla mezi kolem a kolejnicí vytváří vlnivý pohyb podvozku. Vzniklý vlnivý pohyb napomáhá k rovnoměrnému opotřebení obou kol. [3]

3.3.1 Náprava

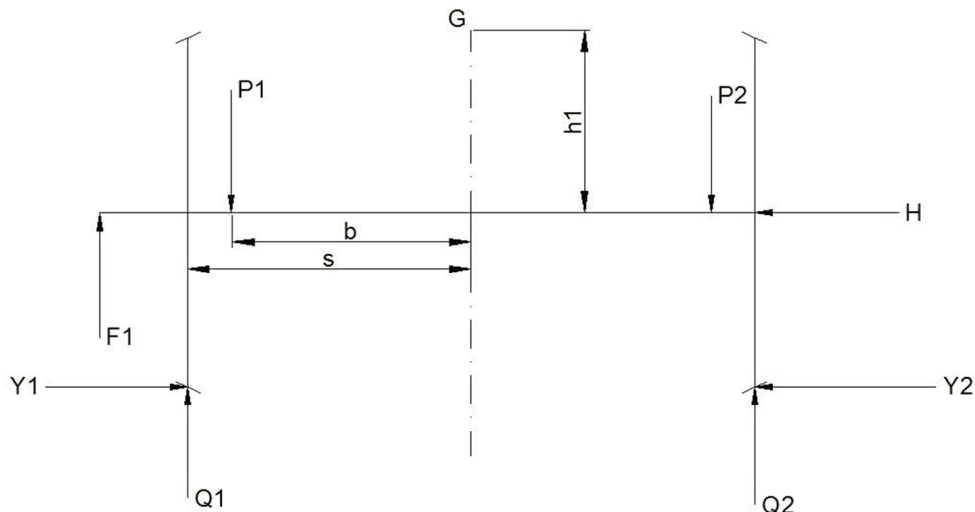
Náprava patří mezi velice namáhané součásti podvozku. Náprava je válcová plného průřezu a je namáhaná únavou za rotace s výrazným vlivem tvarové pevnosti. U nápravy byl proveden pevnostní výpočet dle normy ČSN EN 13 104 pro hnací nápravy. [1]

Jako materiál nápravy byla použita ocel EA1N.

3.3.1.1 Výpočet nápravy

U výpočtu nápravy bylo vycházeno z parametrů tříčlánkového tramvajového vozidla „Brémská tramvaj“

Jmenovitá hmotnost vozu:	$m_v = 26,8 \text{ t}$
Hmotnost dvojkolí:	$m_{dv} = 628 \text{ kg}$
Hmotnost na nápravě od pohonu:	$m_z = 180 \text{ kg}$
Hmotnost cestujícího:	$m_{cl} = 70 \text{ kg}$
Počet míst k sezení:	67
Počet míst na stání - 5 cestující/m ² :	170
Průměr kola:	$d = 600 \text{ mm}$
Výška těžiště nad osou nápravy:	$h_1 = 800 \text{ mm}$
Vzdálenost styčných kružnic:	$2s = 1500 \text{ mm}$
Vzdálenost středů ložisek:	$2b = 1170 \text{ mm}$
Počet náprav:	$i = 6$
Materiál:	ocel EA1N
Náprava:	plná hnací



Obrázek 25: Silové zatížení nápravy

P_1, P_2 – svislé síly působící na čepy ložiska

Q_1, Q_2 – svislé reakce

Y_1, Y_2 – příčné síly

H – příčná síla

F_1 – síla neodpružené hmoty od převodovky

Referenční hmotnost m_1 :

- hmotnost cestujících

$$m_c = (170 + 67) \cdot m_{c1} = (170 + 67) \cdot 70 = 16590 \text{ kg}$$

- hmotnost neodpružených částí na nápravě

$$m_2 = m_{dv} + m_z + m_k$$

$$m_2 = 628 + 180 + 90$$

$$m_2 = 898 \text{ kg}$$

$$m_1 = \frac{m_v}{i} + 1,2 \cdot \frac{m_c}{i} - m_2$$

$$m_1 = \frac{26800}{6} + 1,2 \cdot \frac{16590}{6} - 898$$

$$m_1 = 6887 \text{ kg}$$

Síly spojené s hmotností v pohybu:

$$P_1 = \left(0,625 + 0,0875 \cdot \frac{h_1}{b}\right) m_1 \cdot g = \left(0,625 + 0,0875 \cdot \frac{0,8}{0,585}\right) 6887 \cdot 9,81 = 50311 \text{ N}$$

$$P_2 = \left(0,625 - 0,0875 \cdot \frac{h_1}{b}\right) m_1 \cdot g = \left(0,625 - 0,0875 \cdot \frac{0,8}{0,585}\right) 6887,9,81 = 34142 \text{ N}$$

$$Y_1 = 0,35 \cdot m_1 \cdot g = 0,35 \cdot 6887,9,81 = 23647 \text{ N}$$

$$Y_2 = 0,175 \cdot m_1 \cdot g = 0,175 \cdot 6887,9,81 = 11824 \text{ N}$$

$$H = Y_1 - Y_2 = 23647 - 11824 = 11823 \text{ N}$$

Svislé zatížení nápravy:

- od převodovky

$$F_1 = m_z \cdot g = 180,9,81 = 1766 \text{ N}$$

Vertikální reakce Q:

- y_1 vzdálenost síly F_1 : $y_1 = 315 \text{ mm}$

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

$$Q_1 = \frac{1}{1,5} [50311 \cdot (0,585 + 0,75) + 34142 \cdot (0,75 - 0,585) + (23647 - 11824) \cdot 0,3 + 1766 \cdot 0,315]$$

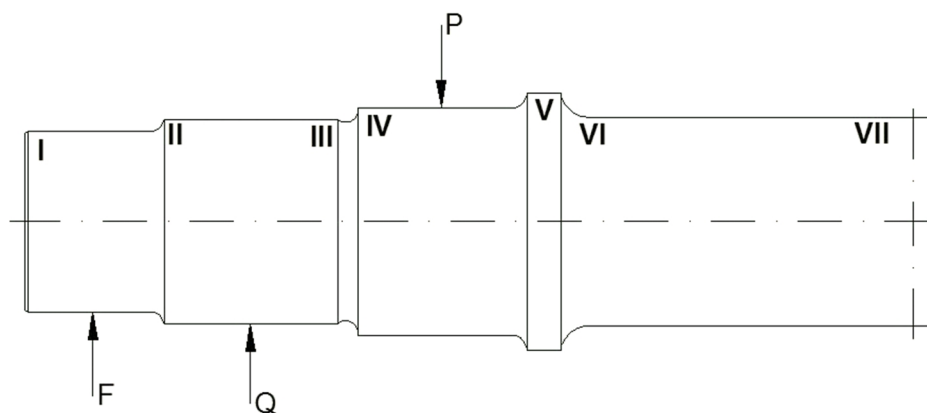
$$Q_1 = 50897 \text{ N}$$

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

$$Q_2 = \frac{1}{1,5} [34142 \cdot (0,585 + 0,75) + 50311 \cdot (0,75 - 0,585) - (23647 - 11824) \cdot 0,3 - 1766(1,5 + 0,315)]$$

$$Q_2 = 31420 \text{ N}$$

Ohybové momenty:



Obrázek 26: Kontrolované průřezy

Ramena k jednotlivým průřezům síly F_1 :

$$y_1 = 17 \text{ mm} = 0,017 \text{ m}$$

$$y_2 = 68 \text{ mm} = 0,068 \text{ m}$$

$$y_3 = 200 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

$$y_4 = 225 \text{ mm} = 0,225 \text{ m}$$

$$y_5 = 380 \text{ mm} = 0,38 \text{ m}$$

$$y_6 = 395 \text{ mm} = 0,395 \text{ m}$$

$$y_7 = 875 \text{ mm} = 0,875 \text{ m}$$

Ramena k jednotlivým průřezům síly Q_1 :

$$k_1 = 152 \text{ mm} = 0,152 \text{ m}$$

$$k_2 = 66 \text{ mm} = 0,066 \text{ m}$$

$$k_3 = 66 \text{ mm} = 0,066 \text{ m}$$

$$k_4 = 91 \text{ mm} = 0,091 \text{ m}$$

$$k_5 = 246 \text{ mm} = 0,246 \text{ m}$$

$$k_6 = 261 \text{ mm} = 0,261 \text{ m}$$

$$k_7 = 741 \text{ mm} = 0,741 \text{ m}$$

Ramena k jednotlivým průřezům síly P_1 :

$$m_1 = 320 \text{ mm} = 0,32 \text{ m}$$

$$m_2 = 234 \text{ mm} = 0,234 \text{ m}$$

$$m_3 = 102 \text{ mm} = 0,102 \text{ m}$$

$$m_4 = 77 \text{ mm} = 0,077 \text{ m}$$

$$m_5 = 77 \text{ mm} = 0,077 \text{ m}$$

$$m_6 = 92 \text{ mm} = 0,092 \text{ m}$$

$$m_7 = 572 \text{ mm} = 0,572 \text{ m}$$

Rameno síly Y_1 :

$$R = 300 \text{ mm} = 0,3 \text{ m}$$

Průřez I:

$$M_{xI} = F_1 \cdot y_1 + Q_1 \cdot k_1 - P_1 \cdot m_1 + Y_1 \cdot R = 1766 \cdot 0,017 + 50897 \cdot 0,152 - 50311 \cdot 0,32 + 23647 \cdot 0,3 = -1264 \text{ N.m}$$

Průřez II:

$$M_{xII} = -F_1 \cdot y_2 + Q_1 \cdot k_2 - P_1 \cdot m_2 + Y_1 \cdot R = -1766.0,068 + 50897.0,066 - 50311.0,234 + 23647.0,3 = -1465 \text{ N.m}$$

Průřez III:

$$M_{xIII} = -F_1 \cdot y_3 - Q_1 \cdot k_3 - P_1 \cdot m_3 + Y_1 \cdot R = -1766.0,2 - 50897.0,066 - 50311.0,102 + 23647.0,3 = -1776 \text{ N.m}$$

Průřez IV:

$$M_{xIV} = -F_1 \cdot y_4 - Q_1 \cdot k_4 - P_1 \cdot m_4 + Y_1 \cdot R = -1766.0,225 - 50897.0,091 - 50311.0,077 + 23647.0,3 = -1834 \text{ N.m}$$

Průřez V:

$$M_{xV} = -F_1 \cdot y_5 - Q_1 \cdot k_5 + P_1 \cdot m_5 + Y_1 \cdot R = -1766.0,38 - 50897.0,246 + 50311.0,077 + 23647.0,3 = -2198 \text{ N.m}$$

Průřez VI:

$$M_{xVI} = -F_1 \cdot y_6 - Q_1 \cdot k_6 + P_1 \cdot m_6 + Y_1 \cdot R = -1766.0,395 - 50897.0,261 + 50311.0,092 + 23647.0,3 = -2234 \text{ N.m}$$

Průřez VII:

$$M_{xVII} = -F_1 \cdot y_7 - Q_1 \cdot k_7 + P_1 \cdot m_7 + Y_1 \cdot R = -1766.0,875 - 50897.0,741 + 50311.0,572 + 23647.0,3 = -3388 \text{ N.m}$$

Brzdové momenty:

$\Gamma = 0,35$ – součinitel tření pro brzdové obložení kotoučové brzdy

$i = 12$ – počet kol vozu

$\mu = 0,3$ – součinitel adheze

$i_p = 6$ – převodový poměr kuželočelní převodovky

Výpočet kolové síly:

$$P' = \frac{G}{i} \cdot g = \frac{26800}{12} \cdot 9,81 = 21909 \text{ N}$$

Výpočet brzdné síly na brzdovém kotouči:

$$P_k \cdot R \cdot \mu = F_f \cdot \Gamma \cdot R_B$$

$$F_f = \frac{P' / i_p \cdot \mu \cdot R}{\Gamma \cdot R_b} = \frac{21909 / 6 \cdot 0,3 \cdot 0,3}{0,35 \cdot 0,11} = 8536 \text{ N}$$

Průřez I:

$$M'_{xI} = -F_f \cdot \Gamma \cdot y_1 \cdot i_p = -8536.0,35.0,017.6 = -305 \text{ N.m}$$

$$M'_{yI} = 0 \text{ N.m}$$

$$M'_{zI} = \frac{1}{2} \cdot F_f \cdot \Gamma \cdot \frac{R_b}{R} \cdot y_1 \cdot i_p = \frac{1}{2} \cdot 51219,0,35 \cdot \frac{0,11}{0,3} \cdot 0,017,6 = 336 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průřez II:

$$M'_{xII} = F_f \cdot \Gamma \cdot y_2 \cdot i_p = -8536,0,35 \cdot 0,068,6 = 1219 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{yII} = 0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{zII} = \frac{1}{2} \cdot F_f \cdot \Gamma \cdot \frac{R_b}{R} \cdot y_2 \cdot i_p = \frac{1}{2} \cdot 51219,0,35 \cdot \frac{0,11}{0,3} \cdot 0,068,6 = 336 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průřez III:

$$M'_{xIII} = F_f \cdot \Gamma \cdot y_3 \cdot i_p = 8536,0,35 \cdot 0,2,6 = 3586 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{yIII} = 0,3 \cdot P \cdot R = 0,3 \cdot 21909,0,3 = 1972 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{zIII} = \frac{1}{2} \cdot F_f \cdot \Gamma \cdot \frac{R_b}{R} \cdot (b - s) \cdot i_p = \frac{1}{2} \cdot 51219,0,35 \cdot \frac{0,11}{0,3} \cdot (0,585 - 0,75) \cdot 6 = -3254 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průřez IV:

$$M'_{xIV} = F_f \cdot \Gamma \cdot y_4 \cdot i_p = 8536,0,35 \cdot 0,225,6 = 4034 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{yIV} = M'_{III} = 1972 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{zIV} = M'_{zIII} = -3254 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průřez V:

$$M'_{xV} = F_f \cdot \Gamma \cdot y_5 \cdot i_p = 8536,0,35 \cdot 0,38,6 = 6812 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{yV} = M'_{III} = 1972 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{zV} = M'_{zIII} = -3254 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průřez VI:

$$M'_{xVI} = F_f \cdot \Gamma \cdot y_6 \cdot i_p = 8536,0,35 \cdot 0,395,6 = 7082 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{yVI} = M'_{III} = 1972 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{zVI} = M'_{zIII} = -3254 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Průřez VII:

$$M'_{xVII} = F_f \cdot \Gamma \cdot y_6 \cdot i_p = 8536,0,35 \cdot 0,875,6 = 15685 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{yVII} = M'_{III} = 1972 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M'_{zVII} = M'_{zIII} = -3254 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Výsledný moment MR a určení napětí

Použitý materiál nápravy EA1N. Nejvyšší přípustná napětí pro plné nápravy z této oceli se dělí dle normy ČSN EN 13 104 na dvě oblasti:

Oblast 1: Dřík nápravy, sedla kluzných ložisek, prohloubení mezi sousedícími sedly, ostatní kluzná těsnění, přechodové části

Oblast 2: Sedla kol, brzdových kotoučů, valivých ložisek, sedla drážkování pohonu, sedla těsnících kroužků [17]

Součinitel bezpečnosti s:	Oblast 1: σ_D [N/mm ²]	Oblast 2: σ_D [N/mm ²]
1,5	133	80

