

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2301T001 Dopravní a manipulační technika

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Regionální jednotky s podvozky typu Jakobs

Autor: **Bc. Josef WALDMANN**

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

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Josef WALDMANN**
Osobní číslo: **S16N0021P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**
Název tématu: **Regionální jednotky s podvozky typu Jakobs**
Zadávací 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:

Diplomová práce je zaměřena na regionální jednotky s podvozky typu Jakobs. Bude zpracována rešerše se zaměřením na Jakobsův podvozek. V rámci diplomové práce se provede návrh vybrané části podvozku. V závěru práce bude provedeno vyhodnocení navržené varianty

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše regionálních vozidel se zaměřením na podvozky
2. Výběr vhodných variant podvozku Jakobs, porovnání
3. Vybranou variantu podvozku Jakobs podrobně zpracovat (výkres)
4. Pevnostní výpočty vybrané varianty
5. Výrobní výkres vybrané části podvozku

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

DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla I. Plzeň: ZČU KKS, 2010

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

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

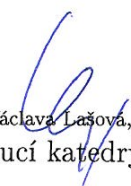
Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Antonín Roub**
ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2018**
Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2019**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Waldmann	Jméno Josef	
STUDIJNÍ OBOR	„Dopravní a manipulační technika“		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Heller, CSc.	Jméno Petr	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST– KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Regionální jednotky s podvozky typu Jakobs		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	63	TEXTOVÁ ČÁST	51	GRAFICKÁ ČÁST	12
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce je zaměřena na regionální jednotky s podvozky typu Jakobs. Bude zpracována rešerše se zaměřením na Jakobsův podvozek. V rámci diplomové práce se provede návrh vybrané části podvozku. V závěru práce bude provedeno vyhodnocení navržené varianty.</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;">Kolejová vozidla, doprava, Jakobs, propojení skříní, Škoda TRANSPORTATION a. s.</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Waldmann		Name Josef	
FIELD OF STUDY	“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	Regional units with Jacobs' bogies			

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	67	TEXT PART	51	GRAPHICAL PART	12
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis is focused on regional units with bogies of Jacobs type. It will be processed a research with focused on bogies of Jacobs type. In the thesis will design a special part of bogie. In the conclusion of thesis will be evaluated the proposed solutions.
KEY WORDS	Rail vehicles, transport, Jacobs, connect single-deck, Škoda TRANSPORTATION a. s.

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval Doc. Ing. Petru Hellerovi, CSc. za ochotný přístup odborné rady a pomoc při tvorbě této diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Antonínu Roubovi a dalším zaměstnancům Škody TRANSPORTATION za odborné rady a informace.

Zvláštní poděkování patří také mojí rodině, která mě podporovala během mého studia.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Podvozky typu Jakobs.....	2
2.1	Charakteristika podvozku	2
2.2	Koncepce podvozků typu Jakobs	3
2.2.1	Rozdělení podvozků podle ukotvení skříně k podvozku.....	3
2.2.2	Rozdělení podvozků podle koncepce sekundárního vypružení	5
2.2.3	Podvozek má jeden pár sekundárních pružin.....	6
3	Regionální jednotky s Jakobsovým podvozkem	7
3.1	Přehled Evropských výrobců Regionálních jednotek s podvozky typu Jakobs	7
3.1.1	Končar – Chorvatsko	8
3.1.2	Stadler – Švýcarsko	9
3.1.3	ŽOS Vrútky – Slovensko	9
	Podvozky typu Jakobs	10
3.2	10
3.2.1	Běžný podvozek Jakobs SF 4000 JLDG firmy Siemens	10
3.2.2	Jakobsův podvozek FlexCompact firmy Bombardier	11
3.2.3	Podvozek FIAT	11
3.3	Kloubové spojení článků.....	12
3.3.1	Kulový spoj	12
4	Volba okrajových podmínek	16
4.1	Průjezd obloukem	16
4.2	Zaoblení lomu sklonu	19
4.3	Převýšení koleje.....	20
4.4	Návrh skříně	21
5	Rozbor sil působících na kloub	23
5.1	Výpočet podélné síly F_x	24
5.2	Výpočet příčné síly F_y	24
5.3	Výpočet svislé síly F_z	25
5.4	Výsledné hodnoty	25
5.5	Výběr z variant podvozků	26
6	Návrh kluzného ložiska.....	27
6.1	Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení „P“	27

6.2	Základní dynamická únosnost.....	28
6.3	Výpočet střední kluzné rychlosti.....	29
6.4	Výpočet životnosti ložiska	30
6.5	Volba ložisek podle dynamického zatížení.....	31
6.6	Výběr z variant	31
7	Konstrukční návrh kloubu.....	33
7.1	Navržené díly	33
7.1.1	Závěsný člen.....	33
7.1.2	Přezka.....	34
7.1.3	Kulový čep	35
7.1.4	Trn	35
7.1.5	Zavěšený člen.....	36
7.2	Koncept podvozku.....	37
7.2.1	Sekundární vypružení	37
7.2.2	Lemniskátový mechanismus	37
7.3	Zatížení lemniskátového mechanismu.....	38
7.3.1	Souhrn zatížení podvozku.....	38
7.4	Omezení kloubu.....	38
7.5	Topologická analýza.....	38
	Příprava simulace (.....	39
7.6	FEM).....	39
7.6.1	Zjemněná síť	40
7.6.2	Šroubové spojení	40
7.6.3	Kontakty.....	41
7.6.4	Zatížení	41
7.6.5	Podpory	42
7.7	Výsledky	42
7.7.1	Celkové posunutí.....	42
7.7.2	Redukované napětí metodou HMM.....	43
7.7.3	Redukovaná napětí jednotlivých dílů	44
7.7.4	Volba materiálu	45
7.7.5	Vyhodnocení výsledků	45
8	Technicko-ekonomické hodnocení.....	47
9	Závěr	48

Obrázek 1 Rozdíl mezi standardními podvozky a podvozkem typu Jakobs [17].....	2
Obrázek 2 Spojení dvěma klouby mezi nápravami	4
Obrázek 3 Podvozek s dvěma klouby - vyráběný kolem roku 1930	4
Obrázek 4 Spojení dvěma klouby vně náprav	4
Obrázek 5 Podvozek mající sekundární vypružení na čelnících	4
Obrázek 6 Spojení jedním kloubem.....	5
Obrázek 7 Ukázka sférického kloubu - boční pohled	5
Obrázek 8 Schéma koncepce podvozku typu Jakobs se dvěma páry sekundárních pružin	5
Obrázek 9 Podvozek typu Jakobs [3].....	6
Obrázek 13 Mapa Evropy – výrobci regionálních jednotek s podvozky typu Jakobs....	8
Obrázek 14 Jednotlivá provedení Končar EMU.....	8
Obrázek 15 Jednotlivá provedení Stadler FLIRT-TRAVERSO	9
Obrázek 16 Regionální jednotka s názvem REGIOMOVER.....	10
Obrázek 17 Podvozek SF 4000 JLDG [2].....	11
Obrázek 18 Bežný podvozek FlexCompact [11].....	11
Obrázek 19 Podvozek FIAT [2, 5].....	12
Obrázek 20 Detail kulového čepu [20]	13
Obrázek 22 Propojení jednotlivých dílů [18]	13
Obrázek 23 Spoj se dvěma kulovými vazbami [13]	14
Obrázek 24 Spoj s křížovým členem [8].....	14
Obrázek 26 Spoj s pryžovou výstelkou [12]	15
Obrázek 27 Železniční úsek na trase Klatovy-Horažďovice.....	17
Obrázek 28 Trojice skříní v oblouku o poloměru 80 [m]	17
Obrázek 29 Trojice podvozků v zaoblení lomu sklonu $R = 1000$ [m].....	20
Obrázek 31 Kinematický obrys vozidla	22
Obrázek 32 Koncept uspořádání skříní	23
Obrázek 33 Pohled na návrh kloubového spojení	33
Obrázek 34 Odlitek závěsného členu.....	34
Obrázek 35 Obrobek Závěsného členu	34
Obrázek 36 Model přezky	35
Obrázek 37 Model kulového čepu	35
Obrázek 38 Obrobek trnu	36
Obrázek 39 Obrobek závěsného členu.....	36

Obrázek 40 Běžný podvozek typu Jakobs.....	37
Obrázek 41 Lemniskátový mechanismus.....	37
Obrázek 42 Topologická analýza.....	39
Obrázek 43 Odlehčení Závěsného členu.....	39
Obrázek 44 Zasíťovaný model	40
Obrázek 45 Zobrazení šroubových spojení	41
Obrázek 46 Zobrazení kontaktních prvků.....	41
Obrázek 47 Zobrazení zatěžujících sil	42
Obrázek 48 Zobrazení podpor a omezení.....	42
Obrázek 49 Výsledné posunutí celého kloubu	43
Obrázek 50 redukované napětí počítané metodou HMM	43
Obrázek 51 Redukované napětí nosného hřídele.....	44
Obrázek 52 Redukované napětí závěsného členu vpravo zmenšený rozsah na 50 MPa	44

Přehled příloh

Graf 1 Natočení skříní v horizontální rovině.....	19
Graf 3 Zúžení skříně (červeně – kinematický průřez skříně).....	22
Graf 4 Závislost y na poměru axiální a radiální síly	27
Graf 5 Závislost y na poměru axiální a radiální síly	28

Přehled tabulek

Tabulka 1 Úhel natočení v horizontální rovině	18
Tabulka 3 Zatížení skříně	23
Tabulka 4 Hodnoty pro výpočet podélné síly.....	24
Tabulka 5 Hodnoty pro výpočet příčné síly	25
Tabulka 6 Hodnoty pro výpočet svislé síly	25
Tabulka 7 Výsledné hodnoty	25
Tabulka 8 Klady a zápory jednotlivých variant.....	26
Tabulka 9 Hodnoty pro výpočet ekvivalentního dynamického zatížení.....	28
Tabulka 10 Hodnoty pro výpočet základní dynamické únosnosti.....	29

Tabulka 11 Hodnoty pro výpočet střední kluzné rychlosti	29
Tabulka 12 Hodnoty pro výpočet základní trvanlivosti ložiska	30
Tabulka 13 Hodnoty pro zjištění počtu výměn ložiska během provozu regionální jednotky	31
Tabulka 14 Hodnoty ložisek odpovídajících dynamickému zatížení	31
Tabulka 15 Výběr z variant	32
Tabulka 17 Zatížení použítá pro výpočet.....	41
Tabulka 18 Zvolený materiál.....	45
Tabulka 19 Vyhodnocení výsledků.....	46

Přehled příloh

Příloha č. 1	DP KKS 18 – 00/1
Příloha č. 2	DP KKS 18 – 01/1

Seznam použitých zkratk

<i>Značka veličiny</i>	<i>Jednotky</i>	<i>Název veličiny</i>
R	[m]	Poloměr oblouku
R_{\min}	[m]	Minimální poloměr oblouku dle normy
R_{\lim}	[m]	Limitní poloměr oblouku dle normy
R_n	[m]	Minimální poloměr oblouku pro vyšší rychlost
R_s	[m]	Minimální zaoblení lomu sklonu
g	$[m \cdot s^{-2}]$	Gravitační zrychlení
$m_{1\max}$	[t]	Maximální hmotnost skříně vloženého vozu
$m_{2\max}$	[t]	Maximální hmotnost skříně čelního vozu
$m_{\check{C}V}$	[t]	Hmotnost čelního vozu
m_{VV}	[t]	Hmotnost vloženého vozu
m_h	[t]	Hmotnost hnacího podvozku
m_j	[t]	Hmotnost Jakobsova podvozku
m_n	[t]	Hmotnost nákladu jednoho vozu
m_1	[t]	Hmotnost skříně vloženého vozu
m_2	[t]	Hmotnost skříně čelního vozu
F_x	[t]	Podélná síla
p+	[-]	Poměrná část hmoty působící na kloub
a_y	$[m/s^2]$	Příčné zrychlení

J_{zz}	[kg.m ²]	Hmotový moment setrvačnosti
x_T	[m]	Vzdálenost těžiště od kloubu
\acute{o}	[rad/s ²]	Úhlové zrychlení kolem těžiště
F_y	[kN]	Příčná síla
F_z	[kN]	Svislá síla
F_a	[kN]	Axiální síla působící na ložisko
F_r	[kN]	Radiální síla působící na ložisko
F_{zb1}	[kN]	Běžné zatížení na nápravu ve svislém směru
F_{zb}	[kN]	Běžné zatížení podvozku ve svislém směru
F_{yb1}	[kN]	Běžné zatížení na nápravu v příčném směru
F_{yb}	[kN]	Běžné zatížení podvozku v příčném směru
F_{xb}	[kN]	Běžné zatížení podvozku v podélném směru
F_{zv}	[kN]	Výjimečné zatížení podvozku ve svislém směru
F_{yv1}	[kN]	Výjimečné zatížení na nápravu v příčném směru
F_{yv}	[kN]	Výjimečné zatížení podvozku v příčném směru
F_{xv}	[kN]	Výjimečné zatížení podvozku v podélném směru
F_x	[kN]	Poloviční zatížení v podélném směru
F_y	[kN]	Poloviční zatížení v příčném směru
F_z	[kN]	Poloviční zatížení ve svislém směru
F_{ξ}	[kN]	Předeřinací síla šroubu
σ_{red}	[MPa]	Redukované napětí podle metody HMH
σ_D	[MPa]	Dovolené napětí
R_e	[MPa]	Mez kluzu
β	[°]	Úhel svíraný skříněmi v horizontální rovině
β_{max}	[°]	Zvolený úhel svíraný skříněmi v horizontální rovině
γ	[°]	Úhel svíraný skříněmi v podélné rovině
γ_{max}	[°]	Zvolený úhel svíraný skříněmi v podélné rovině
δ	[°]	Úhel svíraný skříněmi v příčné rovině
δ_{max}	[°]	Zvolený úhel svíraný skříněmi v příčné rovině
k	[-]	bezpečnost

1 Úvod

Mezi aktuální trendy současnosti patří rychle rozvíjející se doprava a významný nárůst objemu dopravy. Mimo značný nárůst silniční dopravy pro potřeby logistiky zboží je běžné, že jsou silniční prostředky hojně využívány i pro soukromé účely a mobilizace soukromých osob v posledních 20 letech značně vzrostla.

S nárůstem objemu dopravy se významně rozšířil sortiment nabízených silničních prostředků, jejichž jízdní vlastnosti jsou neustále zvyšovány. Lze považovat za běžné, že se na dálnicích pohybujeme rychlostí 130 km/h.

S vyšším tlakem na kvalitu a objem dopravních spojů a logistickou rychlost je nutné zabývat se a rozvíjet nejen silniční dopravu, ale i dopravu kolejovou, která je významnou složkou dopravní infrastruktury a podstatně odlehčuje silniční dopravu. Kolejová vozidla, se již od 18. století podílejí na přepravování nákladů a osob. I v dnešní době je stále nejefektivnější dopravou.

Novodobý rozvoj kolejové dopravy se vyznačuje hlavně vznikem, vývojem a tvorbou jízdních drah k přepravě. Díky tomu dosáhneme vynaložením minimální energie nejlevnějšího přepravního účinku při zajištění vysoké bezpečnosti a spolehlivosti. Jízda je uskutečňována pohybem tuhého dvojkolí po tuhé kolejnici, při minimálním valivém odporu. Kolejová doprava je jedním z dopravních systémů s nejnižší spotřebovanou energií vztaženou na jednotku práce.

Základní myšlenku kolejové dopravy uskutečnil Angličan Nicholas Josseph, která byla postupně zdokonalována. Jednalo se o zlepšení tvaru kol i kolejnice. Tvar kol se změnil z cylindrického až po kuželový, který zajišťuje stabilizaci jízdy vykonáváním sinusového pohybu. Tvar kolejnice byl změněn a přizpůsoben pro větší rychlosti, změnila se geometrie, a to především úhel sklonu kolejnice. V současnosti se stále využívá princip adheze.