Tabulka 1: Přípustná napětí nápravy

Průřez I:

$$MR_1 = \sqrt{M_{x1}^2 + M_{y1}^2 + M_{z1}^2} = \sqrt{(-1569)^2 + 0^2 + 336^2} = 1605 \text{ N.m}$$

$$M_{x1} = M_{xI} + \sum M'_{xI} = -1264 - 305 = -1569 \text{ N.m}$$

$$M_{y1} = \sum M'_{yI} = 0 \text{ N.m}$$

$$M_{z1} = \sum M'_{zI} = 336 \text{ N.m}$$

$$r_1 = 30 \text{ mm}$$

$$d_1 = 100 \text{ mm}$$

$$D_1 = 140 \text{ mm}$$

$$\frac{r_1}{d_1} = \frac{30}{100} = 0,3$$

$$\frac{D_1}{d_1} = \frac{140}{100} = 1,4 \rightarrow \text{dle normy ČSN EN 13 104: } K = 1$$

$$\sigma_1 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR_1}{\pi \cdot d_1} = \frac{1 \cdot 32 \cdot 1605}{\pi \cdot 100} = 16,34 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Průřez II:

$$MR_2 = \sqrt{M_{x2}^2 + M_{y2}^2 + M_{z2}^2} = \sqrt{(-246)^2 + 0^2 + 1344^2} = 1366 \text{ N.m}$$

$$M_{x2} = M_{xII} + \sum M'_{xII} = -1465 + 1219 = -246 \text{ N.m}$$

$$M_{y2} = \sum M'_{yII} = 0 \text{ N.m}$$

$$M_{z2} = \sum M'_{zII} = 1344 \text{ N.m}$$

$$r_2 = 30 \text{ mm}$$

$$d_2 = 120 \text{ mm}$$

$$D_2 = 165 \text{ mm}$$

$$\frac{r_2}{d_2} = \frac{30}{120} = 0,25$$

$$\frac{D_2}{d_2} = \frac{165}{120} = 1,38 \rightarrow \text{dle normy ČSN EN 13 104: } K = 1,02$$

$$\sigma_2 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR_2}{\pi \cdot d_2} = \frac{1 \cdot 32 \cdot 1366}{\pi \cdot 120} = 8,22 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Průřez III:

$$MR_3 = \sqrt{M_{x3}^2 + M_{y3}^2 + M_{z3}^2} = \sqrt{1810^2 + 1972^2 + (-3254)^2} = 4213 \text{ N.m}$$

$$M_{x3} = M_{xIII} + \sum M'_{xIII} = -1776 + 3586 = 1810 \text{ N.m}$$

$$M_{y3} = \sum M'_{yIII} = 1972 \text{ N.m}$$

$$M_{z3} = \sum M'_{zIII} = -3254 \text{ N.m}$$

$$r_3 = 15 \text{ mm}$$

$$d_3 = 112 \text{ mm}$$

$$D_3 = 112 \text{ mm}$$

$$\frac{r_3}{d_3} = \frac{15}{112} = 0,13$$

$$\frac{D_3}{d_3} = \frac{112}{112} = 1 \rightarrow \text{dle normy ČSN EN 13 104: } K = 1,01$$

$$\sigma_3 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR_3}{\pi \cdot d_3} = \frac{1 \cdot 32 \cdot 4213}{\pi \cdot 0,112} = 30,85 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Průřez IV:

$$MR_4 = \sqrt{M_{x4}^2 + M_{y4}^2 + M_{z4}^2} = \sqrt{2200^2 + 1972^2 + (-3254)^2} = 4395 \text{ N.m}$$

$$M_{x4} = M_{xIV} + \sum M'_{xIV} = -1834 + 4034 = 2200 \text{ N.m}$$

$$M_{y4} = \sum M'_{yIV} = 1972 \text{ N.m}$$

$$M_{z4} = \sum M'_{zIV} = -3254 \text{ N.m}$$

$$r_4 = 15 \text{ mm}$$

$$d_4 = 130 \text{ mm}$$

$$D_4 = 150 \text{ mm}$$

$$\frac{r_4}{d_4} = \frac{15}{130} = 0,12$$

$$\frac{D_4}{d_4} = \frac{150}{130} = 1,15 \rightarrow \text{dle normy ČSN EN 13 104: } K = 1,07$$

$$\sigma_4 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR_4}{\pi \cdot d_4} = \frac{1 \cdot 32 \cdot 4395}{\pi \cdot 0,13} = 21,8 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Průřez V:

$$MR_5 = \sqrt{M_{x5}^2 + M_{y5}^2 + M_{z5}^2} = \sqrt{4614^2 + 1972^2 + (-3254)^2} = 5980 \text{ N.m}$$

$$M_{x5} = M_{xV} + \sum M'_{xV} = -2198 + 6812 = 4614 \text{ N.m}$$

$$M_{y5} = \sum M'_{yV} = 1972 \text{ N.m}$$

$$M_{z5} = \sum M'_{zV} = -3254 \text{ N.m}$$

$$r_5 = 20 \text{ mm}$$

$$d_5 = 140 \text{ mm}$$

$$D_5 = 140 \text{ mm}$$

$$\frac{r_5}{d_5} = \frac{20}{140} = 0,14$$

$$\frac{D_5}{d_5} = \frac{140}{140} = 1 \rightarrow \text{dle normy ČSN EN 13 104: } K = 1$$

$$\sigma_5 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR_5}{\pi \cdot d_5} = \frac{1.32.5980}{\pi \cdot 0,14} = 22,2 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Průřez VI:

$$MR_6 = \sqrt{M_{x6}^2 + M_{y6}^2 + M_{z6}^2} = \sqrt{4848^2 + 1972^2 + (-3254)^2} = 6163 \text{ N.m}$$

$$M_{x6} = M_{xVI} + \sum M'_{xVI} = -2234 + 7082 = 4848 \text{ N.m}$$

$$M_{y6} = \sum M'_{yVI} = 1972 \text{ N.m}$$

$$M_{z6} = \sum M'_{zVI} = -3254 \text{ N.m}$$

$$r_6 = 30 \text{ mm}$$

$$d_6 = 120 \text{ mm}$$

$$D_6 = 120 \text{ mm}$$

$$\frac{r_6}{d_6} = \frac{30}{130} = 0,25$$

$$\frac{D_6}{d_6} = \frac{120}{120} = 1 \rightarrow \text{dle normy ČSN EN 13 104: } K = 1$$

$$\sigma_6 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR_6}{\pi \cdot d_6} = \frac{1.32.6138}{\pi \cdot 0,12} = 36,33 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Průřez VII:

$$MR_7 = \sqrt{M_{x7}^2 + M_{y7}^2 + M_{z7}^2} = \sqrt{12297^2 + 1972^2 + (-3254)^2} = 12872 \text{ N.m}$$

$$M_{x7} = M_{xVII} + \sum M'_{xVII} = -3388 + 15685 = 12297 \text{ N.m}$$

$$M_{y7} = \sum M'_{yVII} = 1972 \text{ N.m}$$

$$M_{z7} = \sum M'_{zVII} = -3254 \text{ N.m}$$

$$r_7 = 30 \text{ mm}$$

$$d_7 = 120 \text{ mm}$$

$$D_7 = 120 \text{ mm}$$

$$\frac{r_7}{d_7} = \frac{30}{130} = 0,25$$

$$\frac{D_7}{d_7} = \frac{120}{120} = 1 \rightarrow \text{dle normy ČSN EN 13 104: } K = 1$$

$$\sigma_7 = \frac{K \cdot 32 \cdot MR_7}{\pi \cdot d_7} = \frac{1.32.12872}{\pi \cdot 0,12} = 75,88 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Průřez	y [mm]	d [mm]	D [mm]	r [mm]	r/d	D/d	K	M _x [N.m]	M _{x'} [N.m]	M _{y'} [N.m]	M _{z'} [N.m]	MR [N.m]	σ	σ _{MAX}
I	320	100	140	30	0,30	1,40	1	-1264	-305	0	336	1605	16,34	80
II	234	120	165	30	0,25	1,38	1,02	-1465	1219	0	1344	1366	8,22	80
III	102	112	112	15	0,13	1,00	1,01	-1776	3586	1972	-3254	4213	30,85	133
IV	77	130	150	15	0,12	1,15	1,07	-1834	4034	1972	-3254	4395	21,80	80
V	77	140	140	20	0,14	1,00	1	-2198	6812	1972	-3254	5980	22,20	133
VI	92	120	120	30	0,25	1,00	1	-2234	7082	1972	-3254	6163	36,33	133
VII	572	120	120	30	0,25	1,00	1	-3388	15685	1972	-3254	12872	75,88	133

Tabulka 2: Tabulka výsledků

Navržená náprava vyhovuje ve všech průřezích dovolenému napětí.

3.3.2 Kolo

Na podvozku jsou použita složená kola od firmy Bonatrans, které se vyznačují velmi dobrým tlumícím efektem rázů a hluku. Kolo je složeno z kotouče (náboj, deska, věnec) a obruče. Mezi věncem kotouče a obručí jsou vloženy pryžové segmenty v klínové drážce kola, které jsou zajištěny přítlačným kruhem a vzpěrným kroužkem. Na kole musí být umístěno vodivé přemostění přes pryžové segmenty z důvodu uzemnění. [21]

Kolo je na nápravu lisováno s přesahem za tepla a je vyrobeno z materiálu ER8. Všechny parametry a rysy kol stanovuje norma ČSN EN 13262. [1] Vnější průměr kola je 600 mm a vnitřní průměr náboje kola je 120 mm. Menší průměr kola byl zvolen z důvodu požadavku nízké podlahy nad temenem kolejnice.



Obrázek 27: Kolo

3.3.3 Nápravové ložisko

Nápravová ložiska přenášejí všechny síly mezi dvojkolím a rámem podvozku. Je potřeba, aby zaručily bezpečný přenos svislých, příčných a podélných sil. Musí umožňovat spolehlivý provoz, velkou provozní životnost a snadnou údržbu. [1]

Na nápravě je použita ložisková jednotka s kuželíkovými ložisky CTBU 130x210 od firmy SKF. [15] Ložiskové jednotky se vyznačují, že se dodávají s určitým utěsněním již od výrobce. V tomto případě je použito labyrintové těsnění. Ložisko také obsahuje náplň plastického maziva již z výroby a prakticky se pouze namontuje na požadované umístění. Ložisko je nalisováno do ložiskového domku a poté je nalisováno na nápravu, až na doraz osazení nápravy. Z druhé strany je ložisko zajištěno víčkem ložiskového domku. Dále je vložen mezi ložisko a kolo distanční kroužek, který vymezuje volný prostor. Pro zvolené ložisko byl proveden kontrolní výpočet trvanlivosti.



Obrázek 28: Ložisková jednotka CTBU [15]

3.3.3.1 Výpočet nápravového ložiska

U výpočtu ložiska použijeme již spočítané síly P_1 a Y , které byly vypočteny u výpočtu nápravy.

Průměr kola:	$\varnothing d = 600 \text{ mm}$
Maximální rychlost tramvaje:	$v = 70 \text{ km/h}$
Radiální zatížení:	$F_r = P_1 = 50311 \text{ N}$
Axiální zatížení:	$F_a = Y = 23647 \text{ N}$
Požadovaná trvanlivost ložiska:	$L_s = 1500000 \text{ km}$
Čárový styk:	$p = 10/3$
Základní dynamická únosnost:	$C = 658000 \text{ N}$

Přepočet trvanlivosti na otáčky:

$$n_s = \frac{L_s}{O} = \frac{1500000}{0,001885} = 795,756 \cdot 10^6 \text{ ot}$$

- obvod

$$O = \pi \cdot d = \pi \cdot 600 = 1884,9 \text{ mm} = 1,885 \text{ m} = 0,001885 \text{ km}$$

Ekvivalentní zatížení:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{23647}{50311} = 0,47 \quad \frac{F_a}{F_r} > e = 0,43 \rightarrow X = 0,45; Y = 1,17$$

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a = 0,43 \cdot 50311 + 1,17 \cdot 23647 = 69033 \text{ N}$$

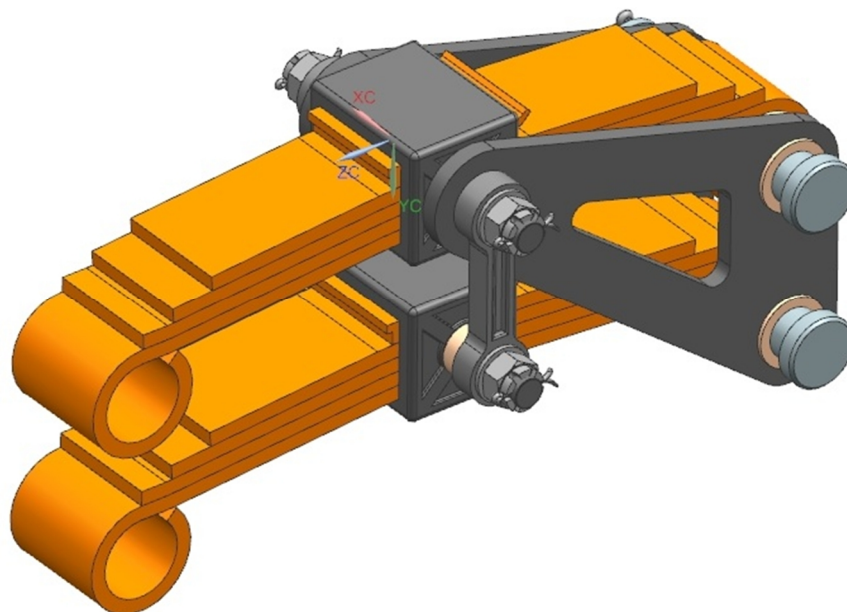
Základní trvanlivost ložiska:

$$L_N = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{658000}{69033}\right)^{\frac{10}{3}} = 1836 \cdot 10^6 > 795 \cdot 10^6 \text{ ot.} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.4 Vypružení

Vypružení je nedílnou součástí každého tramvajového podvozku. Zajišťuje zamezení přenosu rázů a vibrací na skříň vozidla a vytváří potřebný komfort pro cestující.

Vypružení u tramvajového podvozku se skládá z primárního a sekundárního vypružení. Primární vypružení tvoří celkem osm trapézových listových pružin. Sekundární vypružení tvoří čtyři šroubovitě pružiny – dvě na každé straně podvozku. Listová pružina se skládá ze čtyř listů, které jsou uprostřed sevřeny pomocí objímky a zajištěny pomocí, příložky a klínu.



Obrázek 29: Primární vypružení

Při návrhu podvozku byla hledána cesta snížit hmotnost oproti konvenčním podvozkům. Z důvodu zajištění vedení podvozku a zároveň snížit hmotnost bylo navrženo, že místo klasického podvozku s H – rámem bude použito nestandardní vedení podvozku listovými pružinami. Listové pružiny jsou řazeny paralelně nad sebou a jsou uloženy, jak již bylo zmíněno na jedné straně v hlavním příčniku a na druhé na ložiskovém domku. Uprostřed jsou spřaženy pomocí objímky, která obsahuje na každé straně čepy. Čepy zde slouží ke spřažení jednoho listového svazku se druhým pomocí ojničky. Ojnička je uložena na čepch objímky pomocí kluzných pouzder s nákrůžkem, aby zde nedocházelo k opotřebením. Vzdálenost uložení mezi svazky listových pružin je konstantní jak na straně ložiska tak i hlavního příčniku.

Primární vypružení využívá principu paralelogramu, akorát s tím rozdílem, že je zde ještě umístěna jedna komponenta, která zabraňuje k propadu podvozku do kolejiště a zároveň umožňuje deformaci listových pružin. Jedná se o úhlovou konzoli, která je uprostřed odlehčená. Vpravo na straně hlavního příčniku spojuje pevně oba svazky listových pružin v otočných bodech hlavních listů. Úhlová konzole dále přechází do jednoho bodu a to k hornímu čepu objímky. Konzole je také uložena v kluzných pouzdrech jako ojnička. Ojnička s úhlovou konzolí jsou zajištěny na každé straně čepu objímky korunovou maticí. Korunová matice je zajištěna proti povolení závlačkou.

Tímto spojením objímek listových pružin pomocí ojničky a propojením úhlovou pákou dochází k namáhání listové pružiny, chovající se jako nosník na dvou podporách s převislým koncem. Díky tomuto uspořádání zde odpadají podélníky rámu. Listové pružiny jsou vyrobeny z materiálu 14 260 o tloušťce 10 mm a šířce 80 mm. Rozteč mezi oky hlavního listu činí 462 mm. Listové pružiny byly dále zkontrolovány pevnostně pomocí metody konečných prvků.

3.4.1 Návrh a výpočet vypružení

Hmotnost vozu:	$m_v = 26800$ kg
Hmotnost dvojkolí:	$m_{dv} = 628$ kg
Hmotnost na nápravě od pohonu:	$m_z = 180$ kg
Hmotnost cestujících:	$m_c = 16590$ kg
Hmotnost skříně - odhad:	$m_s = 18000$ kg
Zdvih pružiny:	$z_{už} = 50$ mm

Výpočet tuhostí primárního a sekundárního vypružení pro prázdný a ložený vůz:

- hmotnost rámu podvozku

$$3m_p = m_v - m_s - 6 \cdot (m_{dv} + m_z) = 26800 - 18000 - 6 \cdot (180 + 628) = 3952 \text{ kg}$$

- poměr tuhostí prázdného a loženého vozu

$$y_p = 2 + \frac{3m_p}{m_s} = 2 + \frac{3952}{18000} = 2,22 \quad y_L = 2 + \frac{3m_p}{m_s + m_c} = 2 + \frac{3951}{18000 + 16590} = 2,12$$

$$y = \frac{y_p + y_L}{2} = \frac{2,12 + 2,22}{2} = 2,17$$

- celková tuhost vypružení

$$k_c = \frac{m_c \cdot g}{z_{už}} = \frac{16590,9,81}{0,05} = 3254958 \text{ N/m}$$

- celková tuhost primárního vypružení

$$k_{1c} = y \cdot k_{2c} = 2,17 \cdot 4754939 = 10318218 \text{ N/m}$$

- celková tuhost sekundárního vypružení

$$k_{2c} = \frac{(1 + y) \cdot k_c}{y} = \frac{(1 + 2,17) \cdot 3254958}{2,17} = 4754939 \text{ N/m}$$

- tuhost jedné pružiny primárního vypružení

$$k_1 = \frac{k_{1c}}{24} = \frac{10318218}{24} = 429926 \text{ N/m}$$

- tuhost jedné pružiny sekundárního vypružení

$$k_2 = \frac{k_{2c}}{12} = \frac{4754939}{12} = 396245 \text{ N/m}$$

Vlastní frekvence vypružení:

- prázdný

$$f_p = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k_c}{m_s}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{3254958}{18000}} = 2,14 \text{ Hz}$$

- ložený

$$f_L = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{k_c}{m_s + m_c}} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{3254958}{18000 + 16590}} = 1,54 \text{ Hz}$$

Síly na jednu pružinu primární vypružení:

- prázdný

$$P_{1p} = \frac{(m_s + 3m_p)}{24} = \frac{(18000 + 3952)}{24} \cdot 9,81 = 8973 \text{ N}$$

- ložený

$$P_{1L} = \frac{(m_s + 3m_p + m_c)}{24} = \frac{(18000 + 3952 + 16590)}{24} \cdot 9,81 = 15754 \text{ N}$$

Síly na jednu pružinu sekundární vypružení:

- prázdný

$$P_{2p} = \frac{m_s}{12} = \frac{18000}{12} \cdot 9,81 = 14715 \text{ N}$$

- ložený

$$P_{2L} = \frac{m_s + m_c}{12} = \frac{18000 + 16590}{12} \cdot 9,81 = 28277 \text{ N}$$

3.4.1.1 Návrh šroubovitě pružiny sekundárního vypružení:

Šroubovitě válcové pružiny jsou nejvhodnějšími ocelovým pružícím prvkem u kolejových vozidel. Jsou výhodné svými rozměry a nenáročností na údržbu. Šroubovitě pružiny musejí být doplněny spolu s tlumiči z důvodu, že nemají dostatečné tlumení. Vyrábějí se vinutím drátu za tepla kruhového průřezu. [1]

Materiál šroubovitě pružiny: 14 260.8

Dynamické stlačení pružiny: $z_{dyn} = 30 \text{ mm}$

$\tau_{dov} = 830 \text{ MPa}$

- stlačení pružiny prázdného vozu

$$z_{2p} = \frac{P_{2p}}{k_2} = \frac{14715}{396245} = 0,037 \text{ m} = 37 \text{ mm}$$

- stlačení pružiny loženého vozu

$$z_{2L} = \frac{P_{2L}}{k_2} = \frac{28277}{396245} = 0,071 \text{ m} = 71 \text{ mm}$$

- napětí při dynamickém namáhání pružiny

$$\tau_{2DL} = \tau_{dov} \cdot \frac{Z_{2L}}{Z_{2L} + Z_{dyn}} = 830 \cdot \frac{71}{71 + 30} = 583 \text{ MPa}$$

- součinitel podle Wahla

$$K = \frac{4 \cdot i - 1}{4 \cdot i - 4} + \frac{0,625}{i} = \frac{4 \cdot 4,64 - 1}{4 \cdot 4,64 - 4} + \frac{0,625}{4,64} = 1,34 \quad i = \frac{D_1}{d_1} = \frac{130}{28} = 4,64$$

- pevnostní kontrola

$$\tau_{22} = \frac{16 \cdot P_{2L} \cdot R \cdot K}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 28277 \cdot 65 \cdot 1,34}{\pi \cdot 28^3} = 571 \text{ MPa} < 583 \text{ MPa} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

- počet činných závitů

$$n = \frac{G \cdot d^4}{8 \cdot D^3 \cdot k_2} = \frac{7,85 \cdot 10^{10} \cdot 0,028^4}{8 \cdot 0,13^3 \cdot 396245} = 9 \text{ závitů}$$

- maximální dynamické stlačení

$$z_{2dyn} = \frac{z_{2L} \cdot \tau_{dov}}{\tau_{22}} = \frac{71 \cdot 830}{571} = 103 \text{ mm}$$

- délka volné pružiny

$$H_{02} = (n + n') \cdot d_1 + 0,1 \cdot d_1 \cdot n + z_{2dyn} = (9 + 1,5) \cdot 28 + 0,1 \cdot 28 \cdot 9 + 103 = 422 \text{ mm}$$

- délka pružiny pod prázdným vozem

$$H_{2p} = H_{02} - z_{2p} = 422 - 37 = 385 \text{ mm}$$

- délka pružiny pod loženým vozem

$$H_{2L} = H_{02} - z_{2L} = 422 - 71 = 351 \text{ mm}$$

Parametry vypočtené pružiny	
Materiál	14 260.8
Průměr drátu d1	28 mm
Střední průměr D1	130 mm
Délka volné pružiny H02	422 mm
Délka pružiny - prázdný vůz H2P	385 mm
Délka pružiny - ložený vůz H2L	351 mm
Počet činných závitů n	9

Tabulka 3: Parametry šroubovitě pružiny

3.4.1.2 Kontrola čepů primárního vypružení

Čepy uložení listové pružiny jsou kontrolovány na ohyb, stříh a otláčení. Na straně hlavního příčnicku i u ložiskového domku je použit čep s hlavou o průměru 34 mm. Síla na čep je uvažována z předchozího pevnostního výpočtu nápravy. Pro výpočet je uvažováno, že síla je rozdělena na oba dva čepy nad sebou.

Materiál: 11 600

$$\sigma_{pt} = 600 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kt} = 0,7. \sigma_{pt} = 0,7.600 = 420 \text{ MPa}$$

$$\sigma_D = \sigma_{kt}/1,5 = 420/1,5 = 280 \text{ MPa}$$

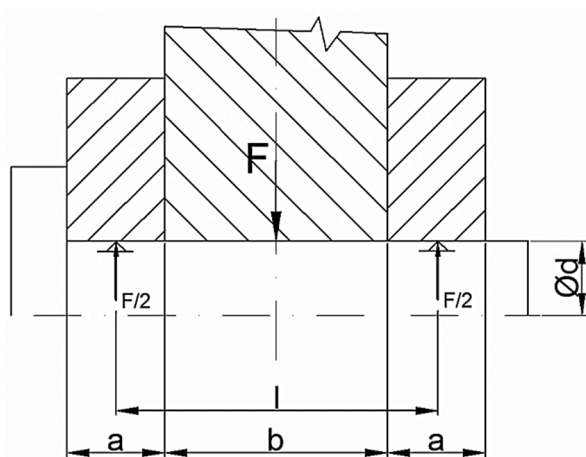
$$\tau_D = 0,6. \sigma_D = 0,6.280 = 224 \text{ MPa}$$

$$p_D = 0,8. \sigma_D = 0,8.224 = 134 \text{ MPa}$$

$$F = P_1/2 = 50311/2 = 25156 \text{ N}$$

$$a = 18 \text{ mm}, b = 140 \text{ mm}$$

$$\varnothing d = 34 \text{ mm}$$



Obrázek 30: Schéma uložení čepu

Kontrola čepu na ohyb:

$$l = a/2 + b + a/2 = 18/2 + 18/2 + 140 = 158 \text{ mm}$$

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{\frac{F}{2} \cdot \frac{l}{2}}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} = \frac{\frac{25165}{2} \cdot \frac{158}{2}}{\frac{\pi \cdot 34^3}{32}} = 257,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_o \leq \sigma_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola čepu na stříh:

$$\tau_s = \frac{F}{S} = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{\frac{25165}{2}}{\frac{\pi \cdot 34^2}{4}} = 13,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_s \leq \tau_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

Kontrola čepu na otláčení:

$$P_1 = \frac{F}{a \cdot d} = \frac{25165}{18 \cdot 34} = 20,5 \text{ MPa}$$

$$p_1 < p_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

$$P_2 = \frac{F}{b \cdot d} = \frac{25165}{140 \cdot 34} = 5,2 \text{ MPa}$$

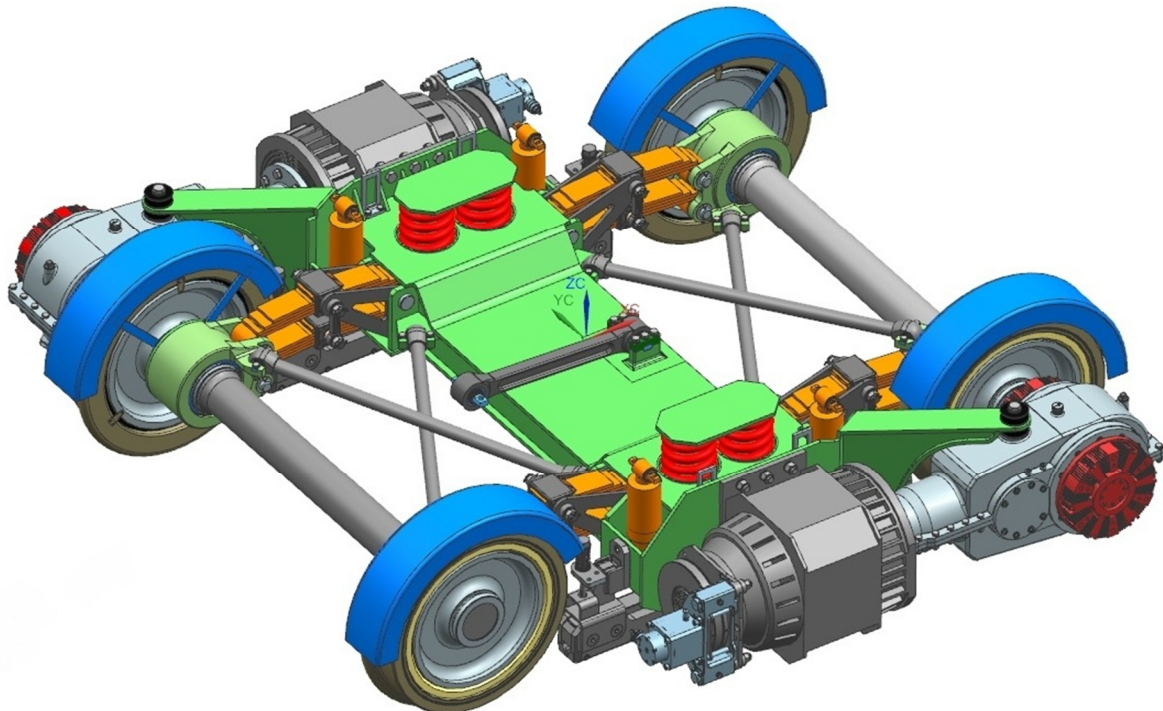
$$p_2 < p_D \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4 Návrh vlastní varianty – neotočný podvozek

Při návrhu neotočné varianty podvozku bylo vycházeno z otočné varianty. Z otočného podvozku byl převzat koncept uspořádání pohonu, dvojkolí, přenos příčných sil a primární vypružení. Byly vytvořeny dvě koncepce rozdělené podle přenosu tažných sil na skříň tramvajového vozidla.

4.1 Přenos sil krátkou tažně - tlačnou tyčí

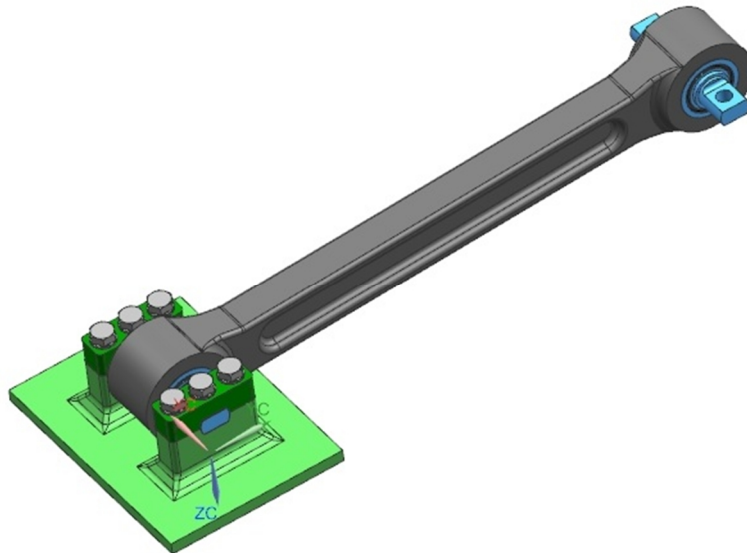
Neotočný podvozek první varianty vychází z otočného podvozku. Neobsahuje kolébku a hlavní příčník je zde upraven z důvodu pevné vazby skříně s podvozkem, která je tvořena krátkou tažně tlačnou tyčí. Nad sekundárním vypružením byla vytvořena svařovaná komponenta s vodícími prvky šroubovitých pružin, kde na její horní plochu dosedá skříň tramvajového vozidla. U hlavního příčníku byly odebrány narážky s pryžovými bloky a zkráceny stojny uložení primárního vypružení. Hlavní příčník neotočného podvozku byl dále rozkreslen na výrobní výkres, přiložený do přílohy diplomové práce.



Obrázek 31: Neotočný podvozek 1

Uprostřed horního plechu příčníku je vytvořen obdélníkový výřez, kam je následně přivařena konzole pro uchycení krátké tažně tlačné tyče pomocí příložky. Konzole bude vyráběna jako odlitek. Jako materiál bude použita tvárná feritická ocel o vysoké pevnosti 42 2303.

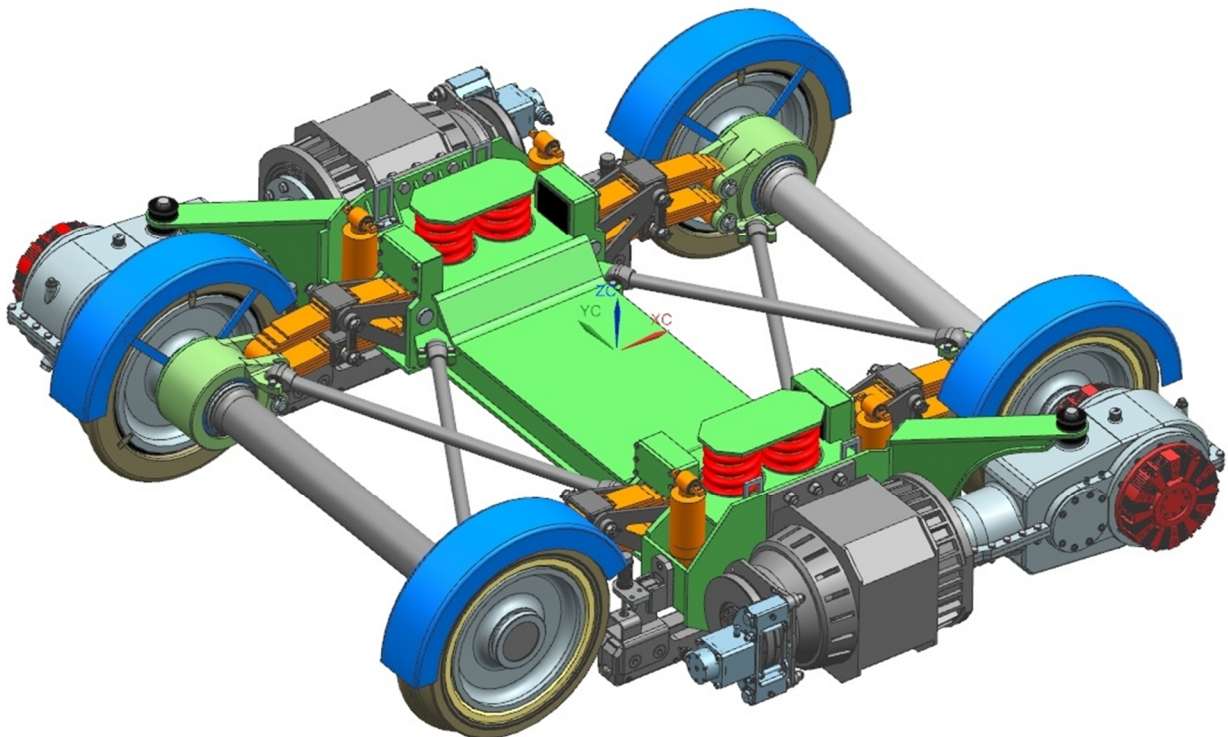
Tažně tlačná tyč má v sobě na každém konci nalisované silentbloky. Tažná tyč se bude vyrábět jako výkovek z materiálu 11 523. Tažná tyč je přichycena ke konzoli pomocí příložek a šesti šroubů. Hydraulické tlumiče sekundárního vypružení jsou zde uchyceny přímo do konzolí na skříně vozidla.



Obrázek 32: Krátká tažně tlačná tyč

4.2 Přenos sil nárážky

Neotočný podvozek varianty dva vychází také z otočné varianty, ale byl zde ponechán hlavní příčník otočného podvozku. Nad sekundárním vypružením je také umístěno vedení pružin jako u předchozí varianty. Pevnou vazbu skříně s podvozkem tvoří nárážky na hlavním příčníku, které přenášejí síly mezi podvozkem a skříní. Tlumiče jsou zde také uchyceny přímo do konzol na skříní vozidla.



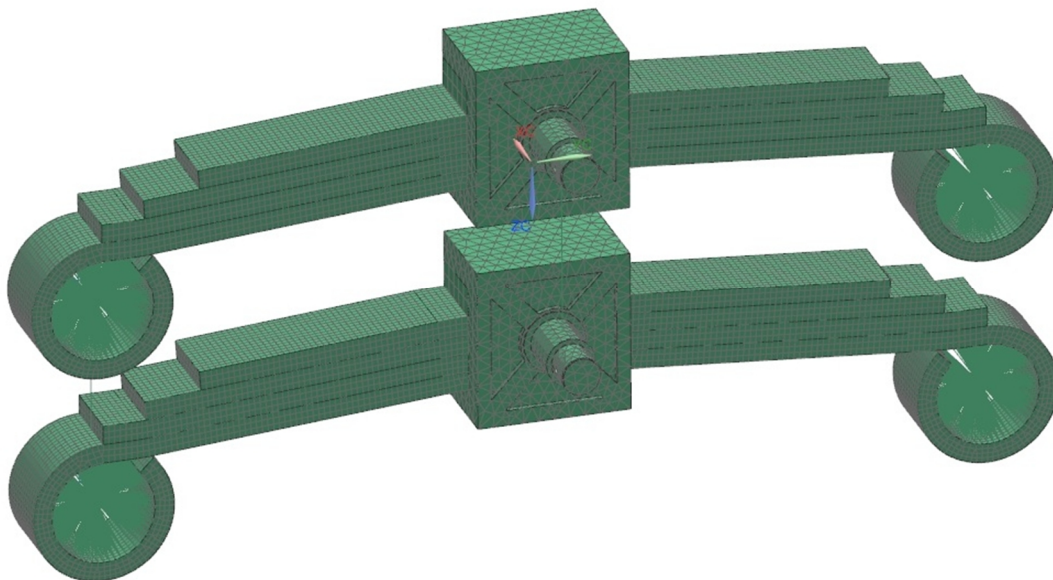
Obrázek 33: Neotočný podvozek 2

5 Pevnostní kontrola listové pružiny

Pevnostní kontrola listové pružiny proběhla pomocí metody konečných prvků v programu NX 8.5 od Siemens. Výpočtový modul byl použit NX Nastran.

5.1 Sít'

Ve zvoleném programu byly vymodelovány 3D modely listových pružin. Příložka a klín byly nahrazeny obdélníkovým profilem. Sít' modelu byla vytvořena z 3D modelu pomocí dvou prvků. Listové pružiny jsou symetrické podle osy y, proto může dojít ke zjednodušení výpočtu, že se bude uvažovat vždy polovina jednoho svazku pružin. Listy listové pružiny byly vytvořeny pomocí prvku Chexa (8) o velikosti elementu 3 mm. Pro náhradu příložky byly použity elementy o velikosti 7.5 mm. Sít' objímky byla vytvořena pomocí Ctetra (4) o velikosti elementu 6 mm. V okách hlavního listu obou svazků a na čepech opasku byl použit prvek 1D Rbe2, který tvoří jednotlivé růžice pro zadání následných okrajových podmínek. Spojení listových svazků ojníčkou bylo nahrazeno 1D prvkem Rbe2 s povolenou rotací okolo osy x, který spojuje růžice v daném místě. Pro nahrazení uložení listových pružin v ložiskovém domku a zachování stejné vzdálenosti hlavních listů byl zde použit také 1D prvek s umožněnou rotací okolo osy x.