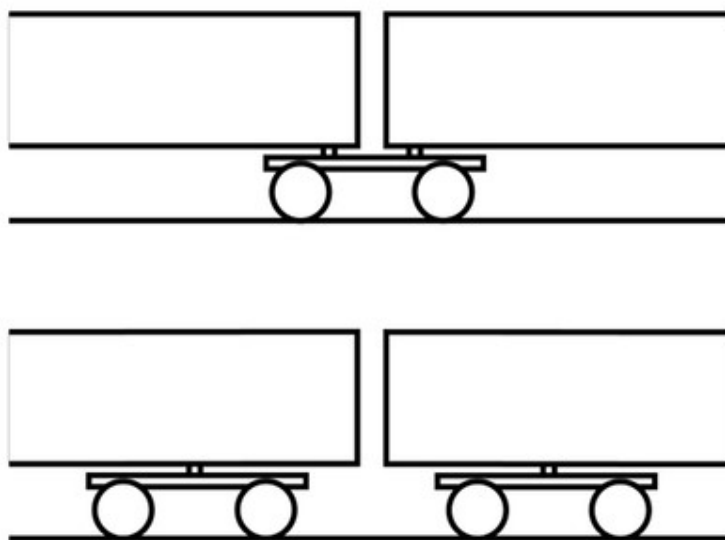
Kromě neustálého zdokonalování vlakových souprav a kolejníc pro zvyšování rychlosti přepravy je nutné urychlit i samotnou výrobu vlaků. Jedním z urychlujících prostředků je výroba jednotek s Jakobsovým podvozkem, které mají nižší počet podvozků. Tím je snižována výrobní cena a doba jejich výroby.

Cílem práce je vytvoření konstrukčního návrhu kloubu, který odpovídá platným předpisům a normám. Jednotlivé díly splňují technologické a výrobní předpisy. Poslední podmínkou je splnění pevnostních a tuhostních předpisů.

2 Podvozky typu Jakobs

Podvozek Jakobs patří mezi železniční podvozky, který je společný pro dvě sousedící vozidlové skříně. Podvozek byl patentován v roce 1901, i přes to je používán při konstrukcích moderních vlaků, jako je TGV firmy Alstom. Tento podvozek sice může být konstrukčně složitější než běžný koncept podvozku, ale to snadno vyrovná snížená pořizovací cena celé jednotky (snížením počtu podvozků). Hlavní důvod používání je prostý. S menším počtem podvozků je vyrobeno více vlaků.

Jak již bylo uvedeno, cílem výrobních firem je výrobu zlevňovat a zrychlovat. Právě podvozky patří mezi komplikované komponenty vlakové jednotky. Mají výrazný dopad na cenu a čas, a právě proto je podvozek Jakobs vhodným řešením. [1]



Obrázek 1 Rozdíl mezi standardními podvozky a podvozkem typu Jakobs [17]

2.1 Charakteristika podvozku

Jakobsův podvozek je typ hnaného nebo běžného podvozku, který podpírá dvě po sobě jdoucí skříně. Podvozek je umístěn přímo pod přechodem mezi dvěma trvale spojenými vagony (skříněmi). Je pojmenován, po železničním inženýrovi Wilhelmovi Jakobsovi (1858-1942), který registroval patent 8. srpna 1901.

Tento typ podvozků se využívá především u článkových regionálních vozidel, vysokorychlostních vlaků ICE a TGV, využívá se i u některých moderních motorových a elektrických jednotek.

Podvozky jsou poměrně těžké, proto je snaha o úsporu hmotnosti. Hlavní výhodou těchto podvozků je právě snížení hmotnosti, dobré jízdní vlastnosti, snížení výšky podlahy kolejového vozidla nad temenem kolejnice, lepší průchodnost mezi jednotlivými články vozu. Úspora každého podvozku vede ke snížení počtu kol, což opět omezuje konstrukční možnou hmotnost vozu ve srovnání se standardními typy vozů. Nevýhodou vozů Jakobs je jejich složitá konstrukce. Vozidla mohou být oddělena pouze v depu, zatímco v provozu fungují jako neoddělitelná jednotka. Při rozdělení skříní (vagonů) musí být použit pomocný

podvozek. V případě poruchy je obtížné vyvázání podvozku z vozidla, což je dost časově a finančně náročné.

Základem podvozku je svařený rám, který je umístěn nad ložiskové domky. Může být ve tvaru otevřeného nebo uzavřeného „H“. Vedení je zajištěno pomocí vodících čepů nebo ojnic. Celý podvozek má zpravidla dvě vypružení. Primární je zajištěno vinutými pružinami a sekundární je zajištěno pomocí vzduchových měchů. Ty zajišťují větší jízdní komfort pro posádku a udržují konstantní výšku skříně. Přenos podélných sil mezi skříněmi a jejich spojení je uskutečněno pomocí dvou svislých čepů. Ty jsou umístěny mezi hlavním příčnickem a osou dvojkolí. Brzdy bývají špalíkové nebo v současné době kotoučové. Kotouče mohou být umístěny na nápravě nebo se umísťují z důvodu úspory nad kola. [1,2]

2.2 Koncepce podvozků typu Jakobs

Za dobou od patentování panem Wilhelmem Jakobsem uplynulo mnoho let, a proto vzniklo mnoho koncepčních variant a modifikací tohoto podvozku. Koncepce podvozku jsou rozděleny do několika kategorií:

Rozdělení podvozků podle pohonu:

- Podvozek hnací (trakční)
- Podvozek běžný

Rozdělení podvozků podle ukotvení skříně k podvozku:

- Jedním kloubem
- Dvěma klouby mezi nápravami
- Dvěma klouby vně náprav

Rozdělení podvozků podle počtu náprav:

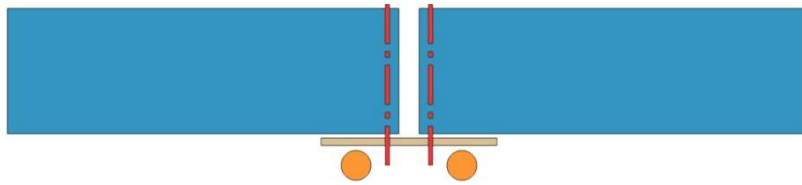
- Dvounápravový podvozek
- Třínápravový podvozek

Rozdělení podvozků podle koncepce sekundárního vypružení

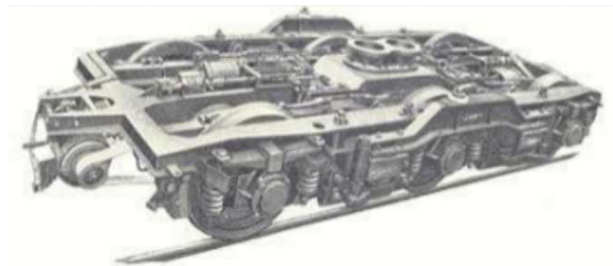
- Individuální odpružení skříní
- Společné odpružení pro sousední skříně

2.2.1 Rozdělení podvozků podle ukotvení skříně k podvozku

Vazba podvozku a skříní pomocí dvou kloubů mezi nápravami je typ, jenž disponuje především komfortní průchodností pasažérů mezi skříněmi vozidla. Jelikož jsou otočné čepy blízko sebe, nedochází k výraznému příčnému pohybu skříní vůči sobě. Nedostatkem tohoto konceptu je vyšší náchylnost na kinematický profil průjezdu. Je zapotřebí užší skříně, než je například u běžného osobního vagonu se dvěma otočnými podvozky. (Toto tvrzení platí pokud porovnáme stejně dlouhé vagony)

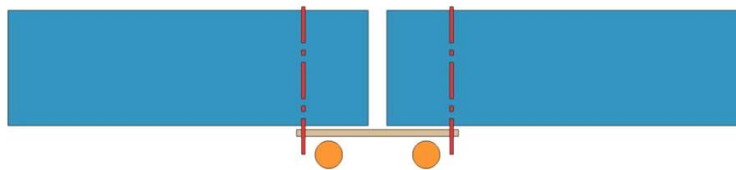


Obrázek 2 Spojení dvěma klouby mezi nápravami

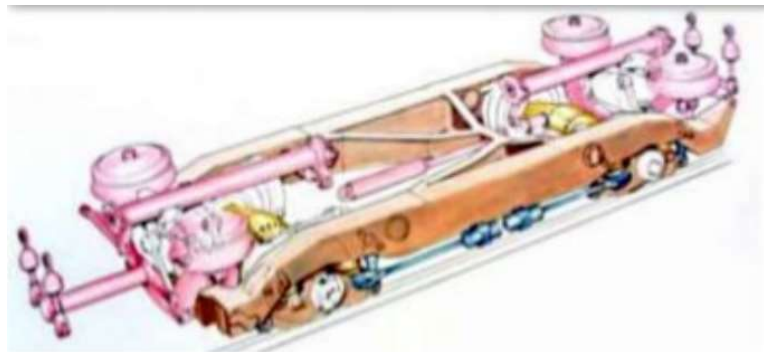


Obrázek 3 Podvozek s dvěma klouby - vyráběný kolem roku 1930

Vazba podvozku a skříní pomocí dvou kloubů vně náprav je typ, jenž disponuje lepším využitím kinematického profil průjezdu (je povolena širší skříně). Jelikož jsou otočné čepy daleko od sebe, dochází k výraznému příčnému pohybu skříní vůči sobě (snížení komfortu cestujících při průchodu mezi skříněmi za jízdy). Tento koncept uložení se v oblouku chová podobně jako vagony se dvěma otočnými podvozky.

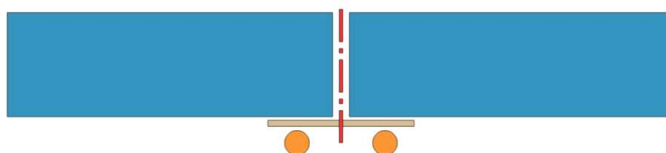


Obrázek 4 Spojení dvěma klouby vně náprav

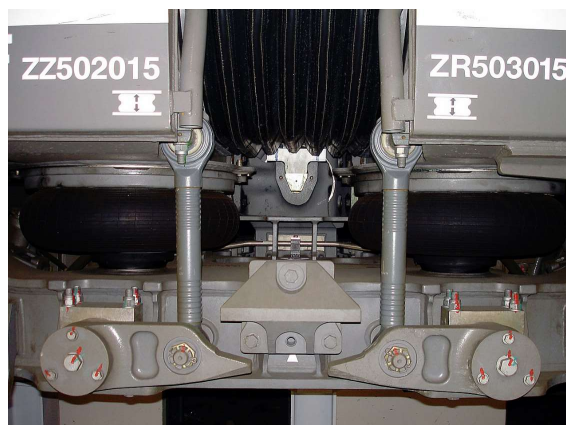


Obrázek 5 Podvozek mající sekundární vypružení na čelnicích

Poslední typ s jedním kloubem je v dnešní době nejvíce používaný. Skříně jsou spojeny sférickým kloubem. Jedná se o koncept, jehož výrobní náklady převyšují předchozí typy. To ale vyváží jeho výhody. Mezi ně patří přenos tažné síly mezi skříněmi. Komfortní přechod cestujících mezi skříněmi (za jízdy).



Obrázek 6 Spojení jedním kloubem

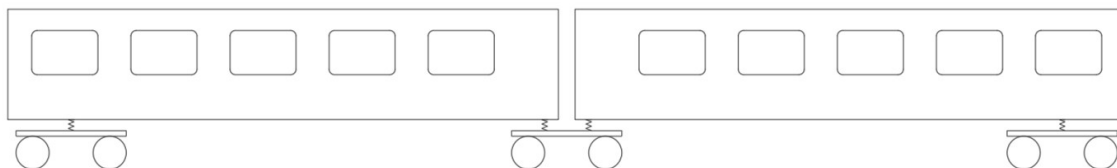


Obrázek 7 Ukázka sférického kloubu - boční pohled

2.2.2 Rozdělení podvozků podle koncepce sekundárního vypružení

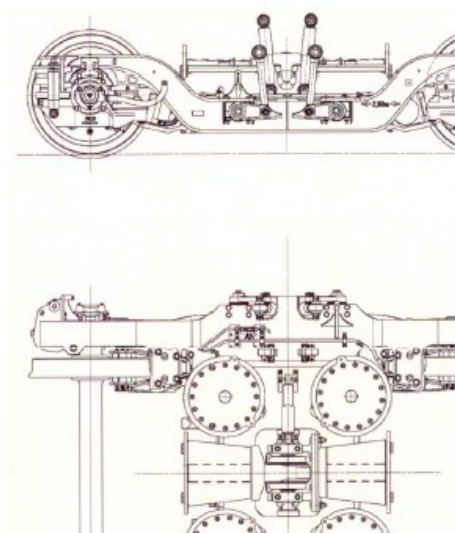
- **Podvozek má dva páry sekundárních pružin**

Tento koncept je nejběžněji používaný. Obě skříně jsou stejně podepřeny. Každá skříň má na podvozku svojí dvojici sekundárních pružin. Jedná se tedy o souměrný koncept. Obě skříně jsou téměř stejné, jsou jen zrcadlově pootočené.



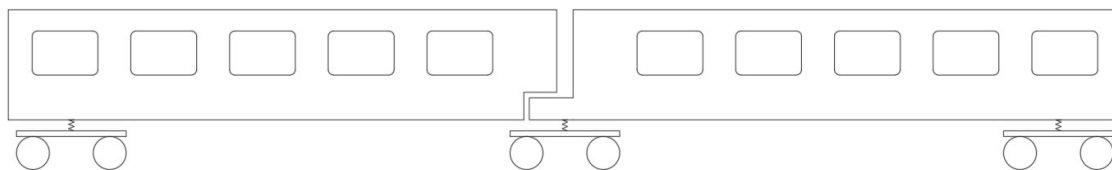
Obrázek 8 Schéma koncepce podvozku typu Jakobs se dvěma páry sekundárních pružin

Podvozek typu Jakobs lze poznat na první pohled tím, že má dva páry sekundárních pružin, avšak nemusí to být nutná podmínka. Na Obrázku 8 jsou v půdorysném pohledu vidět příruby pro vzduchové měchy sekundárního vypružení.



Obrázek 9 Podvozek typu Jakobs [3]

2.2.3 Podvozek má jeden pár sekundárních pružin



Obrázek 10 Schéma koncepce podvozku typu Jakobs se jedním párem sekundárních pružin

Dalším typ je používán například na regionální jednotce RegioShark od polského výrobce Pesa. Tato jednotka má propojenou jednu skříň se sekundárním vypružením. Sekundární vypružení je provedeno vzduchovými měchy. Na tuto skříň je zavěšena skříň druhá. [1]



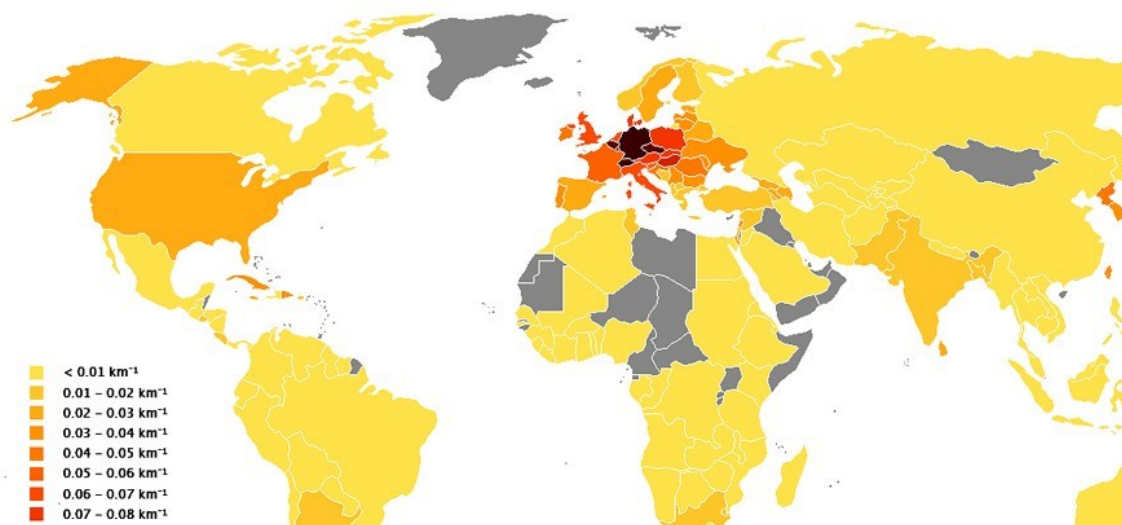
Obrázek 11 Pohled na regionální jednotku RegioShark značky Pesa [10]

3 Regionální jednotky s Jakobsovým podvozkem

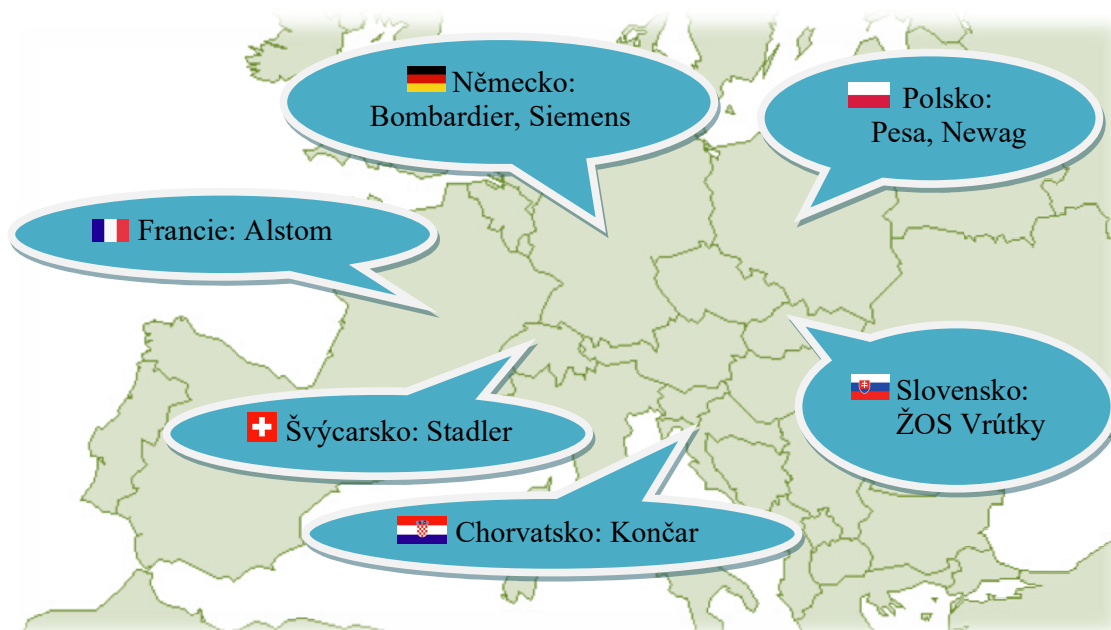
V dnešní době se regionální jednotky více dostávají na trh. Výrobci kolejových vozidel stále častěji nabízejí regionální jednotky s pevně daným počtem vozů. Soupravy jezdí na předem určené trase s konstantním přepravním výkonem. V případě potřeby vyšší kapacity se spřáhnou dvě soupravy k sobě. S tímto trendem se jeví jako vhodná alternativa jednotka s Jakobovým podvozkem.