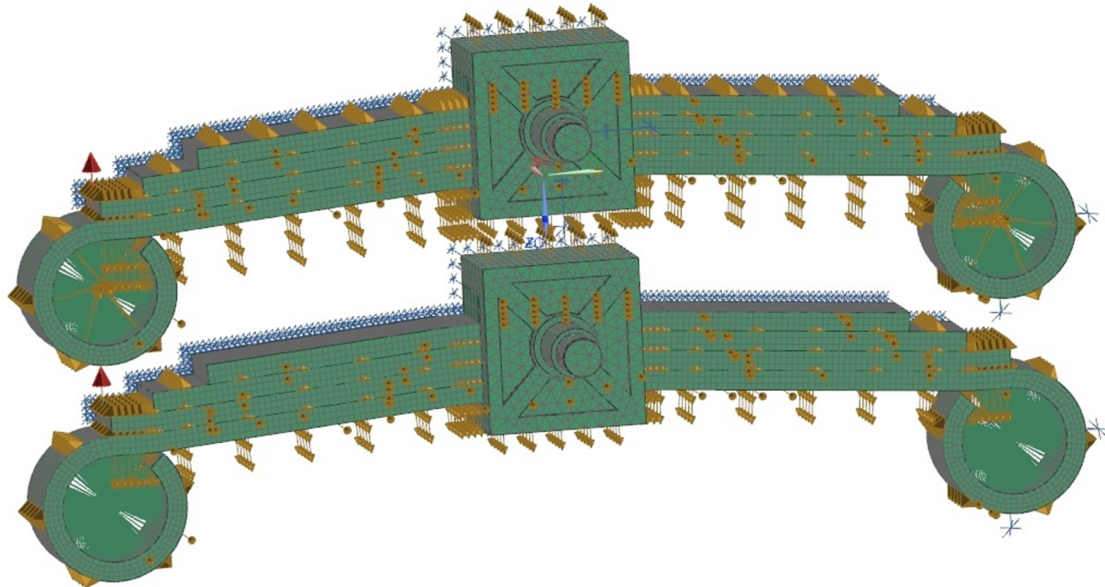


Obrázek 34: Sít' modelu

5.2 Okrajové podmínky

Okrajové podmínky se musejí nadefinovat takovým způsobem, aby se výpočet přiblížil co nejvíce skutečnosti. Pro výpočet byla použita vypočtená síla na jednu pružinu sekundárního vypružení o velikosti 15754 N. Zadaná síla do výpočtu bude dvakrát menší

z důvodu již zmíněné symetrie. Síla je umístěna na obě dvě růžice 1D prvku na straně uložení v ložiskové skříni působící jako reakce od zatížení. Je znázorněna červenými šipkami. Mezi listy a objímkou bylo nadefinováno spojení typu Kontakt, kde byl zadán součinitel tření mezi listy 0,2. Pro dosažení symetrie jsou zakázány posuvy v ose x na straně dělicí roviny symetrie. Nahrazení uložení v rámu a spojení úhlovou konzolí primárního vypružení je provedeno okrajovými podmínky umístěné na oka listů v místě hlavního příčnicku a na čep objímky horního listu. Jsou zde povoleny rotace okolo osy x a zakázané posuvy.

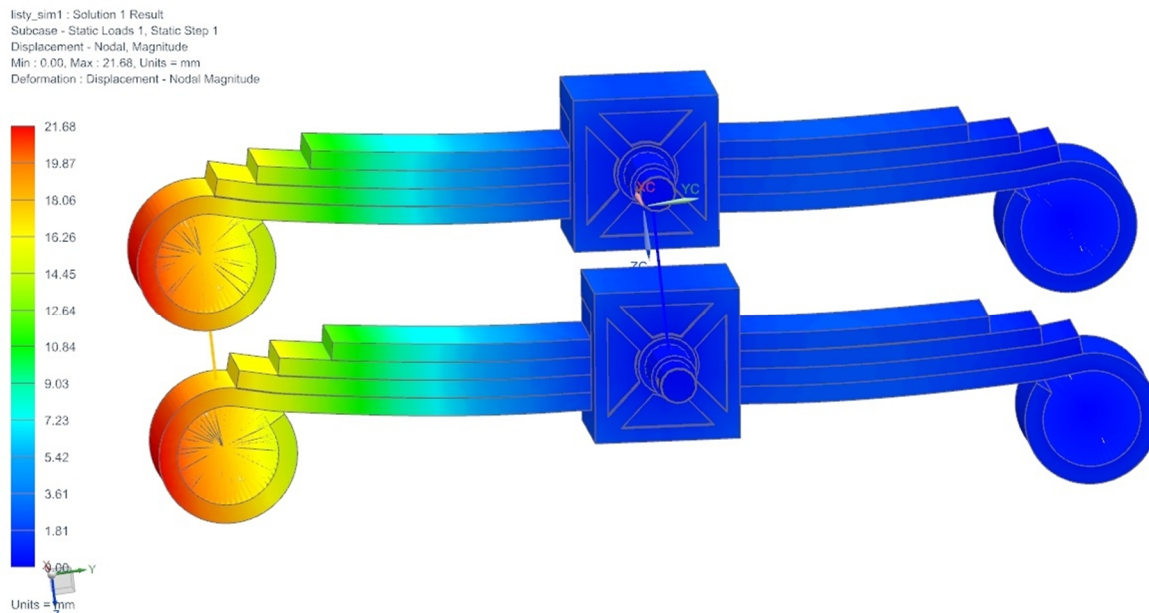


Obrázek 35: Okrajové podmínky

5.3 Výsledky

5.3.1 Deformace

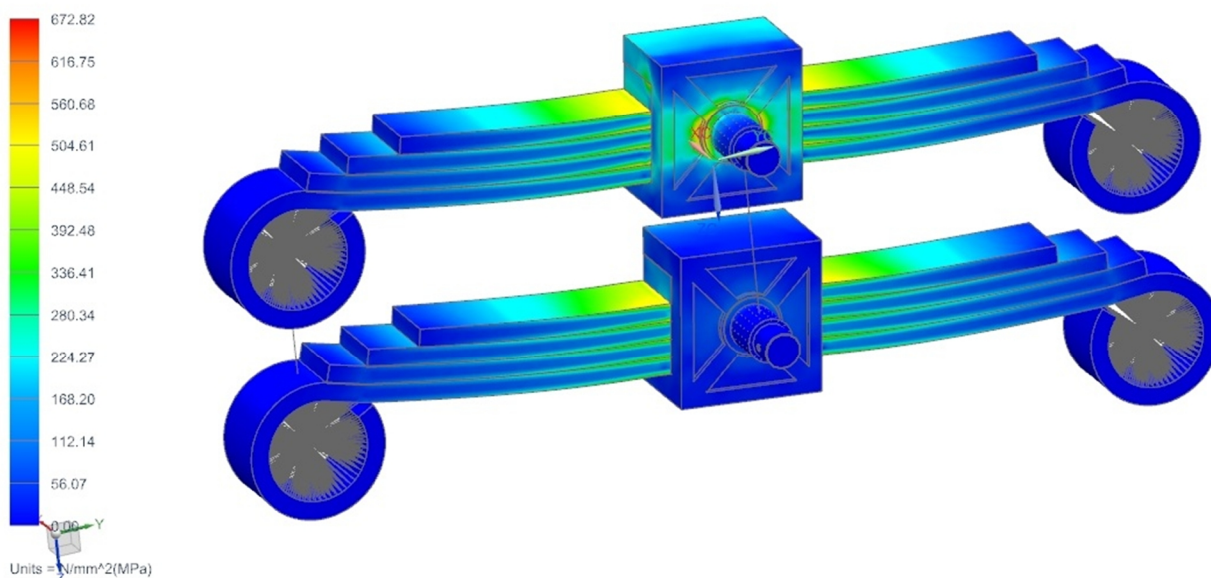
Z níže uvedených obrázků je vidět, že největší deformace nastává právě tam, kde byla předpokládána - v místě zatížení silou. Největší deformace dosahuje hodnoty 21,68 mm na koncích hlavního listu. Mezi objímky listových svazků a rámem příčniku dochází také k menšímu průhybu o velikosti přibližně 2 mm.



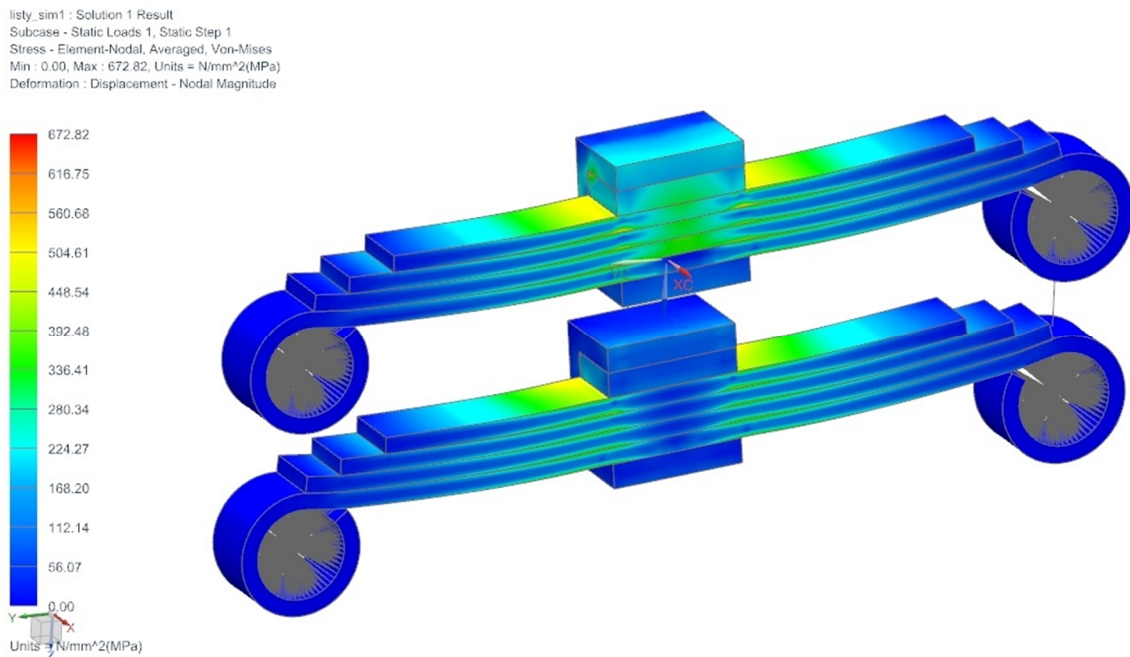
Obrázek 36: Deformace modelu

5.3.2 Napětí

listy_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 672.82, Units = N/mm²(MPa)
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 37: Průběh napětí - zředu



Obrázek 38: Průběh napětí - zezadu

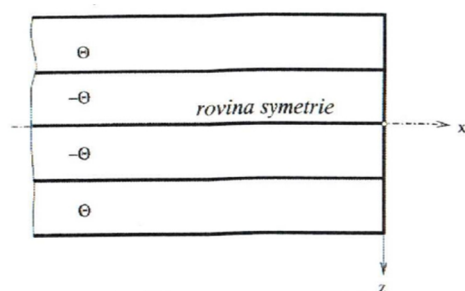
Z výše uvedených obrázků průběhu napětí dostáváme největší hodnotu napětí mezi listy, která dosahuje přibližně 550 MPa v místě sevření listového svazku objímkou. Největší špička napětí dosahuje v místě přechodu objímky v čep. Pro materiál 14 260 platí, že nesmí překročit při statickém namáhání hodnotu 700 MPa a při dynamickém namáhání 1000 MPa. [1] Z uvedeného závěru plyne, že listy listové pružiny pevnostně vyhovují.

5.4 Alternativa materiálu listů

Při hledání další alternativy snížení hmotnosti podvozku bylo uvažováno o použití kompozitu, který by mohl být aplikován na listové pružiny.

Velkou výhodou vláknového kompozitu je řízení jejich vlastností. Vhodnou volbou materiálu a technologií výroby lze získat různé vlastnosti v různých směrech. Například u jednosměrného kompozitu jsou pro vlastnosti v podélném směru rozhodující vlastnosti vláken, v příčném směru vlastnosti matrice. Z tohoto důvodu jsou vlastnosti kompozitu v příčném směru výrazně horší, než je tomu v podélném směru. Aby se zamezilo přídavnému namáhání materiálu, které je způsobené nestejným skládáním jednotlivých vrstev, je potřeba jednotlivé vrstvy skládat pod různými úhly, se stejnými vlastnostmi a v požadovaném směru. Ve většině případů namáhání laminátů není žádoucí vazba mezi ohybem a tahem nebo krutem a tahem, či mezi normálovými silami ve střední vrstvě laminátu a smykovými deformacemi. Tomuto se dá vyhnout při výrobě laminátu. [22]

V aplikaci kompozitu na listovou pružinu by se jednalo o symetricky vyrovnaný kompozit, který nemá vazbu mezi tahem, ohybem a krutem a zároveň tahové síly nevyvolají smykové deformace. Aby se dosáhlo těchto vlastností je třeba vrstvy klást s orientací v pořadí dle obrázku, čtyři stejně tlusté vrstvy se stejnou ortotropií. Dvě vrstvy s úhly $-\Theta$ a Θ , které eliminují vazbu mezi normálovými silami a smykovou deformací a symetrie vůči střední rovině vazbu mezi tahem, krutem a ohybem. [22]



Obrázek 39: Symetrický vyrovnaný laminát [22]

Jako materiál by mohl být použit kompozit s dlouhými uhlíkovými vlákny Tenax HTS 5631 s epoxidovou pryskyřicí. [23] Z uvedeného odkazu se dají zjistit parametry kompozitního materiálu. Nadefinování výpočtu kompozitní listové pružiny by vycházel z 3D modelu. Síť modelu by se musela upravit tak, aby tloušťka jednoho 3D prvku odpovídala tloušťce listu. Okrajové podmínky výpočtového modelu by zůstaly stejné jako u předešlého výpočtu. Ve výpočtu by se musely nadefinovat vrstvy laminátu. Na obrázku je zde uveden eventuální příklad vrstvení laminátu pro případný výpočet o tloušťce vrstev 0,5 mm. Nadefinování optimálního kompozitu by bylo pravděpodobně složité a mohlo by být inspirací pro další rozpravu.

Thickness	Angle	Ply		Material
0.500	0.0	20		Kompozit
0.500	0.0	19		Kompozit
0.500	0.0	18		Kompozit
0.500	45.0	17		Kompozit
0.500	0.0	16		Kompozit
0.500	0.0	16		Kompozit
0.500	0.0	14		Kompozit
0.500	-45.0	13		Kompozit
0.500	45.0	12		Kompozit
0.500	90.0	11		Kompozit
0.500	90.0	10		Kompozit
0.500	45.0	9		Kompozit
0.500	-45.0	8		Kompozit
0.500	0.0	7		Kompozit
0.500	0.0	6		Kompozit
0.500	0.0	6		Kompozit
0.500	45.0	4		Kompozit
0.500	0.0	3		Kompozit
0.500	0.0	2		Kompozit
0.500	0.0	1		Kompozit

Obrázek 40: Vrstvy kompozitu

6 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout otočnou a neotočnou variantu podvozku pod nízkopodlažní tramvaj. Zároveň byla hledána cesta nízké hmotnosti a dobrých jízdních vlastností.

V diplomové práci byla navržena varianta pro otočný podvozek a dvě varianty pro neotočný podvozek. Podvozky jsou navrženy pod skříň 100% nízkopodlažní tramvaje, kde nad samotným podvozkem by musela být vytvořena přechodová rampička. Pohon byl při návrhu z důvodu nízké podlahy situován vně rámu, kde je točivý moment od motoru přenášen přes kuželočelní převodovku a klínovou spojku na dvojkolí. Podvozek má vždy dvě hnaná dvojkolí.

Při konstrukci rámu podvozku bylo vytvořeno nestandardní řešení vedení dvojkolí, které není dosud použito na nízkopodlažním tramvajovém podvozku. Spojení rámu podvozku s dvojkolím bylo realizováno pomocí dvou paralelně spřažených listových pružin. Díky tomuto uspořádání nám odpadají podélníky na samotném rámu podvozku a zároveň dochází k pružení podvozku. Přenos příčných sil je realizován pomocí táhel. Celý rám podvozku tvoří pouze hlavní příčník, který je dále upraven pro upevnění dalších nezbytných komponent podvozku.

Díky tomuto řešení bylo dosaženo hmotnosti otočného podvozku 4430 kg a bylo uspořeno přibližně 15% hmotnosti oproti konvenčním podvozkům. Neotočné varianty podvozků váží 4196 kg a 4205 kg. Obě dvě varianty jsou navrženy pro rozchod kolejí 1435 mm a jsou zde použita kola o průměru 600 mm. Rozvor podvozku je 1800 mm. Závěrem diplomové práce se otevírá zatím nezodpovězená otázka použití zmíněné kompozitní pružiny pro další úsporu hmotnosti podvozku.