3.1 Přehled Evropských výrobců Regionálních jednotek s podvozkem typu Jakobs

Evropa je druhý kontinent na světě s nejvyšší hustotou obyvatel. S tím souvisí i fakt, že má Evropa nejhustější železniční síť na světě, což je vidět z mapy na Obrázku 12. Z toho vyplývá, že Evropský trh nejvhodnější pro produkci regionálních jednotek.



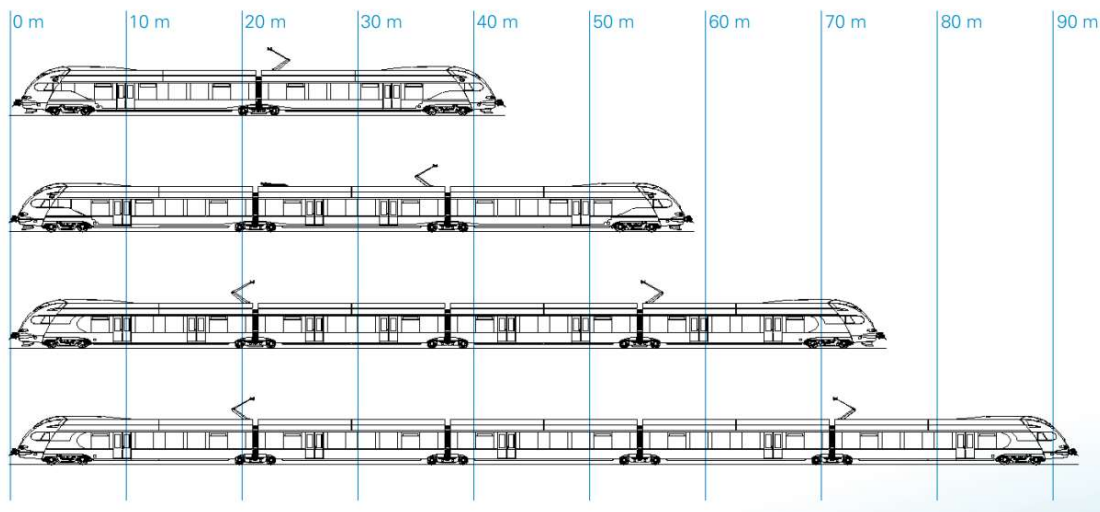
Obrázek 12 Hustota železniční sítě na mapě světa [23]



Obrázek 13 Mapa Evropy – výrobci regionálních jednotek s podvozky typu Jakobs

3.1.1 Končar – Chorvatsko

Regionální jednotka s názvem Končar EMU (electric multiple unit) je vyráběna v několika provedení. [22]



Obrázek 14 Jednotlivá provedení Končar EMU

Hlavní specifikace:

- Rozchod: 1435 mm
- Pohon podvozků: Bo'2'2'2'Bo'
- Kapacita míst k sezení: 220
- Kapacita míst ke stání (4 os./m²): 300

- Výška podlahy: 600 mm
- Šířka vozidla: 2885 mm
- Výška vozidla: 4280 mm
- Maximální hmotnost: 172 t
- Rozvor hnacího podvozku: 2700 mm
- Rozvor běžného podvozku: 2700 mm
- Maximální rychlost: 160 km/h

3.1.2 Stadler – Švýcarsko

Regionální jednotka s názvem Stadler FLIRT-TRAVERSO je vyráběna ve 2 provedení. Čtyř a osmivozová jednopodlažní jednotka. [21]



Obrázek 15 Jednotlivá provedení Stadler FLIRT-TRAVERSO

Hlavní specifikace:

- Rozchod: 1435 mm
- Pohon podvozků: Bo'2'2'2'Bo'
- Kapacita míst k sezení: 197
- Kapacita míst ke stání (4 os./m²): 225
- Výška podlahy: 600 mm
- Šířka vozidla: 2820 mm
- Výška vozidla: 4120 mm
- Rozvor hnacího podvozku: 2700 mm
- Rozvor běžného podvozku: 2700 mm
- Maximální rychlost: 160 km/h

3.1.3 ŽOS Vrútky – Slovensko

Regionální jednotka s názvem REGIOMOVER je 3-článková souprava s dieselhydraulickým pohonem



Obrázek 16 Regionální jednotka s názvem REGIOMOVER [24]

Hlavní specifikace:

- Rozchod: 1435 mm
- Pohon podvozků: Bo'2'2'Bo'
- Kapacita míst k sezení: 168
- Šířka vozidla: 2849 mm
- Výška vozidla: 4300 mm
- Rozvor hnacího podvozku: 2600 mm
- Rozvor běžného podvozku: 2800 mm
- Maximální rychlost: 140 km/h [25]

3.2 Podvozky typu Jakobs

3.2.1 Běžný podvozek Jakobs SF 4000 JLDG firmy Siemens

Podvozek se využívá v kombinaci s trakčním podvozkem SF 4000 TDG. Společně tvoří pojezd regionálního vozidla Desiro. Oba podvozky mají shodný rozvor 2650 mm a průměr dvojkolí 770 mm. Maximální zatížení na nápravu je 16 t. Celková hmotnost je 6,2 t a maximální rychlost je 120 km/h.

Podvozek má primární i sekundární vypružení. Primární vypružení a vedení nápravového ložiska dvojkolí je provedeno dvěma pryžo-kovovými silentbloky. Sekundární vypružení zajišťují čtyři pneumatické pružiny. Obě vypružení jsou vybavena hydraulickými tlumiči kmitů. Nesení sousední vozidlové skříně je pomocí ocelových nosníků, které jsou umístěny nad pneumatickými pružinami. Těmi je zajištěna výška podlahy nad temenem kolejnice. Ta je udržovaná ve stejné úrovni, jako je trakční podvozek.[1,7]



Obrázek 17 Podvozek SF 4000 JLDG [2]

3.2.2 Jakobsův podvozek FlexCompact firmy Bombardier

Tento podvozek se využívá u novodobých regionálních vozidel. Používá se například u regionálního vozidla TALENT. Podvozek obsahuje dvojkolí o průměru 840/770 mm. Rozvor podvozku je 2 800 mm, zatížení na nápravu 16,3 t. Celková hmotnost je 5,3 t a maximální rychlost je 160 km/h. Brzdění je zajištěno integrovanými brzdovými kotouči.

Primární vypružení a vedení nápravového ložiska je uskutečněno pružnými elastomerovými prvky, které jsou doplněné o hydraulické tlumiče. Rám je svařený do tvaru H a má torzně-elastické vlastnosti. Ty zajišťují bezpečnost proti vykolejení. Hlavní příčník je položen v minimální vzdálenosti od temene kolejnice, čímž se docílí výrazného snížení podlahy. Sekundární vypružení je provedeno čtyřmi pneumatickými pružinami, které se nacházejí ve vzdálenosti 615 mm od temene kolejnice. Tyto pružiny nesou sousední vůz. Pro zajištění bezpečnosti jsou pneumatické pružiny zajištěny ještě dvěma nouzovými pryžovými pružinami. Podvozek obsahuje i torzní stabilizátor, který redukuje naklápění skříně. [1,7]

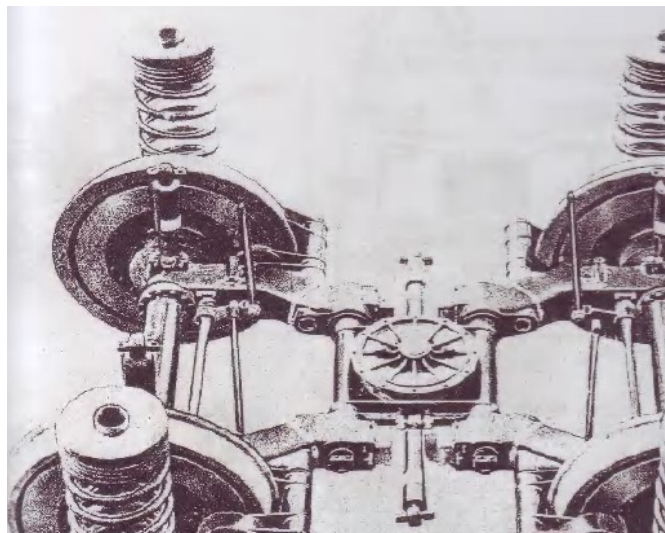


Obrázek 18 Bežný podvozek FlexCompact [11]

3.2.3 Podvozek FIAT

Podvozek Fiat je určen pro vysoké rychlosti tj. 300 km/h a více. Všechna kola jsou uložena nezávisle na nápravách dvojkolí. Vypružení je tzv. flexicoil, které zajišťuje vypružení skříně ve třech souřadných osách. Rám podvozku je vytvořen ze čtyř zrcadlově symetrických

celků. Ty jsou spojeny uprostřed podvozku pevnou integrální částí, která je vytvořená z lehkých slitin. Vodicí ramena slouží k vedení neotáčejících se náprav dvojkolí. Ramena jsou na otočných čepch, které jsou uloženy v pryžových silentblocích. Tím se docílí radiálního stavění dvojkolí v oblouku koleje, což má za následek snížení úhlu náběhu kol dvojkolí oproti kolejnici a nedojde tedy k prokluzu kol. Rovnoběžně s nápravou je umístěn torzní stabilizátor, který zlepšuje jízdní stabilitu v oblouku. Větší stability je dosaženo zmenšením úhlu naklápění skříně. Podvozek obsahuje dva příčné a čtyři svislé tlumiče, které zabráňují rozkmitání. Oproti běžným rámovým podvozkům má tato varianta nižší jízdní odpor a opotřebení. [1,4]



Obrázek 19 Podvozek FIAT [2, 5]

3.3 Kloubové spojení článků

Kloub je zařízení, které umožňuje konstrukčním vazbám rotační stupně volnosti. Existuje velké množství typů těchto kloubů. Některé z nich jsou prezentovány v následujících kapitolách

3.3.1 Kulový spoj

Spoj kulovou vazbou

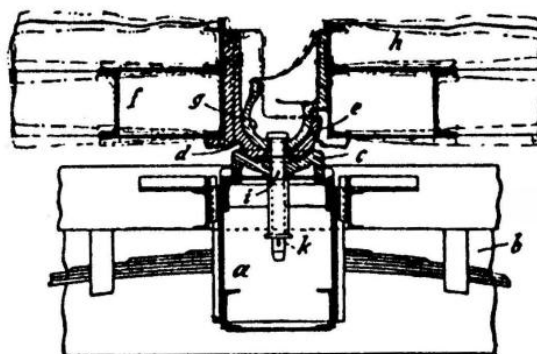
Kloub se skládá ze tří hlavních dílů. Každý díl je upevněn samostatně k jiné části vozu. Kulový čep je připevněn na rám skříně vedeného vozu, viz Obrázek 20. Kulová jamka je upevněna rovněž na rám skříně, ale na vodicím voze, viz Obrázek 19. Tato do sebe zapadající dvojice dílů je usazena do domečku, namontovaném na podvozku. Soudržnost dílů zajišťuje šroub ukotvený v rámu podvozku. Uvedený mechanismus zajišťuje všem nezávislým hmotám (skřín 1, skřín 2, podvozek) rotační stupně volnosti ve všech osách. [4]



Obrázek 20 Detail kulového čepu [20]



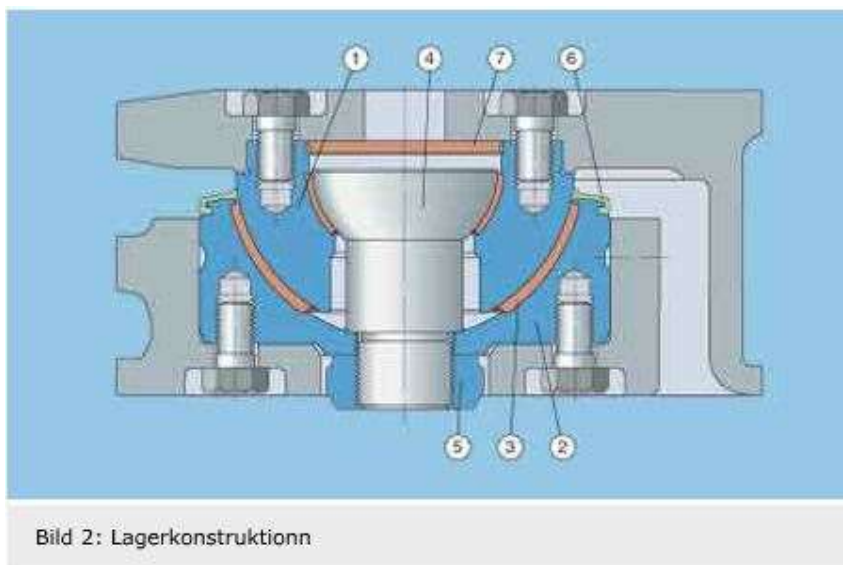
Obrázek 21 Detail kulového sedla [19]



Obrázek 22 Propojení jednotlivých dílů [18]

Spoj se dvěma kulovými vazbami

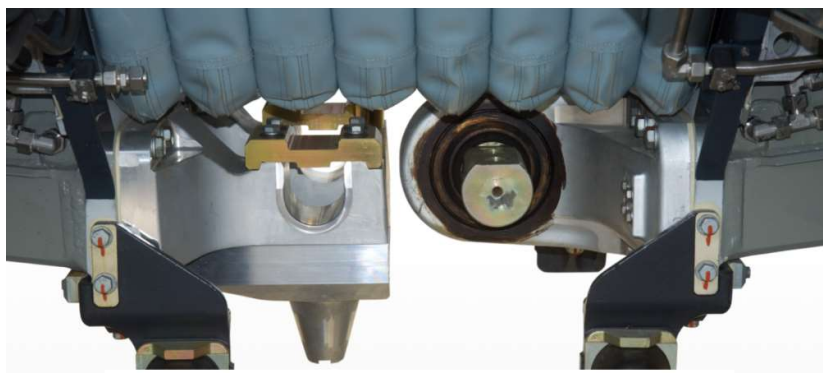
Kloub opatřený dvěma kulovými plochami, jež mají společný střed otáčení. Na Obrázku 23 je vyobrazen kloub nabízený firmou SKF. Hlavní nevýhodou tohoto kloubu jsou jeho vysoké výrobní náklady (pořizovací cena). Výhodou je malý zástavbový prostor.