7 Seznam použité literatury

7.1 Knižní publikace

- [1] DOSTÁL, J., HELLER, P. *Kolejová vozidla I*. Plzeň Západočeská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7043-960-0
- [2] DOSTÁL, J., HELLER, P. *Kolejová vozidla II*. Plzeň Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-641-7
- [3] DOSTÁL, J., HELLER, P. *Kolejová vozidla III*. Plzeň Západočeská univerzita, 2011. ISBN 978-80-261-0028-7.
- [22] LAŠ, V. *Mechanika kompozitních materiálů*. Plzeň Západočeská univerzita, 2004. ISBN 80-7043-273-X

7.2 Časopisecké zdroje

- [4] Katalog Siemens
- [5] Katalog Bombardier
- [6] Katalog Sames
- [7] Katalog Prose
- [16] Stadtverkehr 12/08 (53.Jahrgang)
- [23] KRYSTEK, J., KROUPA, T., KOTTNER, R. *Experimentální analýza napětí*. Plzeň Západočeská univerzita, 2010

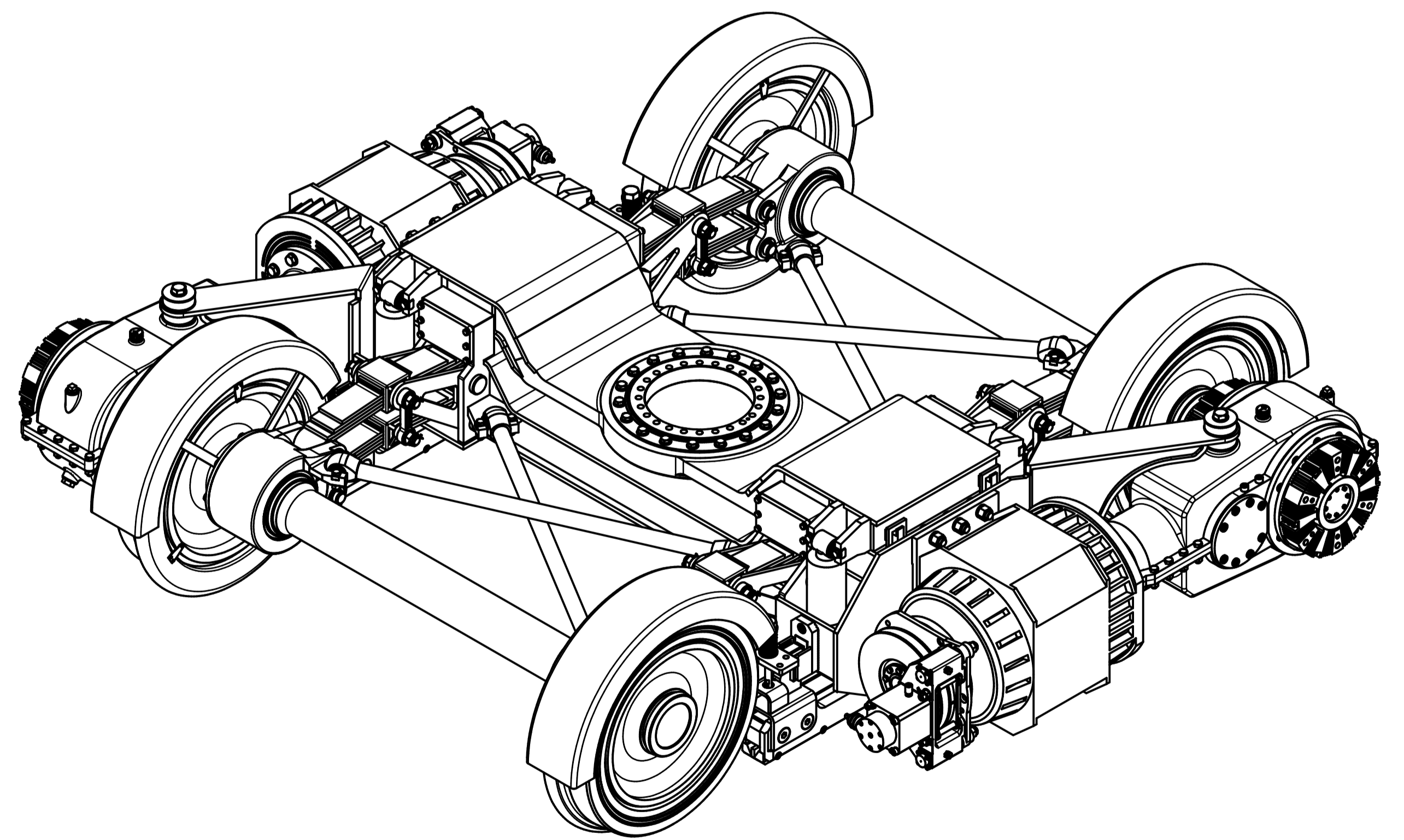
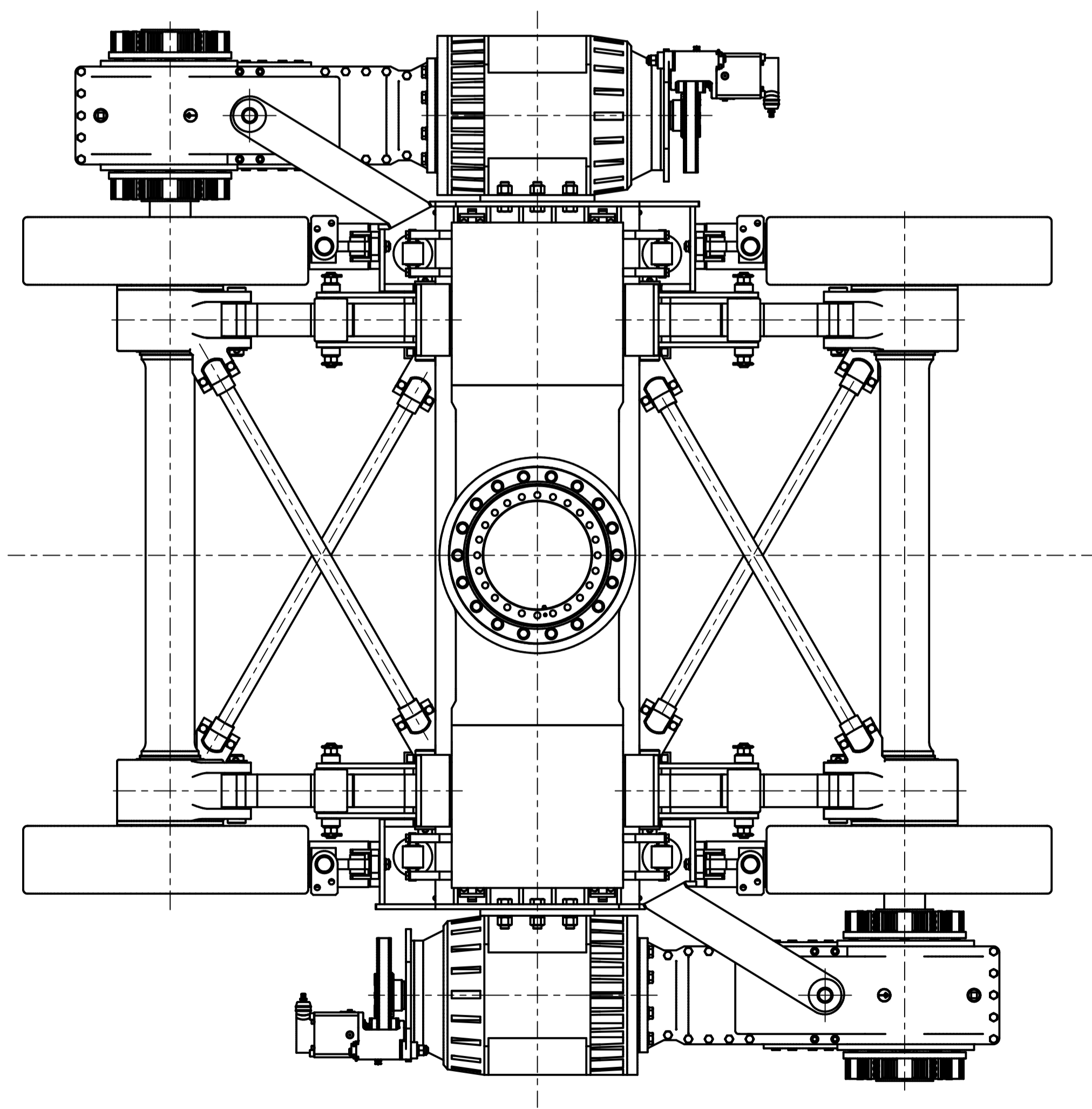
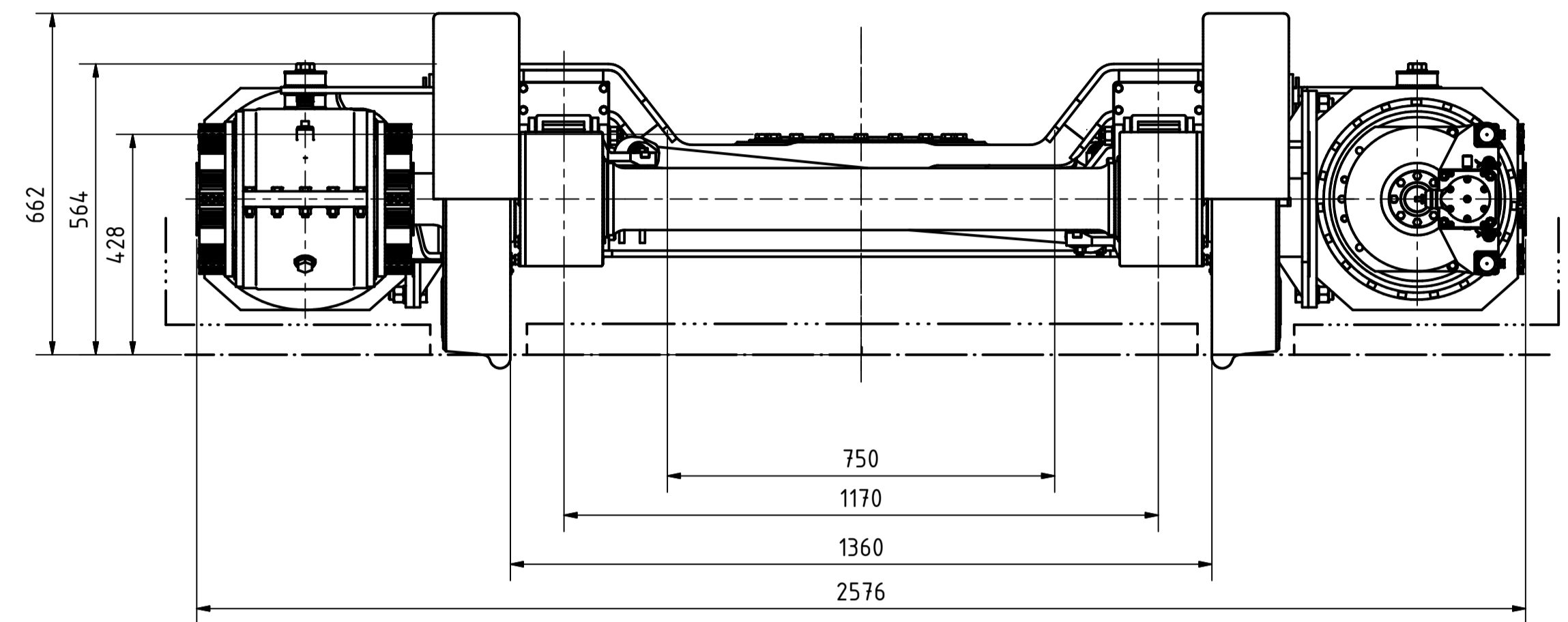
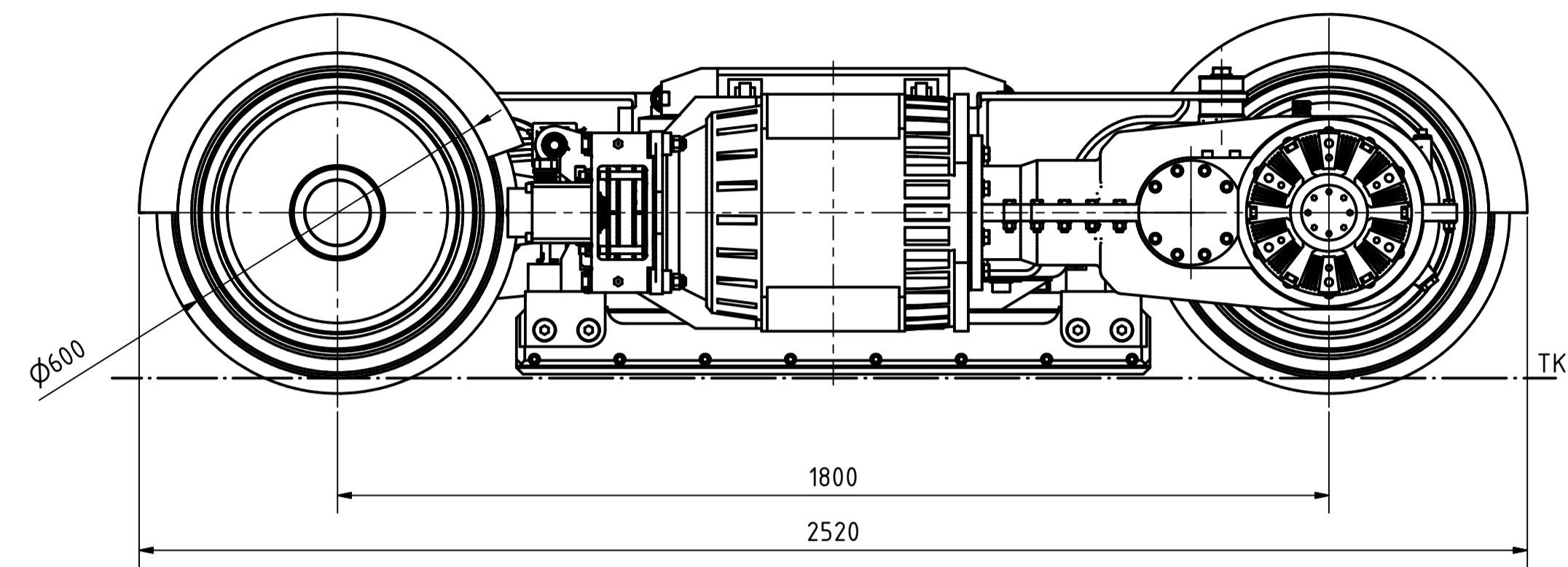
7.3 Publikace na internetu

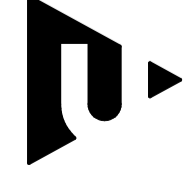
- [8] *Historické medzníky vo vývoji cestnej dopravy* [online]. [cit. 2013-11-12]. Dostupné z WWW: <<http://komerconypracovnik.czechian.net/prvacipredmety/dpp/dpp1.html>>
- [9] *Omnibus* [online]. [cit. 2013-10-8]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Omnibus>>
- [10] *Light rail* [online]. [cit. 2013-21.11] Dostupné z WWW: <<https://www.pinellascounty.org/ttf/pdf/Scan001.PDF>>
- [11] *Tramvajová doprava* [online]. [cit. 2013-11-8] Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tramvajov%C3%A1_doprava>
- [12] *FLEXX Urban Bogies* [online]. [cit. 2013-11-6] Dostupné z WWW: <<http://www.bombardier.com/en/transportation/products-services/bogies/light-rail-vehicles.html>>
- [13] *FLEXX Urban 3000 Bogie* [online]. [cit. 2013-11-6] Dostupné z WWW: <<http://www.bombardier.com/content/dam/Websites/bombardiercom/supporting-documents/BT/Bombardier-Transportation-FLEXX-Urban-3000-Bogie.pdf>>