Obrázek 23 Spoj se dvěma kulovými vazbami [13]

Spoj s křížovým členem

Tento typ je dnes jedním z nejpoužívanějších. Mezi jeho hlavní přednosti patří jednoduchost konstrukce, jednoduchá údržba, snadná demontáž. Kloub s křížovým členem můžeme najít u jednotky Stadler FLIRT

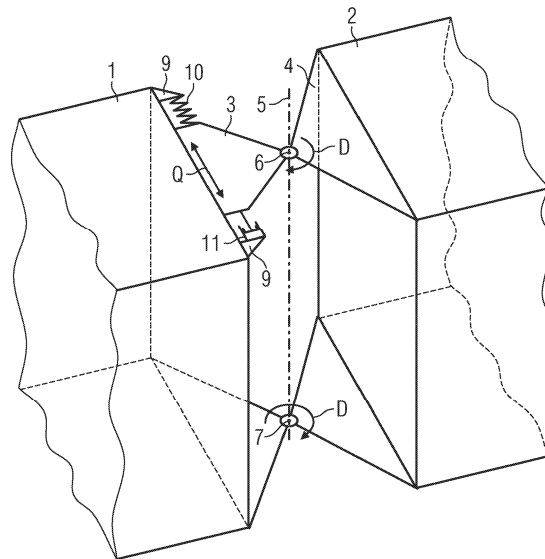


Obrázek 24 Spoj s křížovým členem [8]

Spojení dvěma klouby

Je speciální vazba dvou skříní, kde se kromě velkého rotačního rozsahu v horizontální rovině připouští i drobné torzní výkyvy v příčné a podélné rovině (Obrázek 25). Spoj má předepsanou tuhost. To znamená, že je uložen např. v pryžovém pouzdře. (viz 4.1.5)

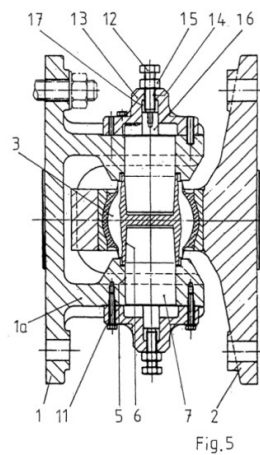
FIG 1



Obrázek 25 Spojení dvěma klouby [14]

Spoj s pryžovou výstelkou

Tento typ není klasický nosný (tažný), ale spíš pomocný kloub. Většinou se umísťuje do horní části skříně nad průchozí tunel. Má za úkol vymežovat torzní výkyvy skříní vůči sobě. Bez pryžové výstelky by nebyl funkční. Ta mu umožňuje nepatrné posuvné pohyby, které jsou pro jeho funkci nezbytné.



Obrázek 26 Spoj s pryžovou výstelkou [12]

4 Volba okrajových podmínek

Každý kloub musí umožnit různé pohyby, chcete-li různé stupně volnosti. Tyto stupně volnosti umožňují dvou sousedícím skříním se vůči sobě pohybovat. Existuje 6 stupňů volnosti, a to posuv v osách x, y, z a rotace podle os x, y, z. Pohyby skříní vůči sobě je třeba vyšetřit a následně jim předepsat konstrukční omezení. Posuvné pohyby se většinou omezují na minimum, jelikož není potřeba, aby se vagony vůči sobě posouvali. Tyto minimální pohyby se řeší mimo kloub v podobě například lemniskátového mechanismu, který umožňuje vagonu malý pohyb do stran. Ten je omezen pryžovými zarážkami. Rotační pohyb však musí být zaručen. Vlaková jednotka musí překonávat různá převýšení a jejich zlomy. Dále projíždí různými oblouky a mimo to projíždí úseky, kde se mění boční sklon kolejnic vůči sobě. Podle těchto kritérií můžeme zjistit omezení kloubu při kvazistatické jízdě (při jízdě bez dynamických účinků). [1,8]

4.1 Průjezd obloukem

Minimální poloměr oblouku (dle vyhlášky 177/1995 Sb.)

- Regionální dráhy:

$$R_{\min} = 300 \text{ m pro } v > 50 \text{ km.h-1}$$

$$R_{\min} = 190 \text{ m pro } v \leq 50 \text{ km.h-1}$$

Minimální poloměr oblouku (dle ČSN 73 6360-1/2008)

- Regionální dráhy:

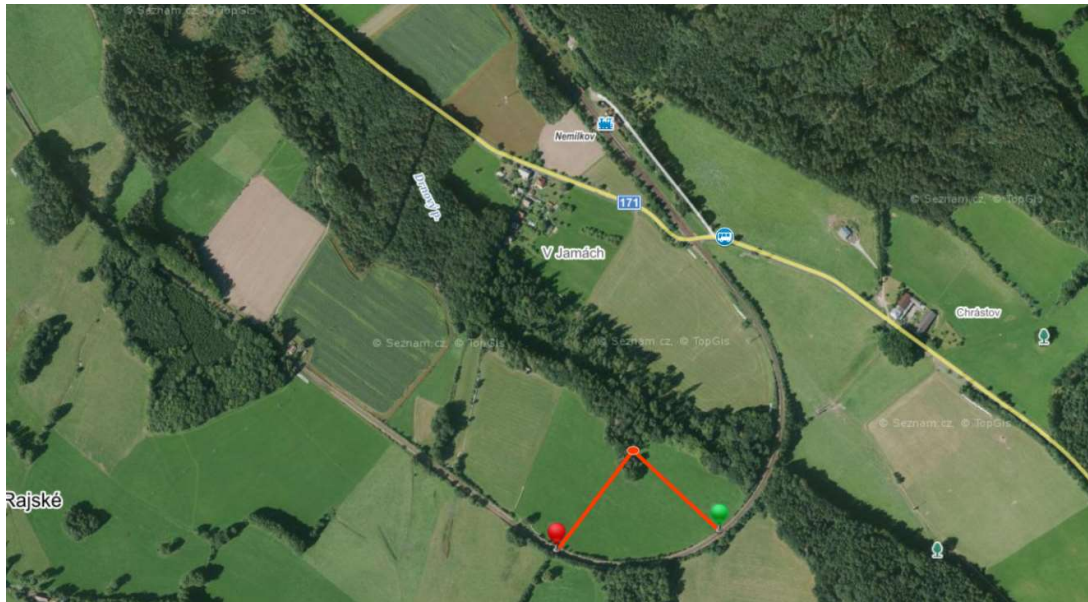
$$R_n = 300 \text{ m}$$

$$R_{\lim} = 190 \text{ m}$$

$$R_{\min} = 150 \text{ m}$$

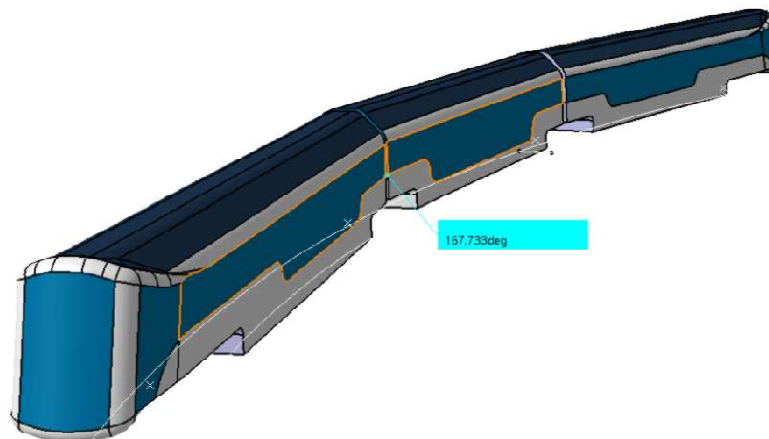
V Plzeňském areálu Škoda je trať s minimálním poloměrem 80 m. Na trati smí vozidla jezdit pouze omezenou rychlostí, aby v takto kritickém místě nedošlo k vykolejení. Rychlost vozidla nesmí vyvolávat dynamické účinky.

Na obrázku níže je vyobrazena situace železničního oblouku, o kterém se říká, že je nejprudší ve střední Evropě. Jedná se o úsek nedaleko železniční zastávky Nemilkov/Velhartice, na trati Klatovy-Horažďovice. Pomocí aplikace Mapy.cz byl změřen přibližný poloměr 193 m. Tuto hodnotu lze brát pouze jako odhad, avšak přibližuje se minimu stanoveného normou, a proto lze předpokládat, že je i reálná. [15, 16]



Obrázek 27 Železniční úsek na trase Klatovy-Horažďovice

Pro návrh kloubu byla provedena analýza chování skříní při průjezdu obloukem. Pomocí modelů vložených do různých situací (různých poloměrů oblouku), byl odměřen úhel mezi skříněmi při různých délkách mezi čepy (viz Obrázek 28). Výsledky měření byly zaznamenány do Tabulky 1.



Obrázek 28 Trojice skříní v oblouku o poloměru 80 [m]

Poloměr oblouku	Úhel natočení v horizontální rovině		
	$\beta(L=17)$	$\beta(L=18)$	$\beta(L=20)$
50	19,6	20,7	23,1
60	16,3	17,3	19,2
70	14,0	14,8	16,4

80	12,2	12,9	14,4
100	9,8	10,3	11,5
120	8,1	8,6	9,6
140	7,0	7,4	8,2
160	6,1	6,4	7,2
180	5,4	5,7	6,4
190	5,1	5,4	6,0
200	4,9	5,2	5,7
220	4,4	4,7	5,2
240	4,1	4,3	4,8
250	3,9	4,1	4,6
300	3,2	3,4	3,8
350	2,8	2,9	3,3
400	2,4	2,6	2,9
450	2,2	2,3	2,5
500	1,9	2,1	2,3

Tabulka 1 Úhel natočení v horizontální rovině

Hodnoty z tabulky byly zaneseny do Grafu 1. Zajímavá je část v oblasti poloměru $R = (80 \div 190)$ [m]. Oblast lze považovat za zlomovou. Dochází zde k výraznému lomu průběhové křivky. Dá se říci, že v oblasti kde je $R < 190$ [m] roste úhel mezi skříněmi rychleji, proto je normou doporučen minimální poloměr 190 [m].

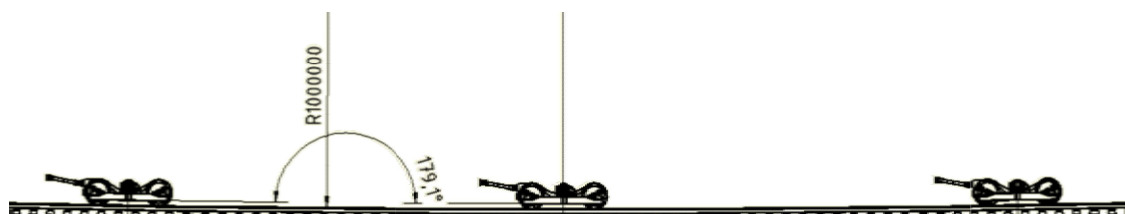


Graf 1 Natočení skříní v horizontální rovině

Pro poloměr $R = 80$ [m] vyšel úhel $\beta = 11,4$ [°]. Tento výsledek platí za předpokladu, že pohyb regionální jednotky je kvazistatický. Kloub musí umožnit větší natočení, protože při jízdě vznikají dynamické účinky, které úhel zvětšují. Jedná se například o odstředivou sílu, náhodné rázy od nerovností, síly vznikající od vrtivého pohybu podvozku. O maximální úhel kloubu se starají nárazky, které zabraňují vzpříčení kloubu a jeho poškození. Pro konstrukci kloubu byl zvolen maximální úhel $\beta_{\max} = 15$ [°]. [15,16]

4.2 Zaoblení lomu sklonu

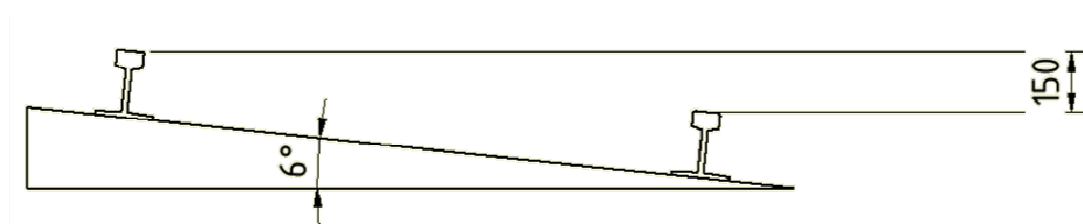
Platné referenční systémy jsou stanoveny nařízením vlády č. 430/2006 Sb. Z těchto zdrojů je zřejmé že minimální zaoblení lomu sklonu $R_s = 1000$ [m]. Na obrázku 19 je vyobrazena situace trojice podvozků v samotném lomu a lze vyčíst, že úhel, který mezi sebou podvozky svírají, se blíží k nule. Úhel lomu $\gamma = 0,9$ [°]. Opět platí, že tento stav nastane pouze při kvazistatické jízdě. K úhlu je třeba přičíst úhel vznikající pružením primárního a sekundárního pružení. Pro konstrukci kloubu byl zvolen maximální úhel $\gamma_{\max} = 2$ [°]. [16,17]

Obrázek 29 Trojice podvozků v zaoblení lomu sklonu $R = 1000$ [m]

4.3 Převýšení koleje

Definice převýšení koleje dle ČSN 73 6360-1. Převýšení koleje je měřeno v příčném řezu trati a platí pro rozchod kolejí 1435 [mm]. Hodnota převýšení musí být menší nebo rovna 150 mm (viz Obrázek 20). V obloucích s poloměrem $R < 275$ [m] musí být menší než výsledná hodnota následujícího vzorce:

$$\frac{R - 50}{1,5}$$



Obrázek 30 Převýšení koleje

$S = 1500$ [mm]

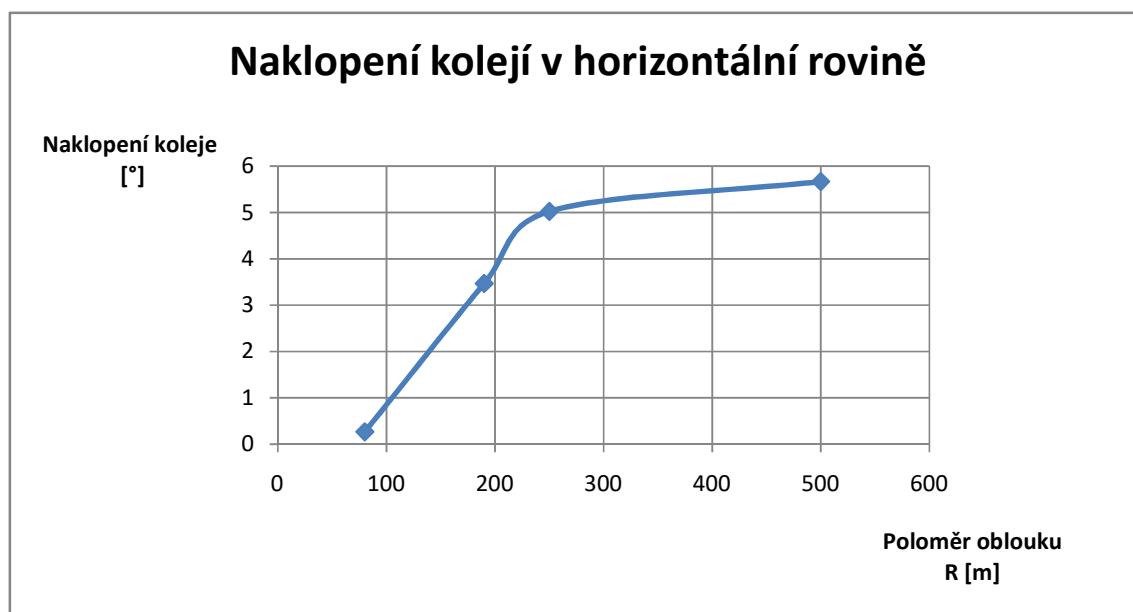
$$D = \frac{R - 50}{1,5} = \frac{250 - 50}{1,5} = 133,3 \text{ [mm]}$$

$$\delta = \frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{D}{S}\right)} = \frac{1}{\operatorname{tg}\left(\frac{133,3}{1500}\right)} = 5,0 \text{ [}^\circ\text{]}$$

Po dosazení do vzorce vyšly hodnoty, které jsou zapsány do tabulky 2. Výsledná data vykreslená v Grafu 2 ukazují, že čím je menší poloměr oblouku, tím menší je převýšení koleje. Zabrání se tak většímu namáhání kloubu v ostrých obloucích trati. Větší převýšení koleje však umožňuje vlakům projíždět těmito úseky vyšší rychlostí. Znamená to, že v obloucích $R < 275$ [m] je třeba výrazně snížit rychlost, aby nedošlo k překlopení skříně.[13]

Poloměr oblouku	Úhel natočení kolejí vůči horizontální rovině
R	δ
[m]	[°]
500	5,7
250	5,0
190	3,5
80	0,3

Tabulka 2 úhel natočení v příčné rovině

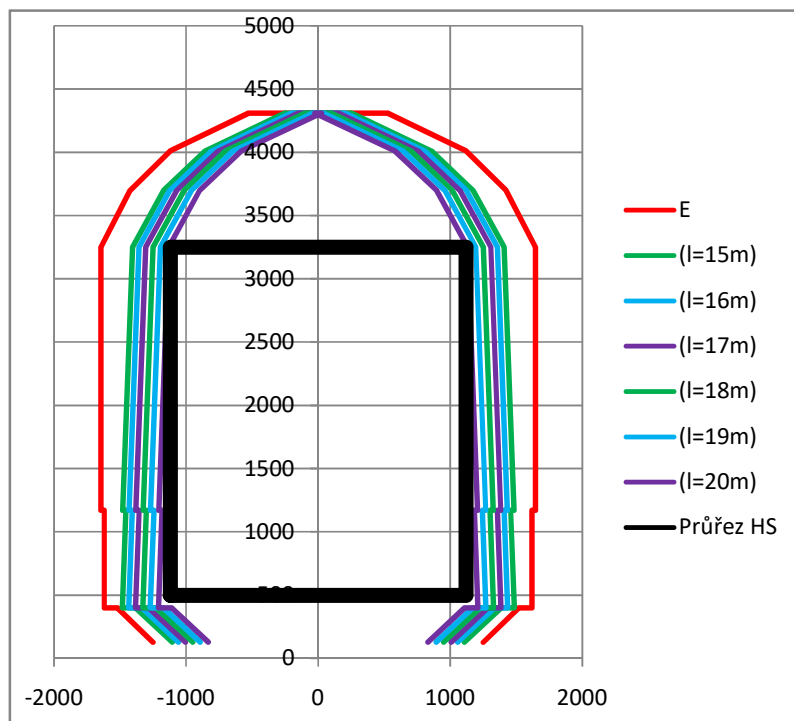
Graf 2 Naklopení kolejí v horizontální rovině
[15,16]

Tyto úhlové hodnoty nikdy nenastanou na kloubovém uložení díky pozvolnému náběhu kolejí do příčného převýšení. Proto lze uvažovat jen úhel naklopení, který vznikne stlačováním a odlehčováním sekundárního vypružení. Tento úhel volím 3,5 [°]

4.4 Návrh skříně

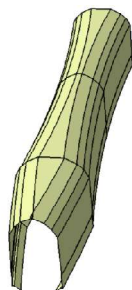
Pro návrh skříně potřebujeme znát některé souvislosti. Například jedou ze základních podmínek (objednávek zákazníka) je průjezdnost obloukem. Ta byla zvolena na poloměr 80

m. Z grafu 1 lze vyčíst, že pro R80 je nejvhodnější co nejkratší délka mezi otočnými čepy (klouby).



Graf 3 Zúžení skříně (červeně – kinematický průřez skříně)

Proto byla vzdálenost „l“ zvolena 17 m. Kloub by při této konfiguraci neměl přesáhnout úhel natočení 15° , což odpovídá. Dalším omezením skříně je kinematický obrys vozidla. Zde je třeba si uvědomit, že s prodlužující se vzdáleností mezi čepy se zužuje šířka skříně. V teoretickém případě by skříň mohla vypadat takto, mezi otočnými čepy je zúžená a kolem otočných čepů je neměnná. Jenže tato hypotéza je v rozporu aerodynamikou vozidla. Proto vždy uvažujeme nejvíce zúžený profil, tedy přesně uprostřed mezi otočnými čepy. A ten použijeme po celé délce skříně.



Obrázek 31 Kinematický obrys vozidla

Pokud vyšla šířka užší, než 2800 mm doporučuje se zachovat minimální šířku skříně. Tedy 2800 mm s tím, že bude dodatek v podmínkách provozu. Obloukem R80 lze projet za předpokladu, že nebude dodržen kinematický obrys.

5 Rozbor sil působících na kloub

Cílem je získat hodnoty působících sil na meziskříňové spojení. Následnými výpočty z normy ČSN EN 12663-1+A1 dostaneme výsledky složek sil v kloubu. Pro zahrnutí modularity vlakové jednotky jsou výpočty směřovány pro čelní a vložený vůz.

Jedním ze směrodatných parametrů jsou hmotnosti skříně. Ty lze vypočítat z nápravového zatížení, které bylo zvoleno 17 t na nápravu.



Obrázek 32 Koncept uspořádání skříní

Zatížení na nápravu	17 t	17 t	17 t	17 t	17 t	17 t	17 t	17 t
	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
	Čelní vůz			Vložený vůz			Čelní vůz	
Celková hmotnost vozu	51 t			34 t			51 t	

Tabulka 3 Zatížení skříně

Abychom zjistili hmotnost samotných skříní, je třeba oddělit dílčí hmotnosti podvozků a nákladu (hmotnosti cestujících).

m_{1max} - Maximální hmotnost skříně vloženého vozu

m_{2max} - Maximální hmotnost skříně čelního vozu

$m_{čV}$ - Hmotnost čelního vozu

m_{VV} - Hmotnost vloženého vozu

m_h - Hmotnost hnacího podvozku (na základě zkušeností přibližně 7,5 [t])

m_j - Hmotnost Jakobsova podvozku (na základě zkušeností přibližně 6,3 [t])

m_n - Hmotnost nákladu jednoho vozu (přibližně 8 [t] → 114 cestujících)

- Maximální hmotnost skříně čelního vozu:

$$m_{2max} = m_{čV} - m_h - \frac{m_j}{2} - m_n = 51 - 7,5 - \frac{6,3}{2} - 8 = 32,3 [t]$$

- Maximální hmotnost skříně vloženého vozu:

$$m_{1max} = m_{VV} - \frac{m_j}{2} - \frac{m_j}{2} - m_n = 34 - \frac{6,3}{2} - \frac{6,3}{2} - 8 = 19,7 [t]$$

Výsledné hmotnosti skříní jsou považovány jako mezní a neměli by být překročeny, avšak mohou být i nižší. Pro další výpočty byly zvoleny tyto hodnoty:

$$m_1 = 19 [t]$$

$$m_2 = 25,5 [t]$$

5.1 Výpočet podélné síly F_x

Podélná síla působí na meziskříňové spojení ve směru jízdy. Norma ČSN EN 12663-1+A1 uvádí, že pro výpočet podélné síly je zapotřebí znát hmotnost skříně a k ní připojených podvozků. Výpočet podélné síly regionálních jednotek je dán následujícími vzorci:

- Podélná síla pro čelní vůz

$$F_x = 3 \cdot g \cdot (m_2 + m_h + m_j)$$

- Podélná síla pro vložený vůz

$$F_x = 3 \cdot g \cdot (m_1 + 2 \cdot m_j)$$

Hmotnosti uvedené v následující tabulce, byly zvoleny v předchozí kapitole (bývají také základem objednávky zákazníka – dopravce). Konečné hmotnosti se mohou od těchto lišit (vlivem změn při návrhu). Pokud se tyto hodnoty během konstrukčního návrhu změní s výraznou odchylkou, je zapotřebí výpočet opakovat.

	Hmotnost skříně vloženého vozu	Hmotnost skříně čelního vozu	Hmotnost hnacího podvozku	Hmotnost Jakobsova podvozku	Podélná síla
	m_1	m_2	m_h	m_j	F_x
	[t]	[t]	[t]	[t]	[kN]
Čelní vůz	-	25,5	7,5	6,3	1157
Vložený vůz	19	-	-	6,3	930

Tabulka 4 Hodnoty pro výpočet podélné síly

5.2 Výpočet příčné síly F_y

Příčná síla působí na meziskříňové spojení kolmo na směr jízdy, avšak v horizontální rovině. Výpočet zatížení příčnou silou je dán vzorcem:

- Příčná síla pro vložený vůz

$$F_y = a_y \cdot p^2 \cdot m_1 + \frac{\dot{\omega} \cdot J_{zz}}{l}$$

- Podélná síla pro čelní vůz

$$F_y = a_y \cdot p^2 \cdot m_2 + \frac{\dot{\omega} \cdot J_{zz}}{l}$$

- Výpočet úhlového zrychlení skříně

$$\dot{\omega} = \frac{a_y}{x_T}$$

	Poměrná část hmoty působící na kloub	Příčné zrychlení	Hmotový moment setrvačnosti	Vzdálenost těžiště od kloubu	Úhlové zrychlení kolem těžiště	Příčná síla
	P+	a_y	J_{zz}	x_T	$\dot{\omega}$	F_y
	[-]	[m/s ²]	[kg.m ²]	[m]	[rad/s ²]	[kN]
Čelní vůz	0,3	9,81	892 083	10,4	0,94	72
Vložený vůz	0,5	9,81	423 967	8,5	1,15	75

Tabulka 5 Hodnoty pro výpočet příčné síly

Pozn.: J_{zz} – zjištěno pomocí CAD software

5.3 Výpočet svislé síly F_z

Svislá síla působí na meziskříňové spojení ve směru gravitačního zrychlení. Výpočet svislé síly je dán vzorcí:

$$F_z = 1,3 \cdot g \cdot (m_1 + m_n)$$

$$F_z = 1,3 \cdot g \cdot (m_2 + m_n)$$

	Hmotnost skříně vloženého vozu	Hmotnost skříně čelního vozu	Hmotnost nákladu (cestujících)	Svislá síla
	m_1	m_2	m_n	F_z
	[t]	[t]	[t]	[kN]
Čelní vůz	-	25,5	8	427
Vložený vůz	19	-	8	344

Tabulka 6 Hodnoty pro výpočet svislé síly

5.4 Výsledné hodnoty

Pro další výpočty byly použity výsledné síly s vyšší hodnotou

	Podélná síla	Příčná síla	Svislá síla
	F_x	F_y	F_z
	[kN]	[kN]	[kN]
Čelní vůz	1157	72	427
Vložený vůz	930	75	344

Tabulka 7 Výsledné hodnoty

V otočném spojení skříně je kluzné ložisko, pro jehož návrh byla spočítána radiální a axiální síla pomocí následujícího vzorce:

$$F_r = \sqrt{F_x^2 + F_z^2} = \sqrt{1157^2 + 427^2} = 1233 \text{ [kN]}$$

$$F_a = F_y = 75 \text{ [kN]}$$

5.5 Výběr z variant podvozků

Na výběr je ze dvou variant. Hlavním rozdílem je použití jednoho nebo dvou párů sekundárního vypružení. Jejich klady a zápory jsou vypsány v následující tabulce.

Varianta 1 - Podvozek se 2 měchy		Varianta 2 - Podvozek se 4 měchy	
klady	zápory	Klady	zápory
Jednodušší konstrukce podvozku	Vyšší zatížení kloubu	Obě skříně jsou symetricky zatěžovány	Složitější konstrukce podvozku
levnější	Stabilizace jedné ze skříní pouze torzním stabilizátorem	Nižší pevnostní nároky na kloub	Má větší rozvor – zabírá více místa
	Nižší životnost ložiska	Vyšší životnost kluzného ložiska	
		Svislá síla zachycována především měchy	

Tabulka 8 Klady a zápory jednotlivých variant

Z důvodu převažujících kladů a hlavně prodloužení životnosti ložiska byla zvolena varianta 2. Pro výpočet zatížení je i nadále uvažována svislá složka síly působící na kloub. Celková radiální síla působící na ložisko je vyšší o 75 kN než je třeba (v případě nutnosti lze radiální sílu snížit). Následující výpočty jsou tedy použitelné pro obě dvě varianty.

6 Návrh kluzného ložiska

Pro návrh ložiska jsou použity podklady a výpočty od firmy SKF. Na výběr je několik variant kluzných ložisek (radiální, axiální ložiska s kosoúhlým stykem). Ty lze ještě odlišit materiálem nebo povlakem jednotlivých částí ložiska. [28]



Použití ložisek:

- ❖ Radiální ložisko → radiální síla je násobně větší než axiální
- ❖ Axiální ložisko → axiální síla je násobně větší než radiální
- ❖ Lož. s kosoúhlým stykem → radiální i axiální síla jsou přibližně stejné

Materiálové varianty:

- Ocel/Ocel
- Ocel/Bronz
- Ocel/slinutý bronz
- Ocel/tkanina PTFE
- Ocel/PTFE FRP GEP...FS
- Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS

Nutnost údržby:

-  ložiska vyžadující údržbu
-  bezúdržbová ložiska

Vstupní hodnoty:

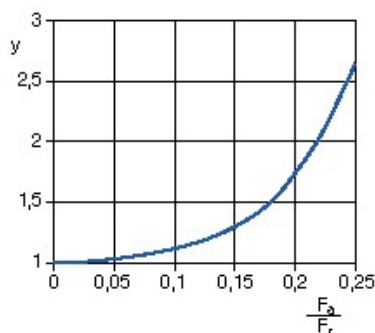
- Radiální síla = 1233 [kN]
- Axiální síla = 75 [kN]

Z těchto hodnot je patrné, že radiální síla působící na ložisko dominuje nad axiální. Pro meziskříňový kloub je výhodnější použít radiální ložisko. Co se materiálu týče, ten v tuto chvíli bez výpočtu nelze určit. Co lze s jistotou říci, že se jako lepší varianta jeví ložiska bezúdržbová. Návrh ložiska se skládá z několika částí.

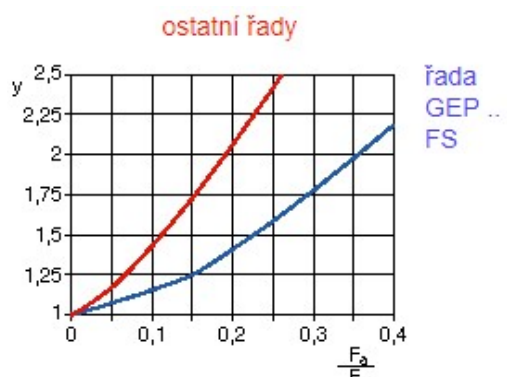
6.1 Výpočet ekvivalentního dynamického zatížení „P“

Ekvivalentní zatížení lze vypočítat pomocí vzorce [27]:

$$P = y \cdot F_r$$



Graf 4 Závislost y na poměru axiální a radiální síly



Graf 5 Závislost y na poměru axiální a radiální síly

Typ ložiska	Radiální síla působící na ložisko	Axiální síla působící na ložisko	Poměr axiální a radiální síly	Zatěžovací faktor	Ekvivalentní dynamické zatížení
	Fr	Fa	Fa/Fr	y	P
	[kN]	[kN]	[-]	[-]	[kN]
Ocel/Ocel	1233	75	0,06416	1,06416	1312
Ocel/slitutý bronz				1,20928	1491
Ocel/tkanina PTFE				1,20928	1491
Ocel/PTFE FRP GEP...FS				1,08767	1341
Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS				1,20928	1491

Tabulka 9 Hodnoty pro výpočet ekvivalentního dynamického zatížení

6.2 Základní dynamická únosnost

Základní dynamickou únosnost lze spočítat pomocí vzorce:

$$C = \left(\frac{C}{P}\right) \cdot P$$

$$p = K \cdot \frac{P}{C}$$

Typ ložiska	Poměr zatížení	Základní dynamická únosnost	Součinitel měrného zatížení	Měrné zatížení
	C/P	C	K	p
	[-]	[kN]	[MPa]	[MPa]
Ocel/Ocel	2	2625	100	50

Ocel/slitinový bronz	1,6	2386	100	63
Ocel/tkanina PTFE	2	2983	300	150
Ocel/PTFE FRP GEP...FS	1,6	2146	80	50
Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS	1,6	2386	50	31

Tabulka 10 Hodnoty pro výpočet základní dynamické únosnosti

6.3 Výpočet střední kluzné rychlosti

Pro výpočet polovičního úhlu oscilace β_o je zapotřebí znát pohyb skříně během jízdy. Vlaková jednotka se i po přímé koleji pohybuje po sinusoidě. Směrodatnými parametry pro výpočet jsou vůle dvojkolí v kolejovém kanálu a příčný pohyb sekundárního vypružení. Vůli dvojkolí v kolejovém kanálu počítáme 11 mm. Pohyb sekundárního vypružení 30 mm. Posledním parametrem je vzdálenost mezi otočnými čepy skříně. Ta byla navržena na 17 m. Při extrémním stavu, který může nastat, spolu sousedící skříně tvoří rovnoramenný trojúhelník.

$$\text{Vzdálenost mezi otočnými čepy} \quad l = 17 \text{ [m]}$$

$$\text{Vůle kolejového kanálu} \quad v_{kk} = 11 \text{ [mm]}$$

$$\text{Vůle sekundárního vypružení} \quad v_s = 30 \text{ [mm]}$$

$$v_{celk} = v_{kk} + v_s = 11 + 30 = 41 \text{ [mm]}$$

$$\beta_o = \arccos\left(\frac{41}{17000}\right) = 0,138 = 0^\circ 08' 16''$$

$$v = 8,73 \cdot 10^{-6} \cdot d_k \cdot 4 \cdot \frac{\beta_o}{t}$$

	Sřední průměr ložiska	Poloviční úhel oscilace	Doba kmitu	Sřední kluzná rychlost
	d_k	β_o	t	v
	[mm]	[°]	[s]	[m/s]
Ocel/Ocel	165	0° 08' 16''	1,5	0,0005
Ocel/slitinový bronz				0,0005
Ocel/tkanina PTFE				0,0005
Ocel/PTFE FRP GEP...FS				0,0005
Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS				0,0005

Tabulka 11 Hodnoty pro výpočet střední kluzné rychlosti

6.4 Výpočet životnosti ložiska

Životnost ložiska se pro každý typ ložiska počítá pomocí jiného vzorce. Jako parametry ovlivňující životnost jsou hlavně teplotní rozsah, typ chodu (střídavý/jednosměrný) nebo frekvence změny úhlu. Trvanlivost ložiska vypočtena pomocí následujících vzorců. [26]

- Ocel/Ocel $G_h = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot b_5 \cdot [5/(p^{0,6} \cdot v^{1,6})]$
- Ocel/slitutý bronz $G_h = b_1 \cdot b_2 \cdot [1400/(p^{1,3} \cdot v)]$
- Ocel/tkanina PTFE $G_h = b_1 \cdot b_2 \cdot b_4 \cdot [K_p/(p^n \cdot v)]$
- Ocel/PTFE FRP GEP...FS $G_h = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot [K_M/(p \cdot v)]$
- Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS $G_h = b_1 \cdot b_2 \cdot b_3 \cdot [K_M/(p \cdot v)]$

Výsledné hodnoty jsou zapsány v následující tabulce.