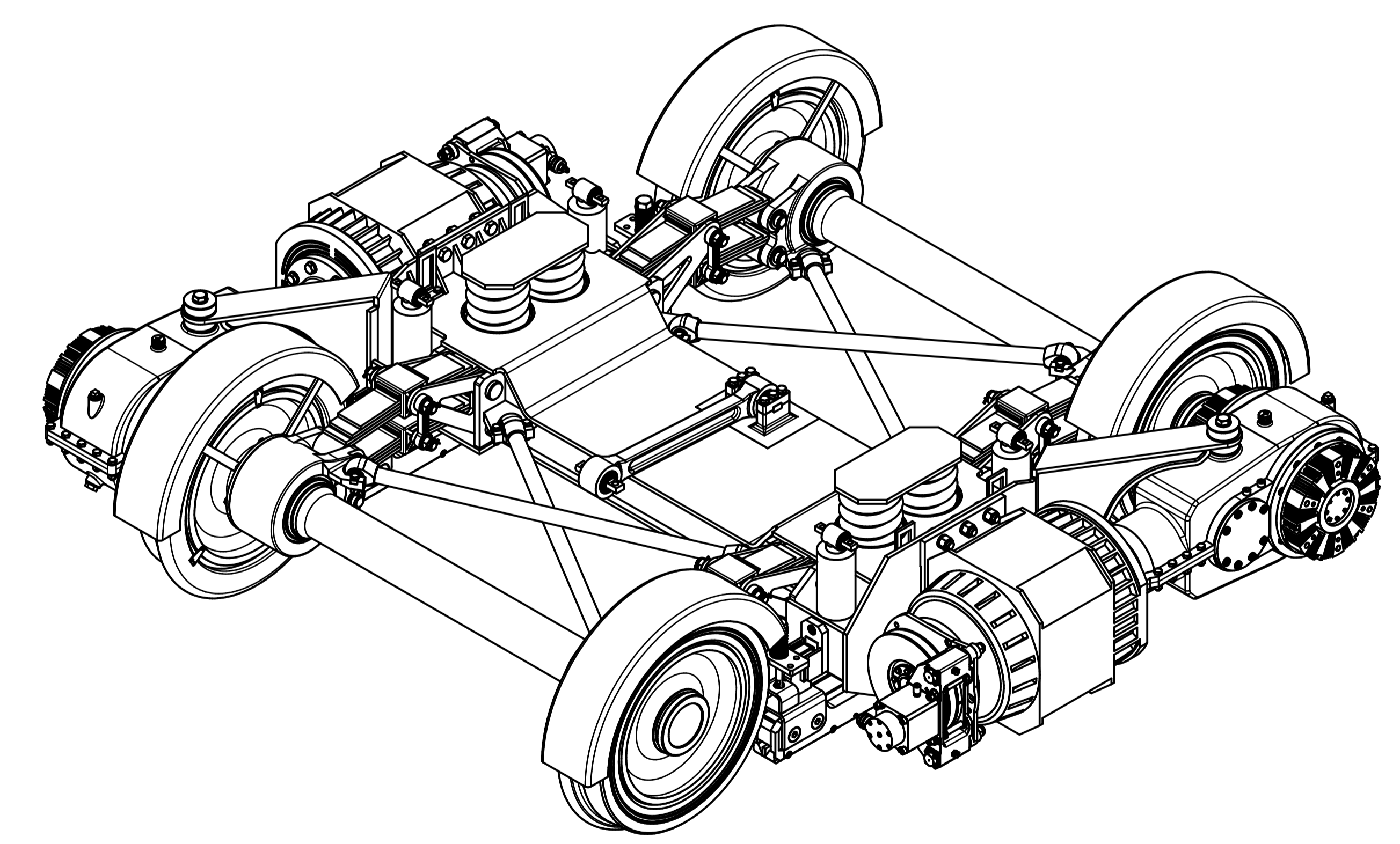
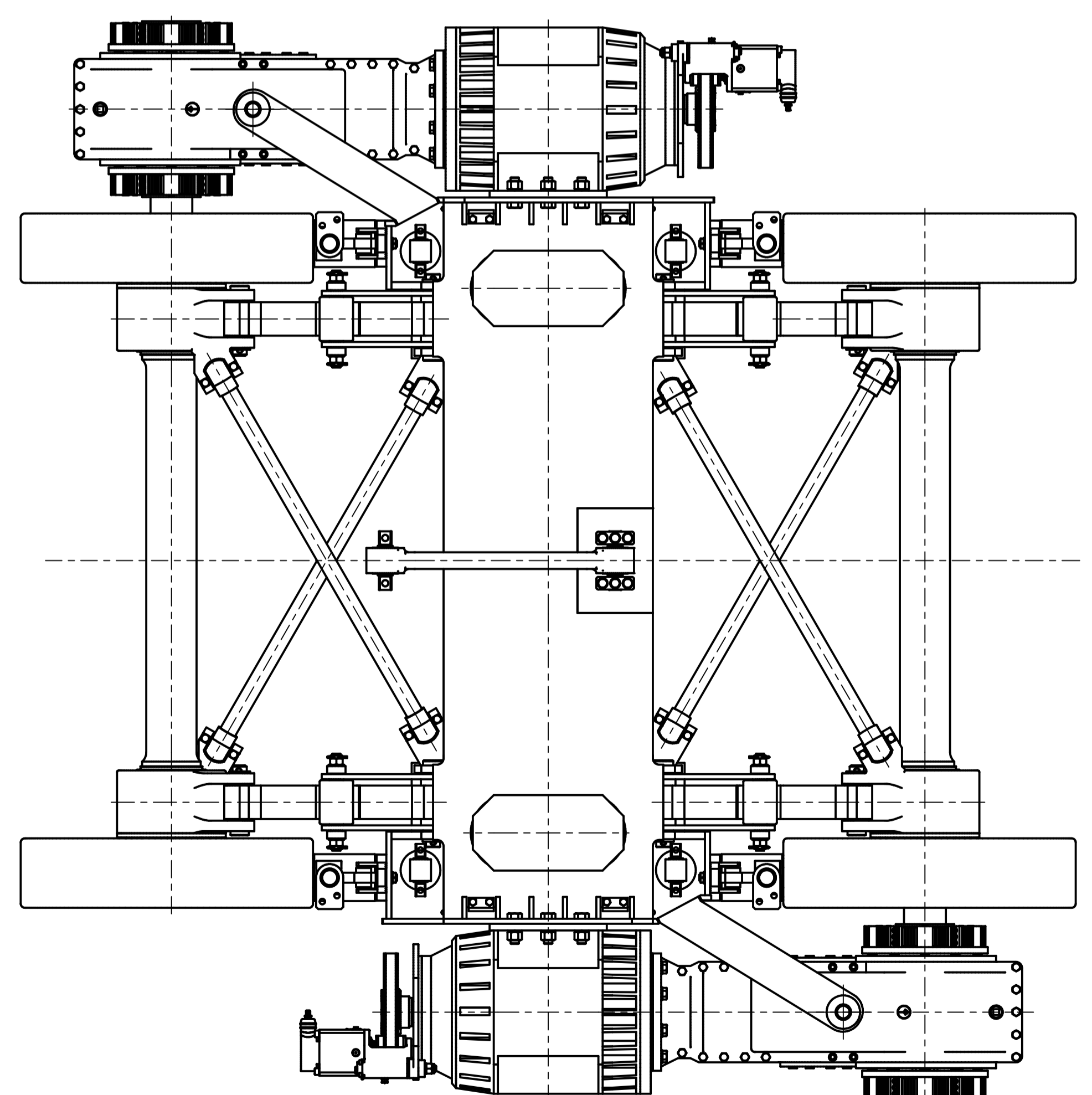
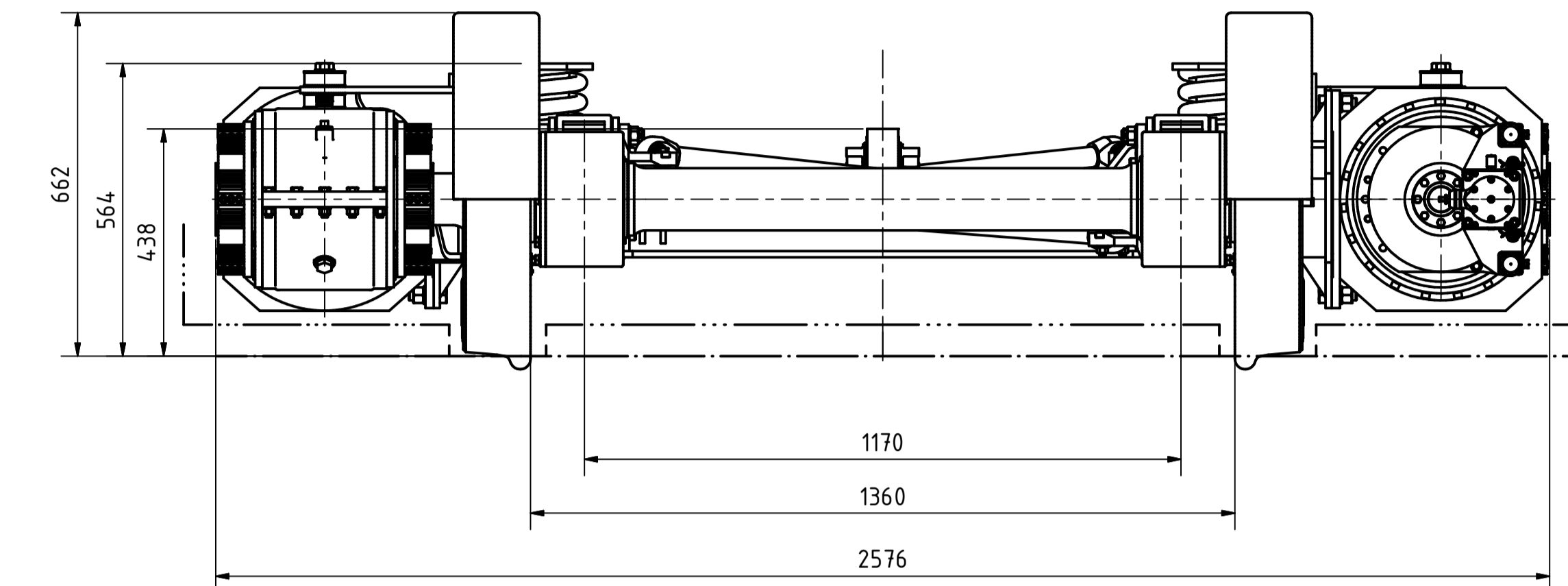
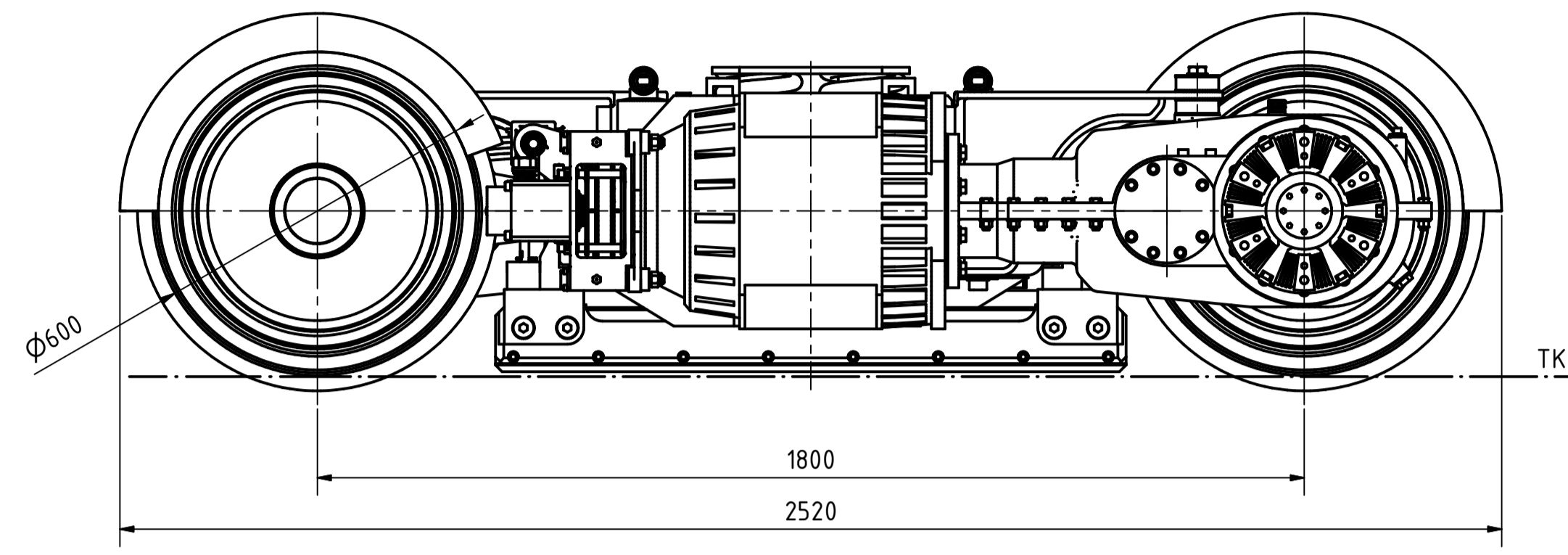
- [14] *Tramvaj s nejnižší podlahou* [online]. [cit. 2013-11-14] Dostupné z WWW:
<http://technet.idnes.cz/tramvaj-s-nejnizsi-podlahou-na-svete-jezdi-po-kolejich-jako-stonozka-1i9-/tec_reportaze.aspx?c=A090713_171029_tec_reportaze_rja>
- [15] *Bearing designs* [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z WWW:
<<http://www.skf.com/binary/12-62740/RTB-1-04b-Bearing-designs---TBU.pdf>>
- [18] *Ring bearing* [online]. [cit. 2014-3-6]. Dostupné z WWW:
<http://www.kaydonbearings.com/MT_turntable_bearings.htm>
- [19] *Tlumiče* [online]. [cit. 2014-3-7]. Dostupné z WWW:
<<http://www.st-os.cz/cz/tlumice/>>
- [20] *Katalog trakčních motorů* [online]. [cit. 2014-4-18]. Dostupné z WWW:
<<http://www.skoda.cz/cs/o-spolecnosti/spolecnosti-skoda/skoda-electric-as/>>
- [21] *Odpružené kolo Bonatrans* [online]. [cit. 2014-4-23]. Dostupné z WWW:
<http://www.bonatrans.cz/downloads/Bonatrans_gumi_CZ.pdf>

7.4 Ostatní zdroje

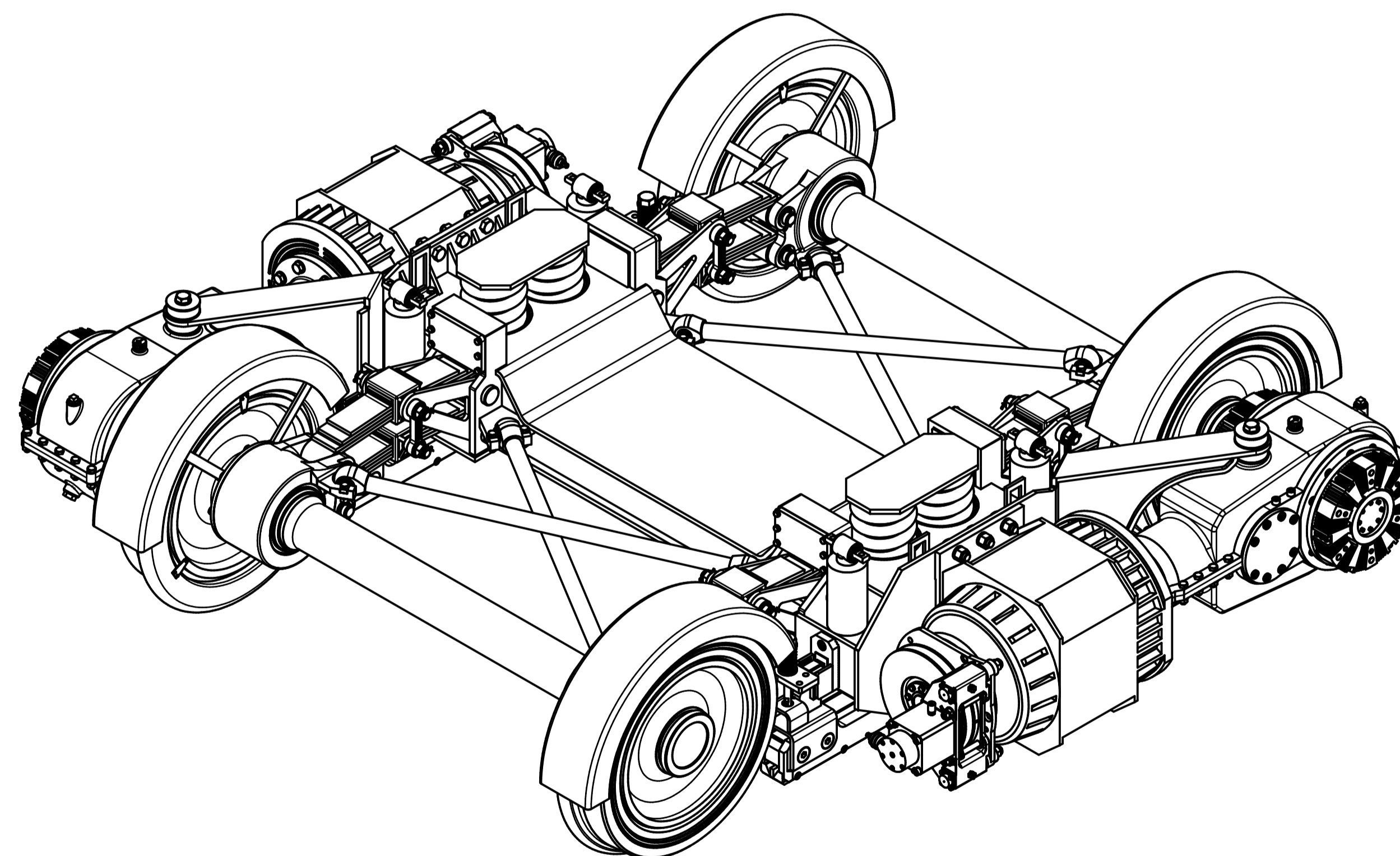
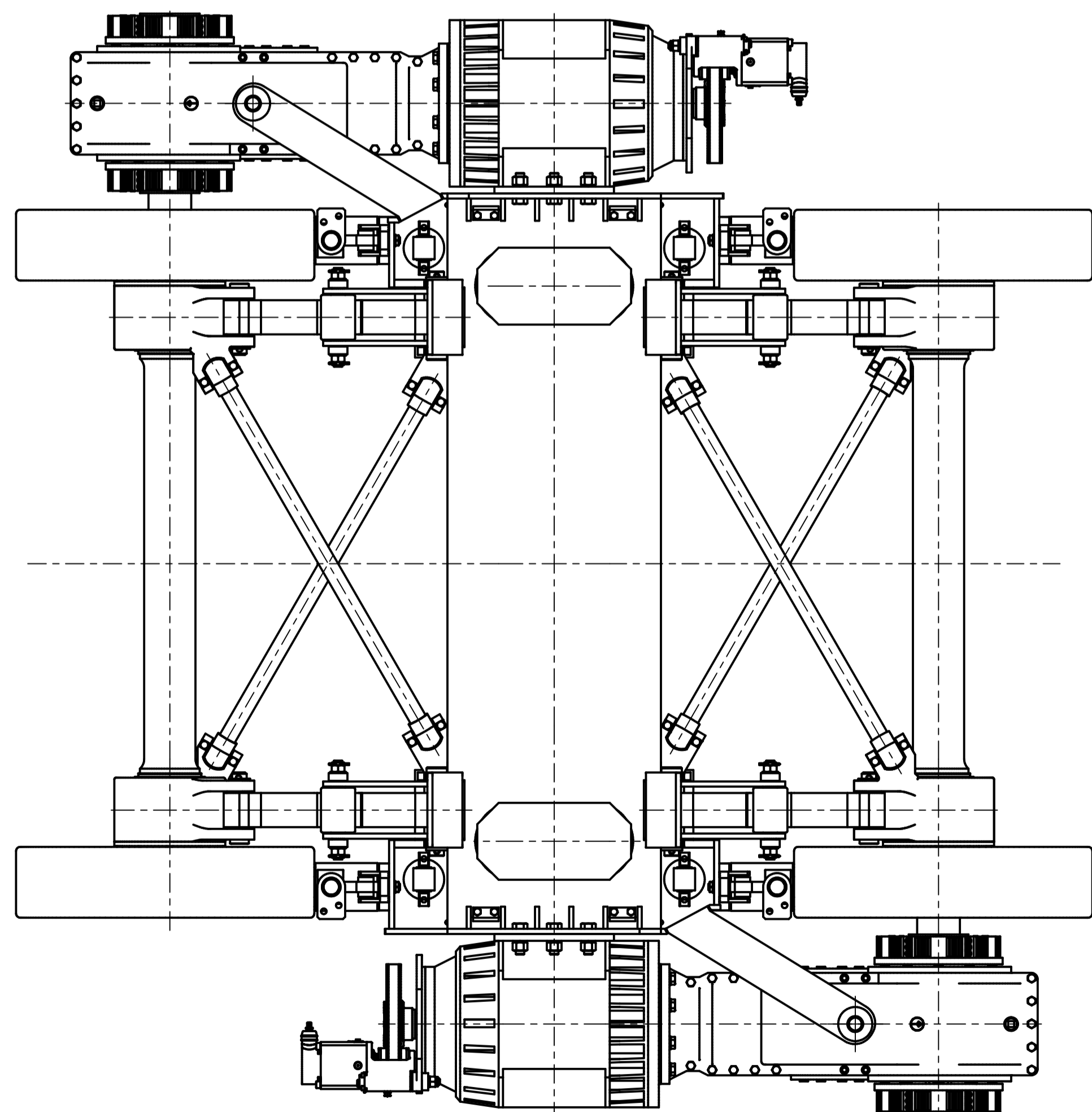
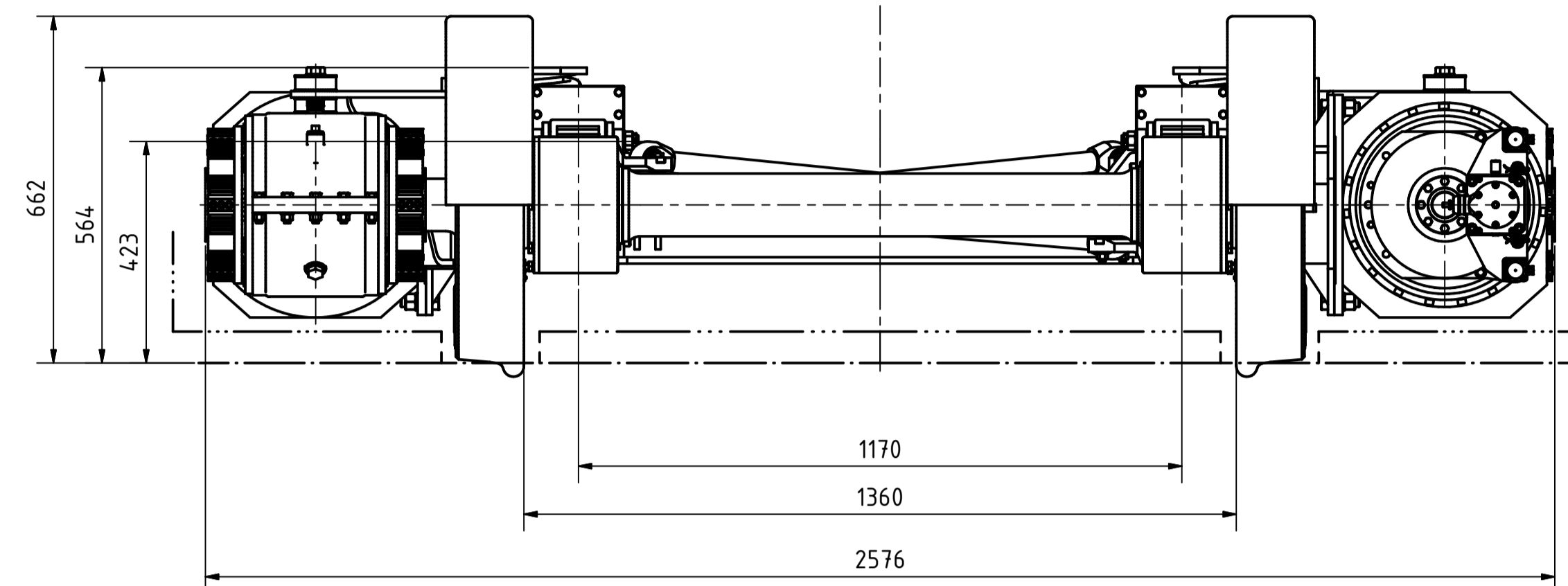
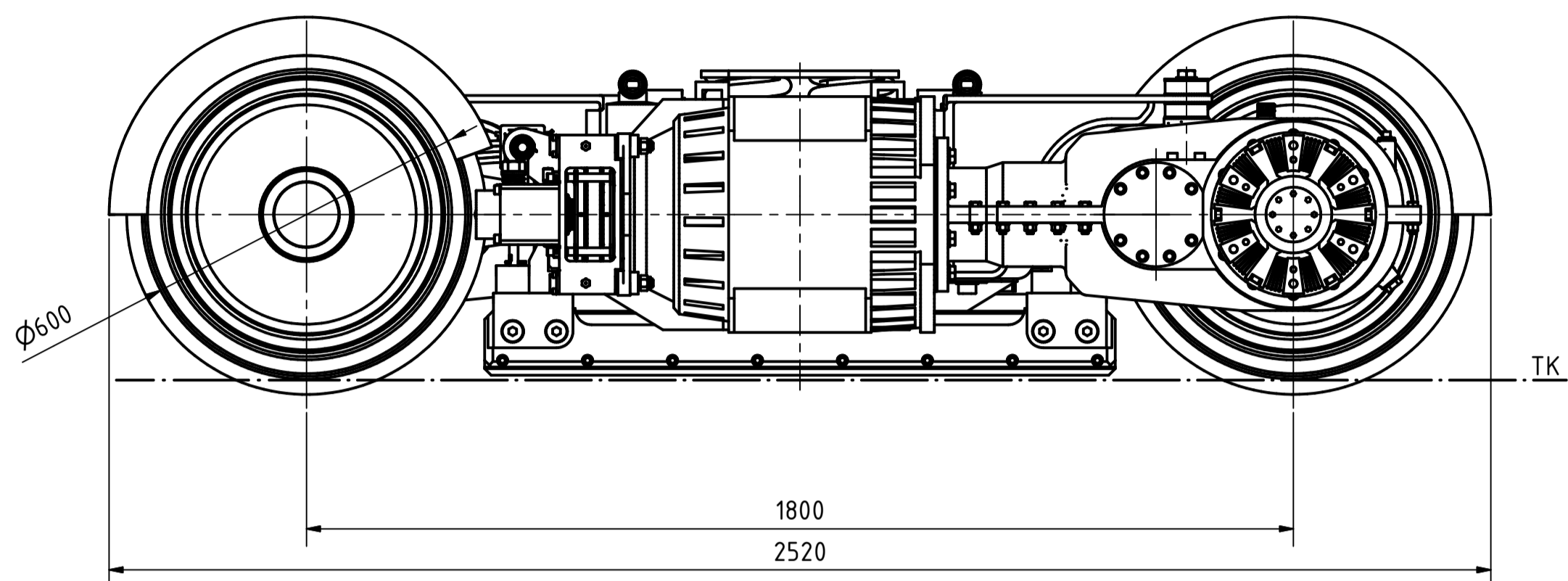
- [17] Podklady k přednáškám z předmětu *Konstrukce kolejových vozidel 1(KKS/KKV1)*