	Součinitel podmínek zatížení	Teplotní součinitel	Součinitel kluzných povrchů	Součinitel rychlosti	Součinitel úhlu oscilace	Frekvence oscilací	Konstanta měrného zatížení	Materiálová konstanta	Základní trvanlivost
	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	f	K _p	K _m	G _h
	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[Hz]	[-]	[-]	[hod]
Ocel/Ocel	2	1	2,9	0	0,7	0,67	0	0	335 053
Ocel/slitutý bronz	0,2	1	0	0	0	0,67	0	0	2 444
Ocel/tkanina PTFE	0,15	1	0	0,32	0	0,67	4000	0,7	10 857
Ocel/PTFE FRP GEP...FS	1	1	1	0	0	0,67	0	0	39 805
Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS	1	1	1	0	0	0,67	0	0	63 688

Tabulka 12 Hodnoty pro výpočet základní trvanlivosti ložiska

Regionální jednotky by měli během svého provozu najet 3 000 000 km. Z této hodnoty lze spočítat životnost vlaku na hodiny za pomoci průměrné rychlosti. Průměrná rychlost vlaku je kolem 80 km/h.

$$G_{h_{min}} = \frac{G_{km}}{v_{průměrná}} = \frac{3000000}{80} = 37\,500 \text{ [h]}$$

Z výsledků uvedených v tabulce lze určit počet výměn ložiska za dobu životnosti vlaku. Počet výměn vypočteme dle následujícího vztahu.

$$P_{výměn} = \frac{G_{h_{min}}}{G_h}$$

Typ ložiska	Minimální doba životnosti	Základní trvanlivost	Počet výměn ložiska
	G_{hmin}	G_h	$P_{výměn}$
	[hod]	[hod]	[-]
Ocel/Ocel	37 500	335 053	0
Ocel/slitinový bronz		2 444	15
Ocel/tkanina PTFE		10 857	4
Ocel/PTFE FRP GEP...FS		39 805	0
Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS		63 688	0

Tabulka 13 Hodnoty pro zjištění počtu výměn ložiska během provozu regionální jednotky

6.5 Volba ložisek podle dynamického zatížení

Typ ložiska	Průměr vnějšího kroužku ložiska	Základní dynamická únosnost	dynamická únosnost ložiska	Maximální úhel nakolpení ložiska
	D	C	C	α
	[mm]	[kN]	[kN]	[°]
Ocel/Ocel	290	2625	3200	7
Ocel/slitinový bronz	-	2386	-	-
Ocel/tkanina PTFE	210	2983	3000	16
Ocel/PTFE FRP GEP...FS	290	2146	2450	2
Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS	440	2386	3000	4

Tabulka 14 Hodnoty ložisek odpovídajících dynamickému zatížení

6.6 Výběr z variant

V následující tabulce jsou vyhodnocovány směrodatné výsledky.

- 1 je nejlepší varianta
- 5 je nejhorší varianta

Typ ložiska	Ekvivalentní dynamické zatížení	Základní dynamická únosnost	Základní trvanlivost	Maximální úhel nakolpení ložiska	Průměrná hodnota
	P	C	G_h	α	
Ocel/Ocel	1	3	1	2	1,75
Ocel/slitinový bronz	-	2	-	-	-

Ocel/tkanina PTFE	3	4	4	1	3
Ocel/PTFE FRP GEP...FS	2	1	3	4	2,5
Ocel/PTFE FRP GEC...FBAS	3	2	2	3	2,5

Tabulka 15 Výběr z variant

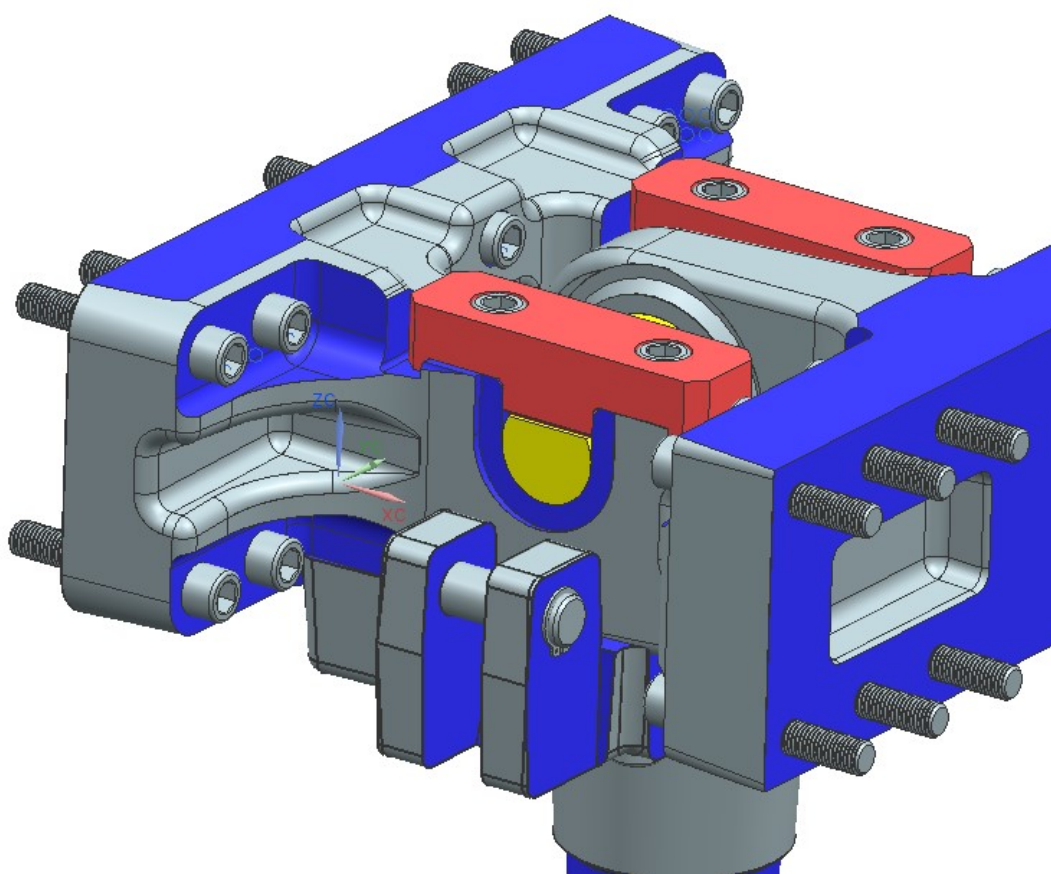
Z tabulky 14 je patrné, že jako nejlepší možná varianta se jeví typ ložiska ocel/ocel s přesným označením: GE 200 ESX-2LS. Mezi jeho přednosti patří vysoká životnost. Negativum ložiska je ale malý úhel naklopení, pouhých 7 °. S tím to úhlem by jednotka musela počítat s omezeními. Především minimální poloměr oblouku by se pohyboval kolem 160 m.

Z tohoto omezujícího důvodu jsem vybral nejhorší možnou variantu, tedy typ ložiska Ocel/tkanina PTFE. Přesné označení GEH 120 TXG3A-2LS. Jeho předností je úhel naklápění až 16 °. Bohužel má chabou trvanlivost oproti ložisku Ocel/ocel.

7 Konstrukční návrh kloubu

Kloub je určen pro regionální jednotku. Tedy dopravní prostředek určený pro pasažéry. Mechanismus musí splňovat všechny parametry požadované normou. Dále musí zajistit adekvátní komfort. Aby byl zajištěn pohyb pasažérů a personálu mezi jednotlivými vagony během jízdy, musí být navržen tak, aby pasažérům nijak nepřekážel nebo jinak nebránil v průchodu.

Pro návrh kloubu byla vybrána varianta kloubu s křížovým členem. Je to poměrně jednoduchý koncept kloubu. Dá se snadno demontovat. Má však i svá úskalí. Nemůže překonávat všechny drážní prvky např. svážný pahrbek. Je to příliš ostrý zlom a souprava by na něm s největší pravděpodobností vykolejila nebo by došlo k poruše. Regionální jednotky však tohoto prvku nevyužívají.



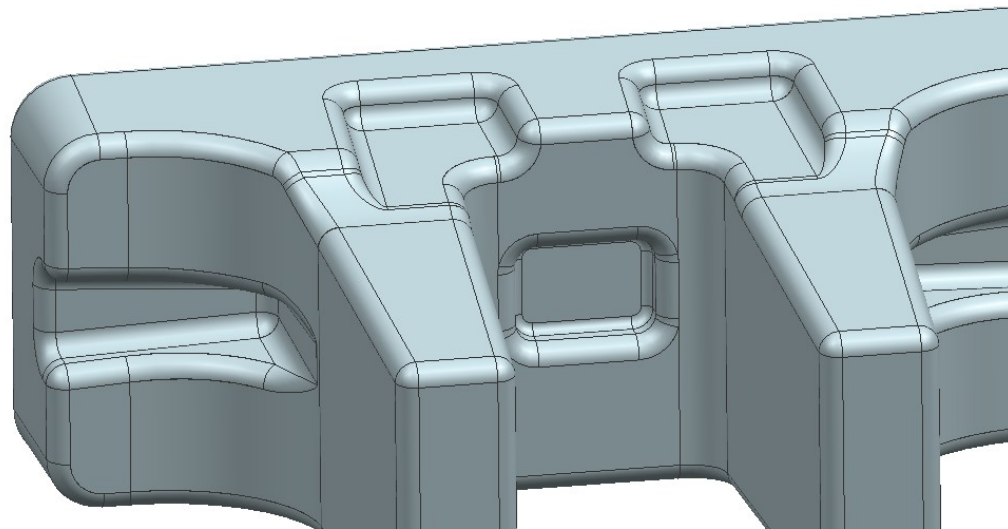
Obrázek 33 Pohled na návrh kloubového spojení

7.1 Navržené díly

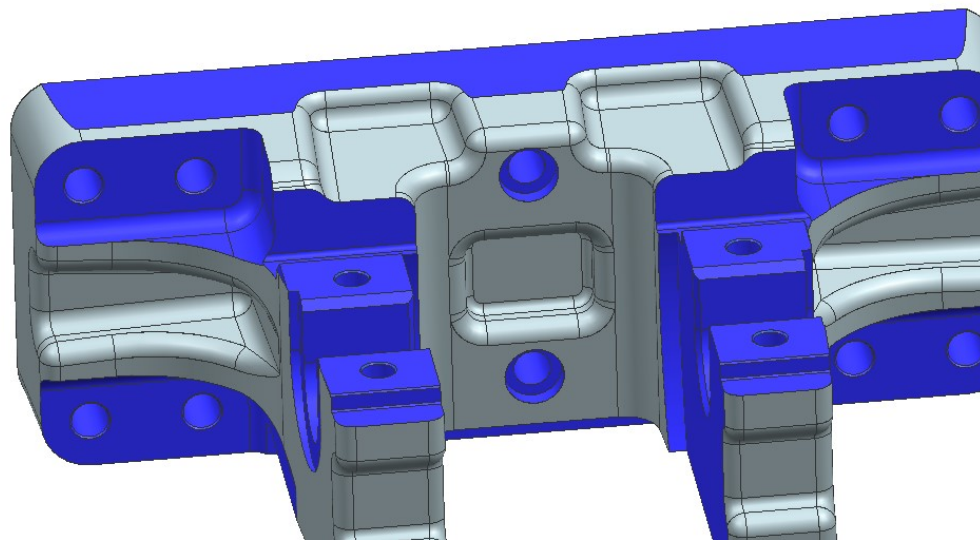
7.1.1 Závěsný člen

Závěsný člen je nejsložitějším dílem celého kloubu. Je koncipován jako odlitek, který je obroben do výsledné podoby. Hlavním úkolem bylo dodržování technologických

podmínek, jako jsou minimální velikost zaoblení a úkosy. Odlitek je vyobrazen na Obrázku 34. Podoba po obrábění je znázorněna na obrázku 35.



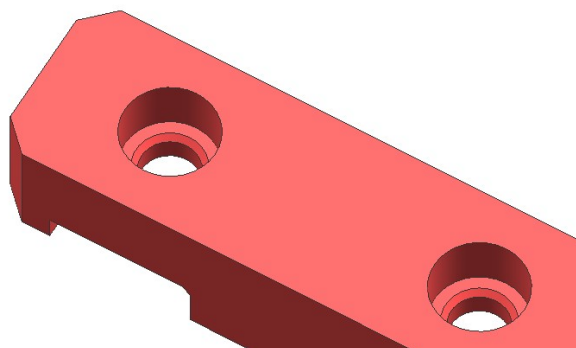
Obrázek 34 Odlitek závěsného členu



Obrázek 35 Obrobek Závěsného členu

7.1.2 Přezka

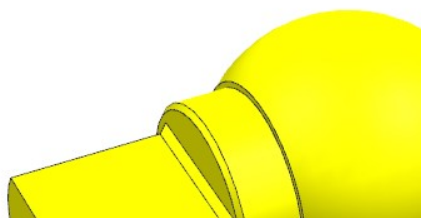
Přezka je výrobně nejjednodušší díl. Má za úkol přitlačovat nosný hřídel kulového čepu do dosedací jamky. Stálé předpětí zajišťují šrouby M20 s válcovou hlavou.



Obrázek 36 Model přezky

7.1.3 Kulový čep

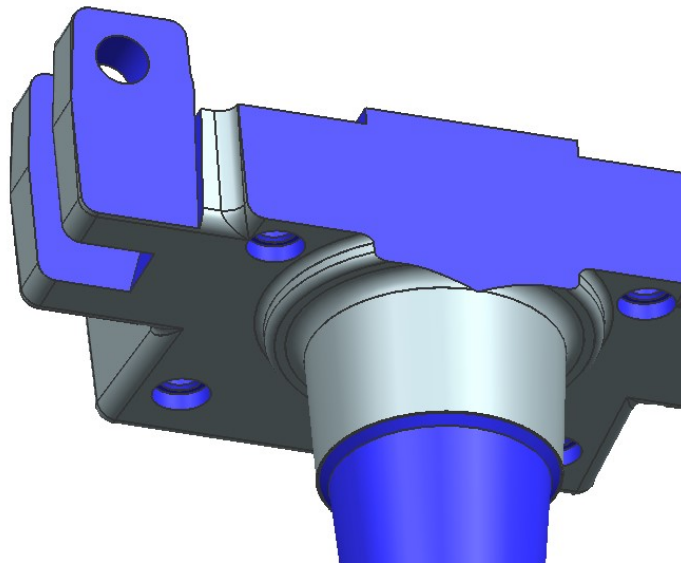
Kulový čep je rotační součást s kulovou plochou, která umožňuje kloubu natočení ve všech směrech. Tato součást vychází z výpočtu kluzného ložiska. Jediným rozdílem je, že se jedná o díl vyrobený na zakázku. Jedná se o jeden kus nikoli o sestavu dílů. Tedy všechny geometrické a materiálové vlastnosti jsou přeneseny na nosný hřídel.