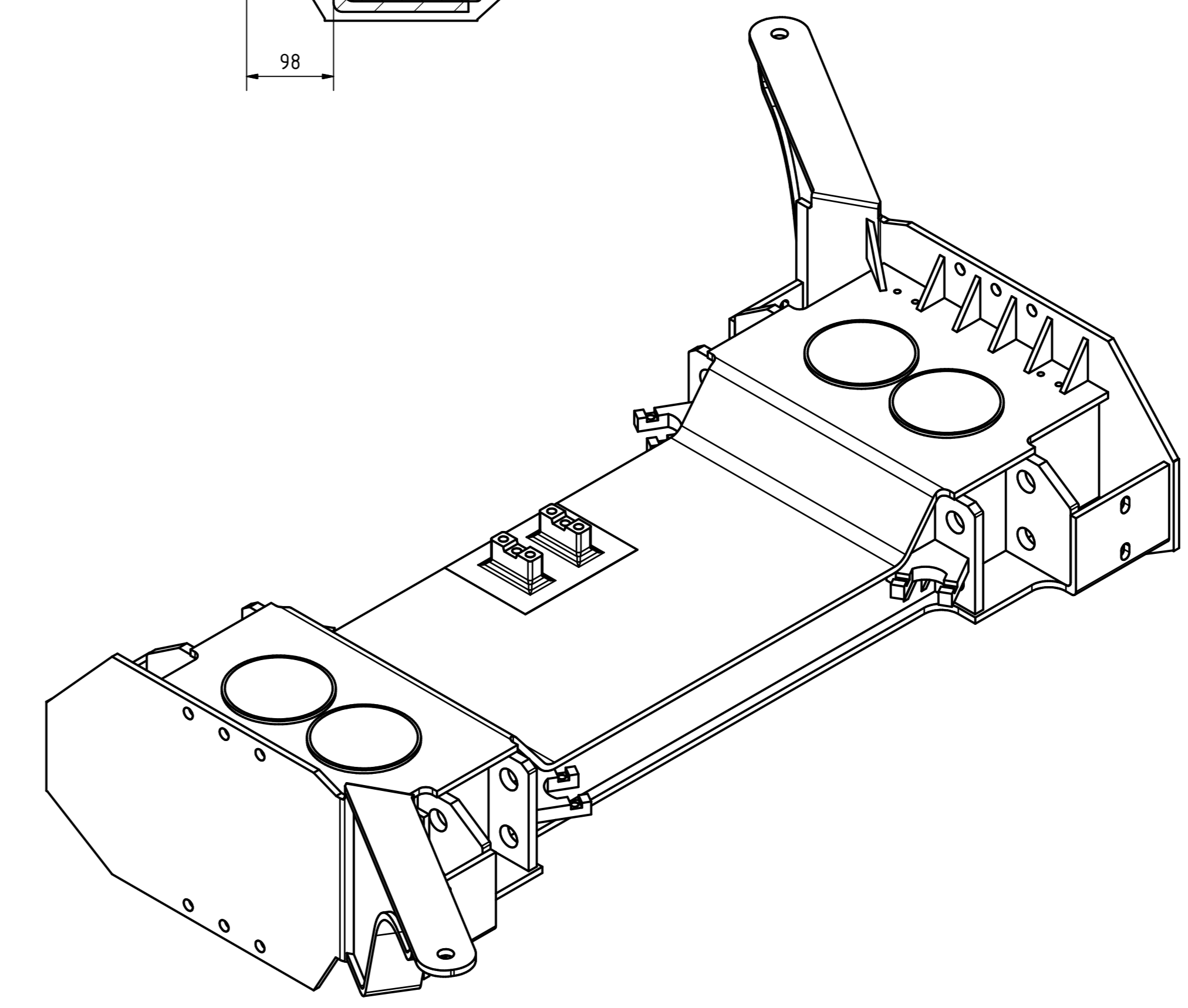
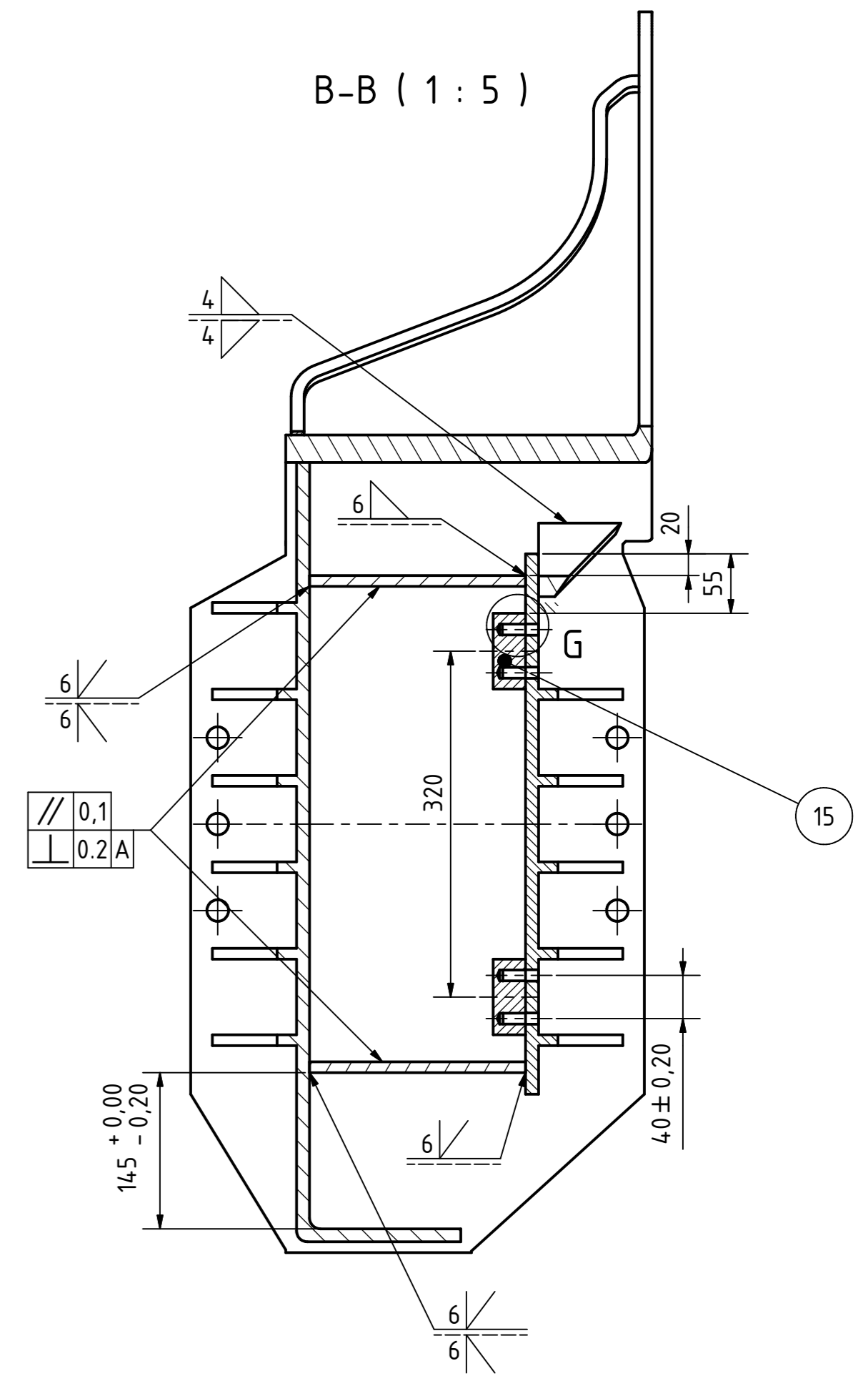
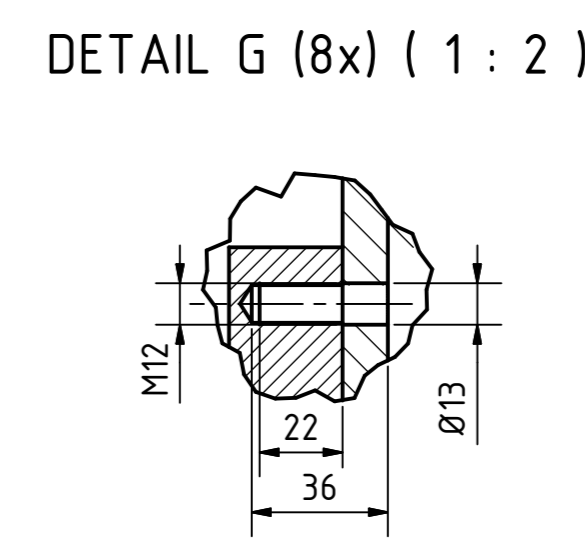
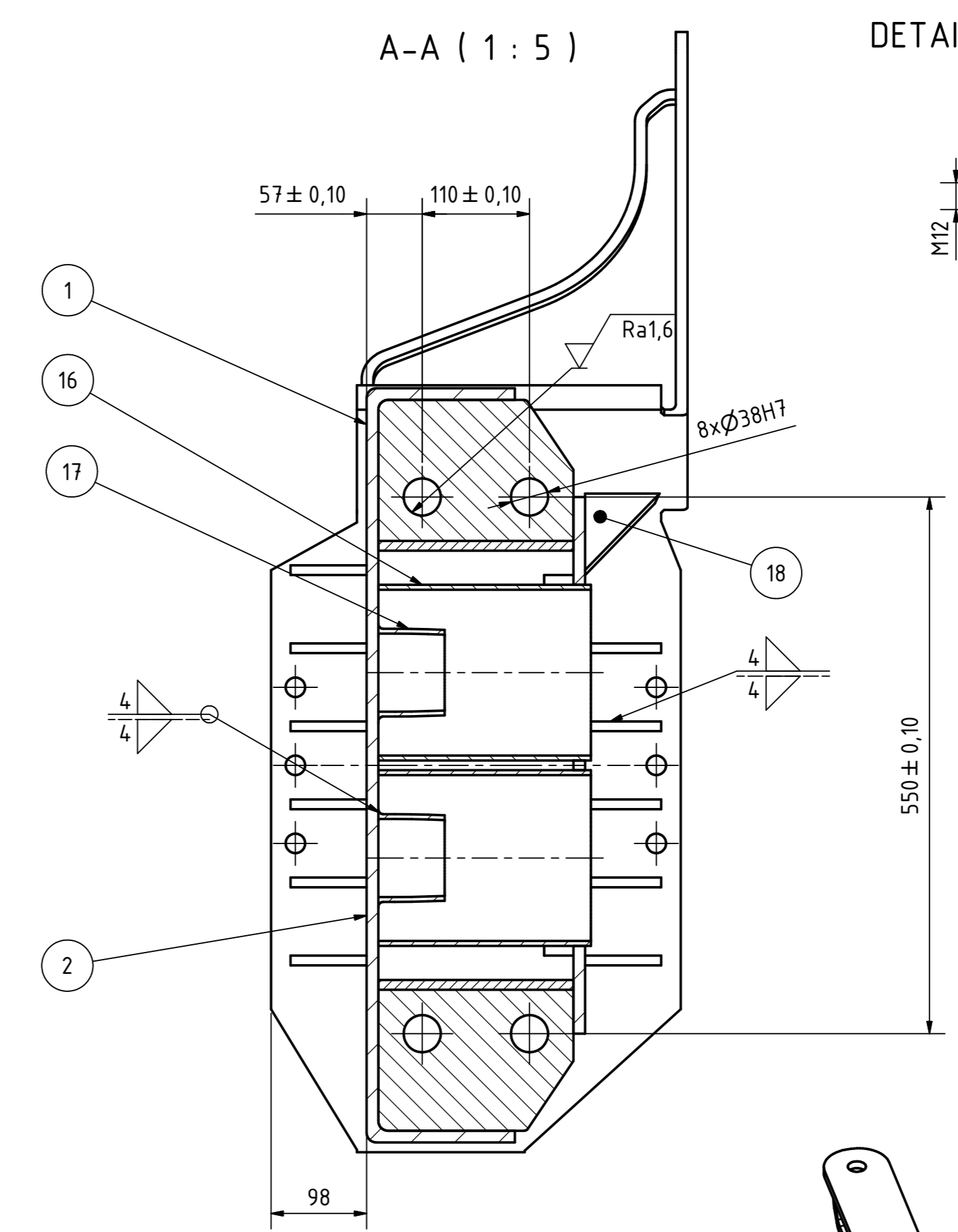
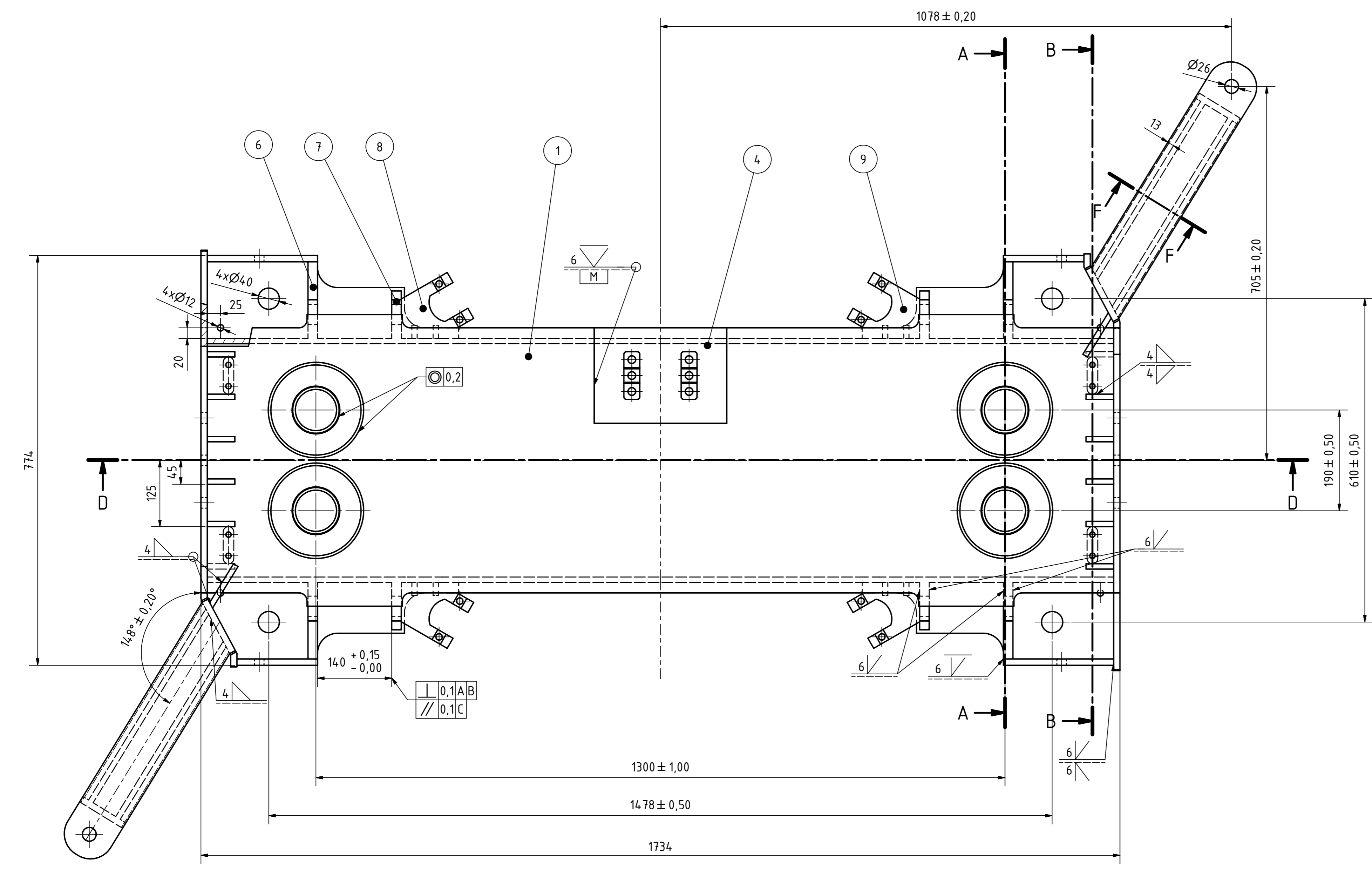
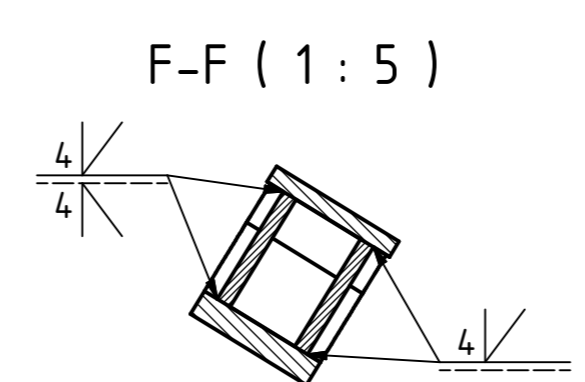
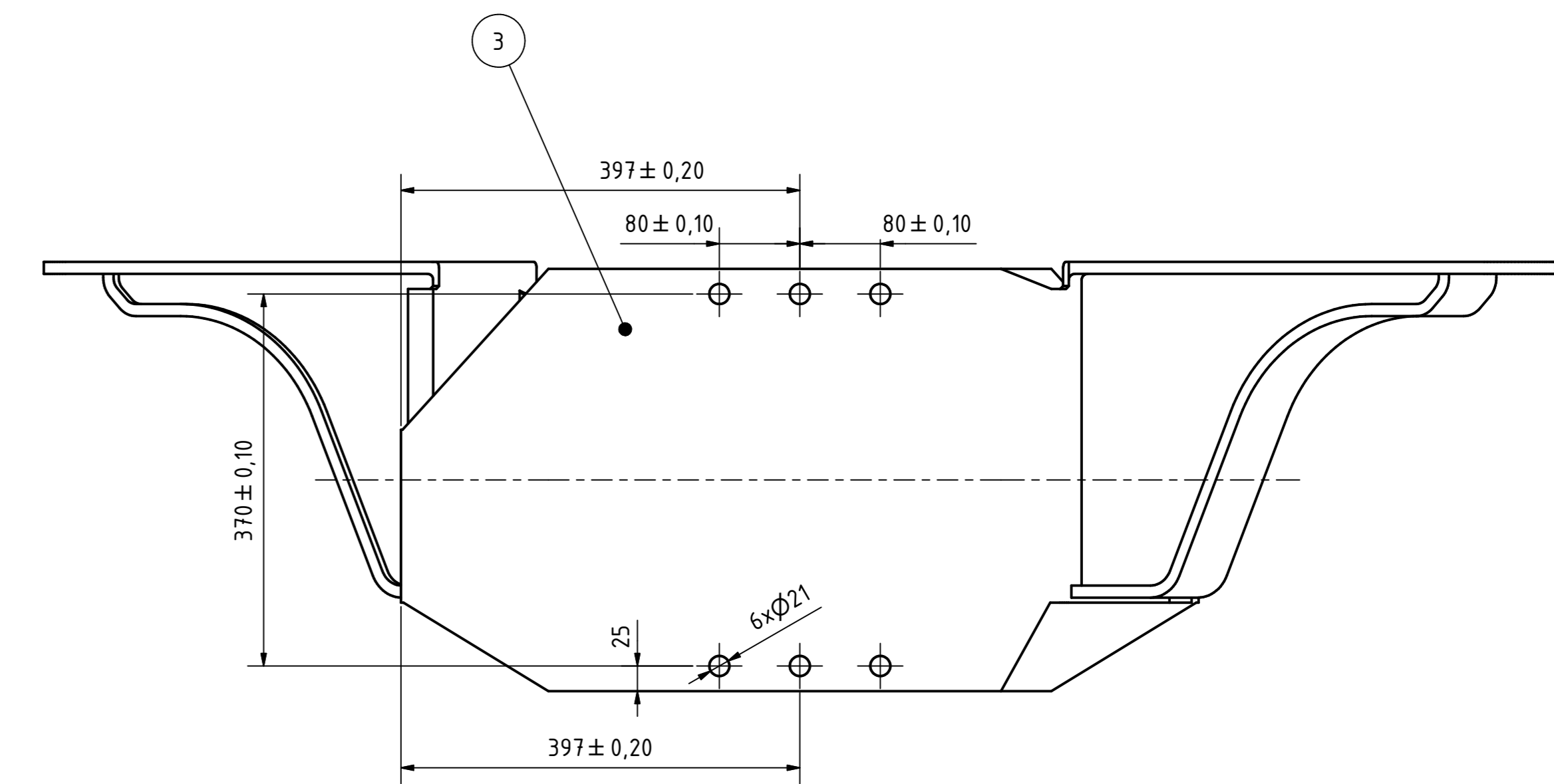
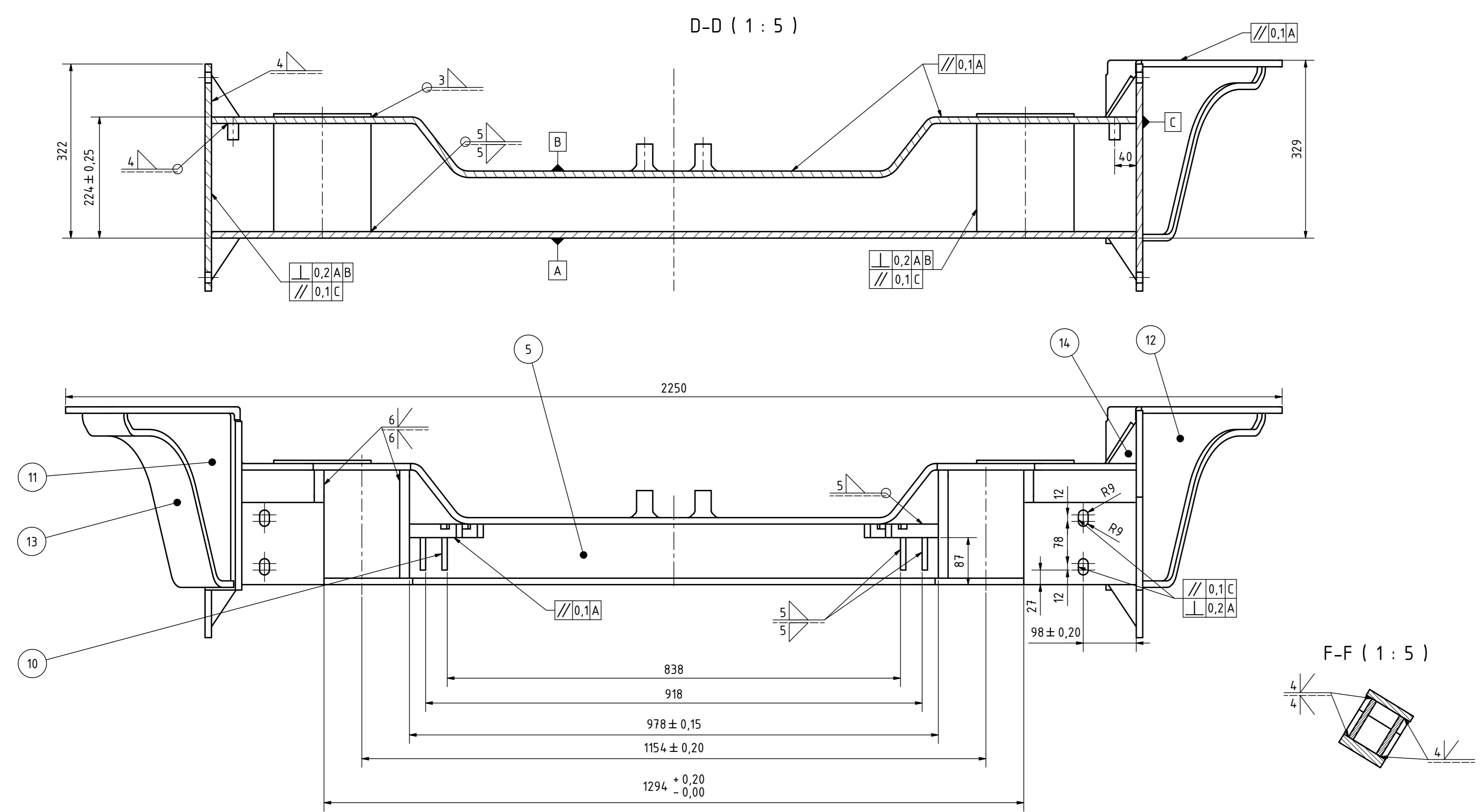
PROJITOVÁNÍ	MĚŘÍTKO 1:10	PŘESNOST ISO 2768-mk	HMOTNOST 4430 kg	INDEX	ROZMĚR - POLOTOVAR
		TOLERANCE ISO 8015			
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČSKÉ UNIVERZITY V PLZNI		KRESLIL Bláha TECH. REFERENT SCHVÁLIL		DATUM 15.5.2014 Č. VÝKRESU SESTAVY Č. SEZNAMU POLOŽEK TYP DOKUMENTACE	
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ		NÁZEV Otočný podvozek		ISO 16016 ČÍSLO VÝKRESU DP-2014-001 LISTUJST 1/4	



PROMĚTÁNÍ	MĚŘÍTKO	PŘESNOST ISO 2768-mk	HMOTNOST	INDEX	ROZMĚR - POLOTOVAR
1:10	1:10	TOLERANCE ISO 8015	4205kg		
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI		KRESLIL Bláha		DATUM 15.5.2014	
		TECH. REFERENT		Č. VÝKRESU SESTAVY	
		SCHVÁLIL		DATUM	
		NÁZEV		ISO 16016	
		Neotočný podvozek 1		TYP DOKUMENTACE	
				ČÍSLO VÝKRESU DP-2014-002	
				LISTUJST 2/4	



PROMĚTÁNÍ	MĚŘÍTKO	PŘESNOST ISO 2768-mk	HMOTNOST	INDEX	ROZMĚR - POLOTOVAR
1:10	TOLERANCE ISO 8015	4196kg			
MATERIÁL		ROZMĚR - POLOTOVAR			
KRESLIL		Bláha	DATUM	15.5.2014	Č. VÝKRESU SESTAVY
TECH. REFERENT			DATUM		Č. SEZNAMU POLOŽEK
SCHVÁLIL			DATUM		TYP DOKUMENTACE
NÁZEV		ISO 16016		TYP DOKUMENTACE	
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ		Neotočný podvozek 2		ČÍSLO VÝKRESU DP-2014-003	
				LÍŠTILIST 3/4	



Průz.	Název	MĚŘITKO	PŘESNOST ISO 2768-mS	TOLERANCE ISO 8181	HMOTNOST	Materiál	Váha kg	Mn.
18	Zebro bočnice 2	S335J2G	0,8	2				
17	Vedení pružin	S335J2G	2,1	4				
16	Vyztuha pružin	S335J2G	4,8	4				
15	Návarek	S335J2G	2	4				
14	Zebro bočnice 1	S335J2G	0,5	22				
13	Zakrytí bočnice	S335J2G	5,2	2				
12	Vyztuha bočnice 2	S335J2G	5,9	2				
11	Vyztuha bočnice 1	S335J2G	6,5	2				
10	Zebro řáhla	S335J2G	0,4	8				
9	Konzole řáhla 2	S335J2G	2	2				
8	Konzole řáhla 1	S335J2G	2	2				
7	Stojna čepu 2	S335J2G	4,7	4				
6	Stojna čepu 1	S335J2G	3,4	4				
5	Stojna	S335J2G	21	2				
4	Držák tažné-Hlačné tyče	422303	12	1				
3	Bočnice	S335J2G	32	2				
2	Spodní plech	S335J2G	83	1				
1	Vrchní plech	S335J2G	70	1				
Pozn. 1:5								
MATERIAL								
ROZMĚR - POLOTOVAR								

Katedra Konstrukování Strojů
 KRESLIL: Bláha
 TECH. REFERENT: Datum 15.5.2014
 SCHVALIL: Datum
 NÁZEV: Hlavní příčník
 ISO 16016
 ČÍSLO VÝKRESU: DP-2014-004
 LIST/CELK: 4/4