Obrázek 37 Model kulového čepu

7.1.4 Trn

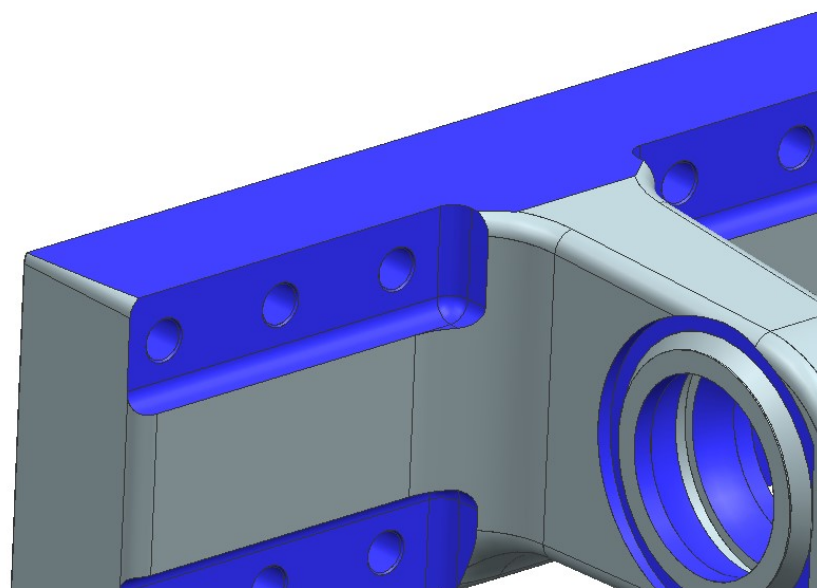
Trn je opět odlévaná součást, která přenáší zatížení mezi podvozkem a kloubem. Díl se skládá z příruby, která se upevňuje na závěsný člen šrouby s válcovou hlavou a se samotným trnem. Trn je obroben do kónického tvaru. Na tuto plochu se nasadí pouzdro, které je dále usazeno v lemniskátovém mechanismu. Tento mechanismus přenáší podélné síly z podvozku na kloub a zároveň umožňuje pohyb v příčném směru. Na trnu jsou navíc nálitky pro přichycení tlumičů



Obrázek 38 Obrobek trnu

7.1.5 Zavěšený člen

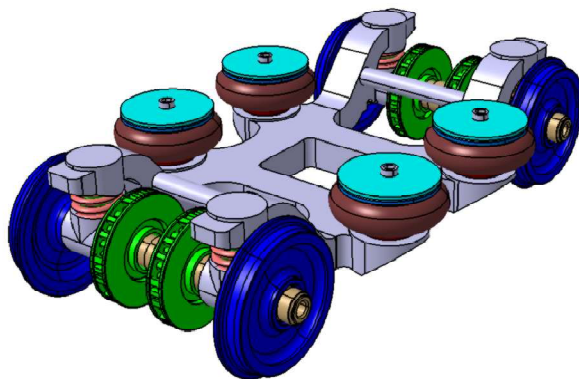
Tento díl je upevněn na rámu tažené skříně šroubovými spoji. Je koncipován jako výkovek. Má otvor, do kterého vsadí povlakovaný nosný hřídel. Následně se nalisují pouzdra s kulovými plochami, jež jsou následně zavařeny. Spoj je nerozebíratelný a musí vydržet po dobu životnosti celého zařízení.



Obrázek 39 Obrobek závěsného členu

7.2 Koncept podvozku

Podvozek je navržen s vnitřním rámem ve tvaru H. Podvozek s vnitřním rámem je hmotnostně lehčí variantou. Složitější je montáž dvojkolí oproti podvozkům s vnějším rámem.



Obrázek 40 Běžný podvozek typu Jakobs

7.2.1 Sekundární vypružení

Kloub je odpružen čtveřicí pneumatických pružin. Pružiny jsou upevněny na rámu podvozku. Přes přírby jsou na nich posazeny skříně. K této skříně je přes kloub připojena druhá skříně.

7.2.2 Lemniskátový mechanismus

Zajišťuje přenos tažné síly z kloubu na podvozek a naopak. Zároveň umožňuje boční výkmit v příčném směru. Boční výkmit je omezen pryžovými nadrážkami. Tento mechanismus někdy také nazývaný Wattův přímovod, udržuje přímočarý pohyb v bočním směru.



Obrázek 41 Lemniskátový mechanismus

7.3 Zatížení lemniskátového mechanismu

Zatížení je převzato z normy ČSN EN 12663-1+A1 (Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Metoda specifikování konstrukčních požadavků) konkrétně zatížení podvozků kolejových vozidel pro přepravu cestujících. [14]

- Podélná síla F_{xb} je síla zatěžující podvozek ve směru jízdy. Běžné podvozky jsou zatíženy zrychlením 5g, avšak u ucelených souprav postačí zatížení 3g. Z těchto předpokladů vychází následující vztah:

$$F_{xb} = m^+ \cdot 3 \cdot g$$

$$F_{xb} = 6,3 \cdot 3 \cdot 9,81 = \mathbf{185,4 [kN]}$$

Tato síla je vyvolána setrváním hmoty při nárazu se zrychlením 3g. Vzhledem k bezpečnosti musí lemniskátový mechanismus síle odolat.

7.3.1 Souhrn zatížení podvozku

V následující tabulce je výčet výsledných hodnot zatížení.

		Výjimečné zatížení
Svislé zatížení		427
Příčné zatížení	[kN]	75
Podélné zatížení		1157

7.4 Omezení kloubu

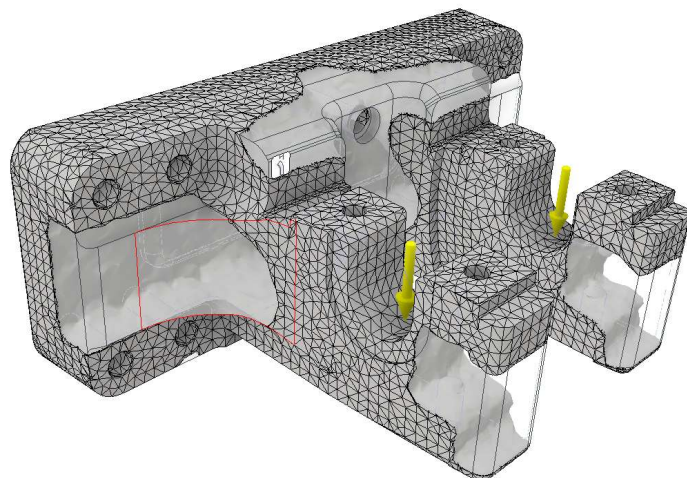
Kloub musí umožňovat rotační pohyby ve 3 směrech dle tabulky. Úhly jsou měřeny od centrálních os.

Tabulka 16 Omezení kloubu

β	γ	δ
[°]	[°]	[°]
15	2	3,5

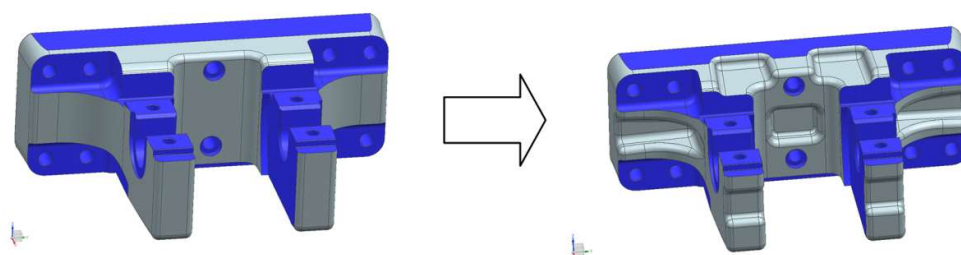
7.5 Topologická analýza

Pomocí této analýzy je možné odlehčit model. V místě, kde z MKP analýzy vyjde nulové napětí, je možné odebrat materiál. Před samotnou MKP analýzou byla provedena topologická analýza nejobjemnějšího modelu pomocí software Inventor 2017. Zatížení bylo nastaveno ve svislém směru a má hodnotu 427 [kN]. V modelu jsou zřetelné zprůhledněné oblasti, které značí místa kde je možno materiál odebrat a tím celou komponentu odlehčit. Tento výpočet slouží pouze pro představu, protože úloha je mnohem komplexnější a nelze jí celou počítat topologickou analýzou.



Obrázek 42 Topologická analýza

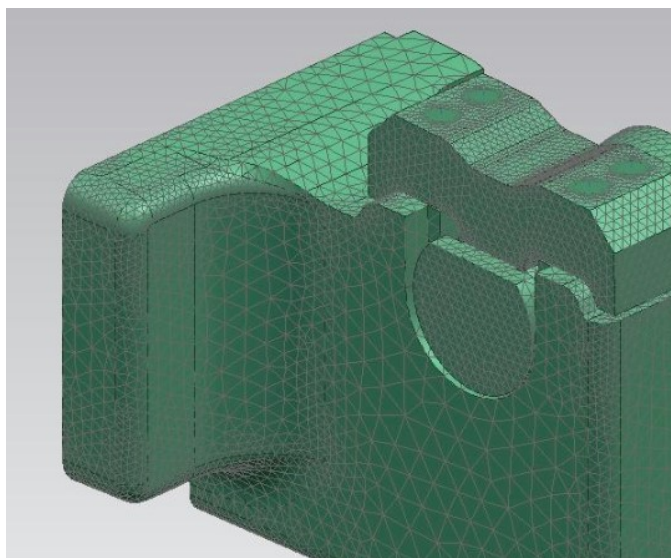
Díky topologické analýze proběhly tyto odlehčovací směny



Obrázek 43 Odlehčení Závěsného členu

7.6 Příprava simulace (FEM)

Před zasítováním modelu byly jednotlivé díly ještě dodatečně rozkouskovány pro kvalitnější zasítování. Před zasítováním byly potřeba nastavit kontaktní plochy, aby na sebe síť navazovaly. Model byl zasítován tetradry CTETRA(10). Tyto prvky mají (na rozdíl do CTETRA4) meziuzly, které lépe zasítují složité plochy. Byla zde použita funkce bolt-connection, která nahrazuje šroub beamem a dvojicí rigidních sítí.



Obrázek 44 Zasiťovaný model

7.6.1 Zjemněná síť

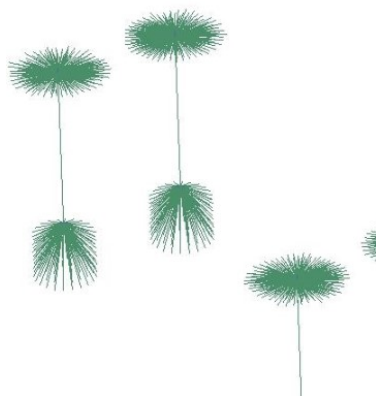
V kontaktních plochách a v místech, kde jsou ukotveny šrouby se předpokládá zvýšená koncentrace napětí, proto je třeba, aby tato místa měla pokud možno co nejjemnější síť. Tento problém je řešen pomocí vzniku oblastí s jemnou sítí.

Zbývající části, tedy oblasti, kde se nepředpokládají špičky napětí, stačí zasíťovat hrubší sítí. Hrubší síť znamená malý počet vyhodnocovaných elementů. Menší počet prvků (elementů) znamená značnou úsporu výpočetního času. Hrubá síť také znamená větší nepřesnost ve výsledném napětí. Tato nepřesnost je zanedbatelná, pokud se výsledky pohybují hluboko pod mezí kluzu.

Funkcí 3D Tetrahedral jsou zasíťovány zbylé části. Elementy mají velikost 30 mm. Po zasíťování byla spuštěna funkce Element Quality, která odhaluje nekvalitně zasíťovaná elementy. Výsledky dopadly pozitivně nulový počet chyb a zároveň nulový počet upozornění.

7.6.2 Šroubové spojení

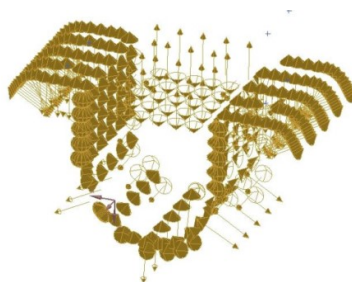
Poslední operací je nahrazení šroubového spoje 1D prvkem pomocí funkce Bolt connection. Šrouby jsou nahrazeny Beamem o průměru 20 mm, rigidovou růžicí simulující závit a rigidovou růžicí RBE2 simulující poddajnou hlavu šroubu s průměrem hlavy 30 mm.



Obrázek 45 Zobrazení šroubových spojení

7.6.3 Kontakty

Veškeré kontakty jsou tvořeny příkazem Surface-to-Surface Contact. Ten zabraňuje penetraci dvou sousedících ploch. Umožňuje jejich vzájemný pohyb. Dokonce může dojít k jejich odlehnutí. Při vzájemném pohybu ploch vůči sobě dochází k tření, to je nastavené na hodnotu 0,1 [-].



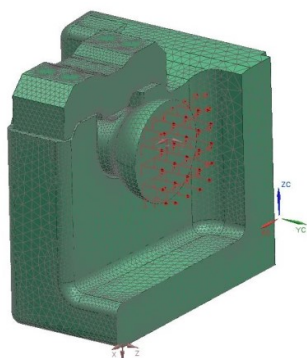
Obrázek 46 Zobrazení kontaktních prvků

7.6.4 Zatížení

Zatížení je nejdůležitější část celé analýzy. Kloub je zatížen silou, jež je rozdělena do složek. Jedná se o symetrickou úlohu, proto je třeba si uvědomit, že velikosti zadávaných sil budou poloviční. Další zatížení vzniká předepnutím šroubů. Hodnoty zadávaných napětí jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 17 Zatížení použitá pro výpočet

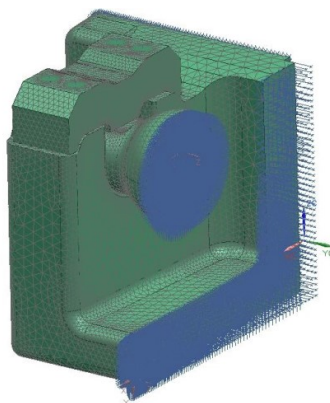
Název zatížení	Zkratka	Hodnota	Jednotky
Podélná síla	$F_x/2$	578	[kN]
Příčná síla	$F_y/2$	37	[kN]
Svislá síla	$F_z/2$	213	[kN]
Předepínací síla	$F_{\dot{s}}$	50,0	[kN]



Obrázek 47 Zobrazení zatěžujících sil

7.6.5 Podpory

Jelikož se jedná o symetrickou úlohu v rovině řezu, jsou nastavena omezení Symetric Constraint. Na levé straně závěsného členu je na čelní ploše příruby nastavena podpora Fixed constraint. Ta omezuje všechny stupně volnosti.



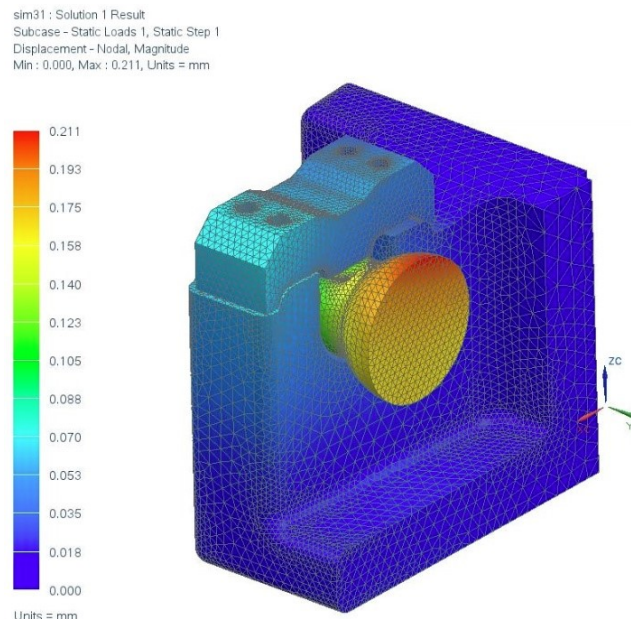
Obrázek 48 Zobrazení podpor a omezení

7.7 Výsledky

Po dodatečných úpravách rozměrů modelu bylo dosaženo vyhovujících výsledků.

7.7.1 Celkové posunutí

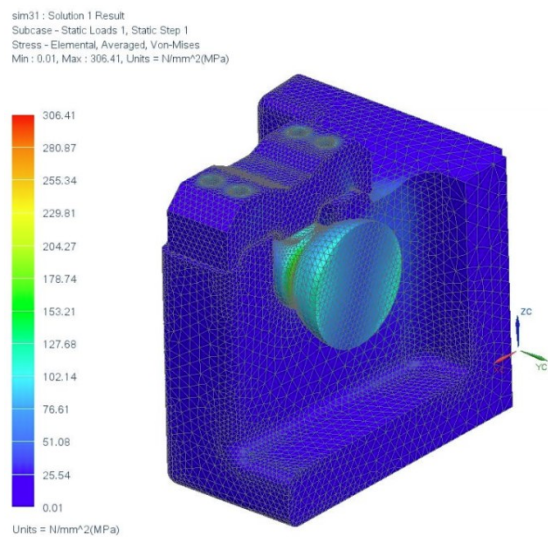
Výsledky celkového posunutí dopadly velmi dobře. Dá se konstatovat, že se jedná o tuhou konstrukci, protože 0,211 mm na takto velké konstrukci je velmi malé číslo.



Obrázek 49 Výsledné posunutí celého kloubu

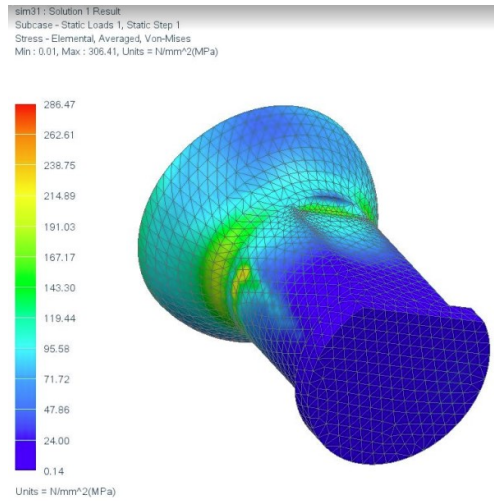
7.7.2 Redukované napětí metodou HMH

Na následujícím obrázku je vyobrazen výsledek MKP analýzy celého kloubu. Protože je sestava příliš členitá jsou výsledky dále vyobrazeny do jednotlivých součástí.

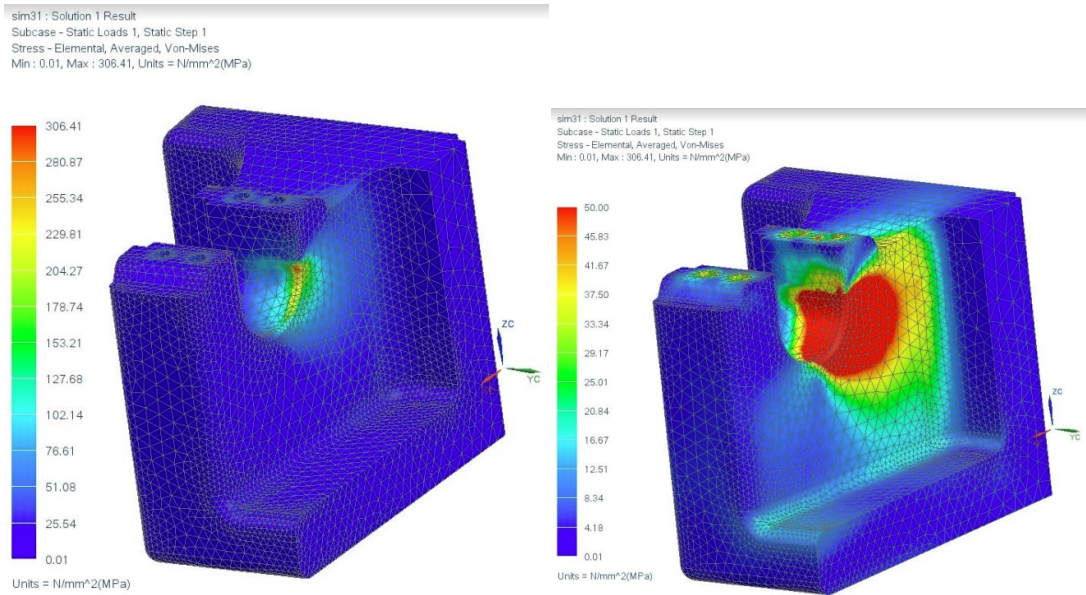


Obrázek 50 redukované napětí počítané metodou HMH

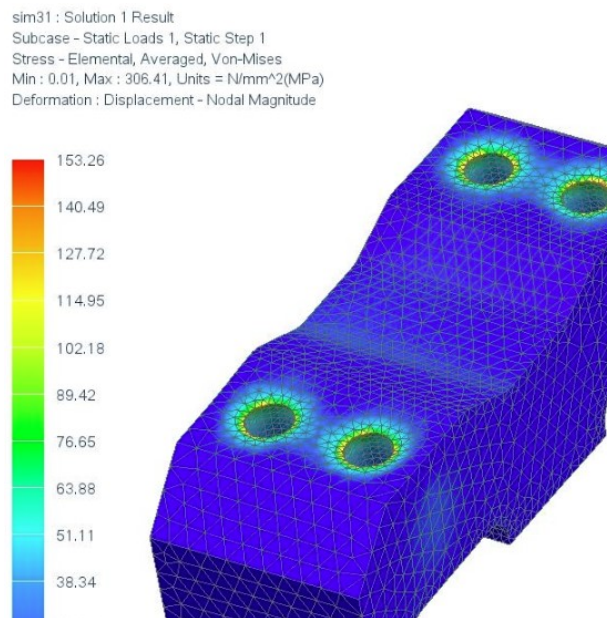
7.7.3 Redukovaná napětí jednotlivých dílů



Obrázek 51 Redukované napětí nosného hřídele



Obrázek 52 Redukované napětí závěsného členu vpravo zmenšený rozsah na 50 MPa



Obrázek 53 Redukované napětí přezky

7.7.4 Volba materiálu

Pro odlévané díly (závěsný člen) byl zvolen materiál G24Mn6. Výhodou je, že se dá odlévat i když se jedná o ocel a má také dobré pevnostní vlastnosti. Pro ostatní díly byl použit běžný hutní materiál. Například pro nosný hřídel byl zvolen materiál S355 a pro přezku materiál S235. Parametry materiálu jsou zapsány v následující tabulce.

Tabulka 18 Zvolený materiál

Označení materiálu	Mez kluzu	jednotky
S235	235	[MPa]
S355	355	[MPa]
G24Mn6	400	[MPa]

7.7.5 Vyhodnocení výsledků

V následující tabulce jsou vyhodnoceny jednotlivé díly. Do tabulky byly zapsány maximální hodnoty koncentrace napětí jednotlivých dílů. Pomocí následující rovnice byla vypočtena bezpečnost jednotlivých dílů.

$$\frac{R_e}{\sigma_{red}} = k$$

Tabulka 19 Vyhodnocení výsledků

	Použitý materiál	Mez kluzu	Výsledné napětí	Bezpečnost
Závěsný člen	G20Mn6N	400	306	1,3
Nosný hřídel	S355	355	286	1,2
Přezka	S235	235	153	1,5

Jelikož požadovaná bezpečnost je 1 a odlitků 1,1 lze konstatovat, že všechny kontrolované díly vyhovují podmínce bezpečnosti. Závěsný člen a nosný hřídel tuto hodnotu převyšují jen nepatrně. Pokud by byla požadována větší pevnost, bylo by zapotřebí provést některé úpravy.

Závěsný člen je předimenzován kvůli větší tuhosti odlitku. Na ní je závislá pevnost nosného hřídele. Tato sestava pevnostně vyhovuje a je připravena pro odlehčování.

8 Technicko-ekonomické hodnocení

Z výrobního hlediska se jedná o náročnou konstrukci. Součástí návrhu jsou odlitky, které se řadí mezi dražší technologie. Avšak jedná se o prototypovou část návrhu. Dalším krokem návrhu, může být změna technologií a tím i případná úspora na výrobních nákladech. Co se pevnosti týče, má odlitek lepší vlastnosti než například svařenec. Na všech polotovarech byla použita pouze 1 dělicí rovina pro snížení nákladů. Odlitek do pískové formy je nejlevnější variantou vzhledem k rozměrům. Je použita litá ocel namísto litiny. Je sice dražší díky legujícím prvkům. Avšak tento materiál lze opravovat například zavařováním trhlin což je u litiny nemožné.

Jako úsporné opatření se jeví například použití stejného typu šroubu. To znamená pro řezání závitu je použit jeden závitník nebo pro montáž jeden utahovací nástroj. Posledním plusem je geometricky souměrný tvar. Byla využita rovina symetrie, která znamenala nejdůležitější úsporu především při výpočtu MKP analýzy.

9 Závěr

Tato práce se zabývá použitím podvozků typu Jakobs na současných typech regionálních vozidel. Práce se skládá ze dvou hlavních částí – rešeršní a praktické.

V rešeršní části je proveden stručný přehled podvozků na základě literárních zdrojů. Jsou popsány typy propojení skříně a podvozku. Dále jsou popsány různé typy kloubových vazeb mezi skříněmi. Závěr rešeršní části je zaměřen stavbu železnice a její vliv na konstrukci kloubu.

Cílem praktické práce bylo navrhnout a vymodelovat kloub na základě dosažených poznatků. V praktické části práce je popsán koncept kloubu. Byly popsány jednotlivé díly kloubu a jejich výrobní náročnost. Na základě poznatků z rešerše byl vytvořen model kloubu a jeho okolí. Dále byl proveden pevnostní výpočet pomocí programu Siemens NX 11 a Inventor 2017.

Zadání diplomové práce bylo splněno.

Témata k dopracování:

Je možné zpřesnit výpočet MKP analýzy. Zdokonalit lze především kvalitu sítě a kontaktních ploch. S větší hustotou sítě se při výpočtu zvětšuje i počet iterací. To má za následek delší dobu výpočtu, ale i vyšší nároky na výpočetní techniku.

Použitá literatura a zdroje

1. KNIŽNÍ PUBLIKACE:

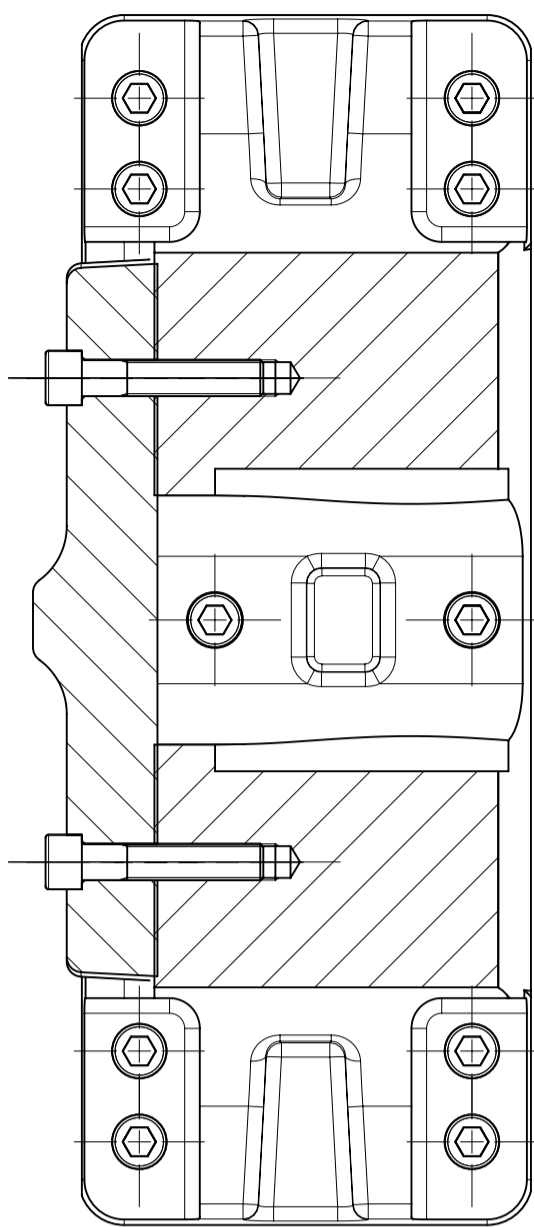
- [1] HELLER, Petr. *Kolejová vozidla I.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2017. ISBN 978-80-261-0693-7.
- [2] HELLER, Petr a Josef DOSTÁL. *Kolejová vozidla II.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN isbn:978-80-7043-641-7.
- [3] HELLER, Petr a Josef DOSTÁL. *Kolejová vozidla III.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011. ISBN 9788026100287.
- [4] DOSTÁL, Josef a Petr HELLER. *Kolejová vozidla I. 2., přeprac. vyd.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2010. ISBN 978-80-7043-960-9.
- [5] MICHALÍK, Petr, Zdeněk ROUB a Václav VRBÍK. *Zpracování diplomové a bakalářské práce na počítači.* 3. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-828-2.
- [6] STANĚK, Jiří a Jiří NĚMEJC. *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2005. ISBN 80-7043-363-9.
- [7] Heller, P. Konstrukce kolejových vozidel 2 (přednáška) Plzeň: ZČU Plzeň, 22.11.2017

2. ELEKTRONICKÉ ZDROJE

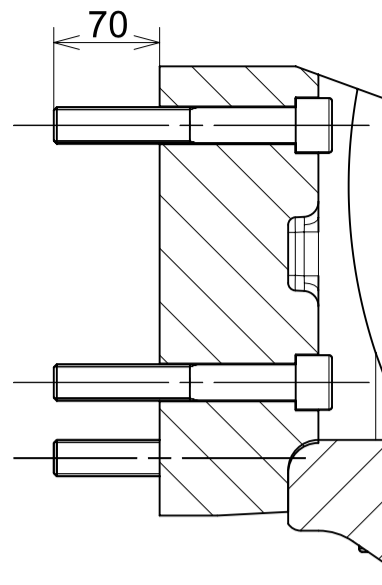
- [8] Jakobs. *Wikiwand* [online]. [cit. 2017-10-13]. Dostupné z: <http://www.wikiwand.com/de/Jakobs-Drehgestell>
- [9] jakobs- TGV *Wikimedia* [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/27/TGV-PSE_bogie_with_metal_spring_1987.jpg/640px-TGV-PSE_bogie_with_metal_spring_1987.jpg
- [10] RegioShark. *Vlaky* [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: <https://www.vlaky.net/upload/galeria/005032/151478.jpg>
- [11] FlexCompact. *Flickr* [online]. [cit. 2017-11-26]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/25230924@N08/6733133833>
- [12] spojení s pryžovou výstelkou. *Encrypted* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <https://encrypted.google.com/patents/EP1048544B1?cl=und>
- [13] spojení kulovou vazbou. *Evolution* [online]. [cit. 2017-01-3]. Dostupné z: <http://evolution.skf.com/wp-content/uploads/2007/11/Gelenkverbindungen2.jpg>
- [14] spojení dvěma klouby. *Patentimages* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://patentimages.storage.googleapis.com/EP1647462A1/imgf0001.png>
- [15] parametry kolejí. *fce* [online]. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/zcl/plasek.o/studium/5_zeleznice_uvod.pdf
- [16] normy. *Technické normy* [online]. [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/280505-csn-en-13749_4_89291.html
- [17] *Railway-technical* [online]. [cit. 2017-11-25]. Dostupné z: http://www.railway-technical.com/_Media/jacobs-bogie-diagram_med.png

- [18] *Home* [online]. Copyright © [cit. 24. 02. 2018]. Dostupné z: http://www.luebeckbuechenereisenbahn.de/images/LBEForum/LBE%20Galerie/Fahrzeuge/11%20Das%20Jokobsdrehgestell/20100405_Jakobsvorrichtung_500.jpg
- [19] *Home* [online]. Copyright © [cit. 24. 02. 2018]. Dostupné z: http://www.luebeckbuechenereisenbahn.de/images/LBEForum/LBE%20Galerie/Fahrzeuge/11%20Das%20Jokobsdrehgestell/20100405%20Kugelaufnahme%20Wagen%201_a-500.jpg
- [20] *Home* [online]. Copyright © [cit. 24. 02. 2018]. Dostupné z: http://www.luebeckbuechenereisenbahn.de/images/LBEForum/LBE%20Galerie/Fahrzeuge/11%20Das%20Jokobsdrehgestell/20100405%20Kugel%20Wagen%202_a-500.jpg
- [21] *Home - Stadler* [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.stadlerail.com/media/pdf/fsob0816e.pdf>
- [22] *Končar Electric Vehicles Inc. - Home* [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: http://www.koncar-kev.hr/docs/koncarkevEN/documents/24/2_1/Original.pdf
- [23] *Home* [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/sites/images/vzdel_modul/spolecensko-ekonomicky_pohled/doprava_ve_sвете/dopravni_infrastruktura_ve_sвете_138.jpg
- [24] *Home* [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: http://www.zosvrtuky.sk/images/861/dmj861_II_small.jpg
- [25] *Home* [online]. Copyright © [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: http://www.zosvrtuky.sk/images/861/dmj861_II_small.jpg
- [26] *Výpočet základní trvanlivosti Home*. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/selection-and-application/selecting-bearing-size/basic-rating-life-calc/index.html>
- [27] *Radiální kloubová ložiska*. [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/selection-and-application/selecting-bearing-size/loads/equivalent-dyn-load/radial-spherical-pb/index.html>
- [28] *SKF CZ, a.s.* [online]. Copyright © Autorská práva [cit. 22.05.2019]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/index.html>

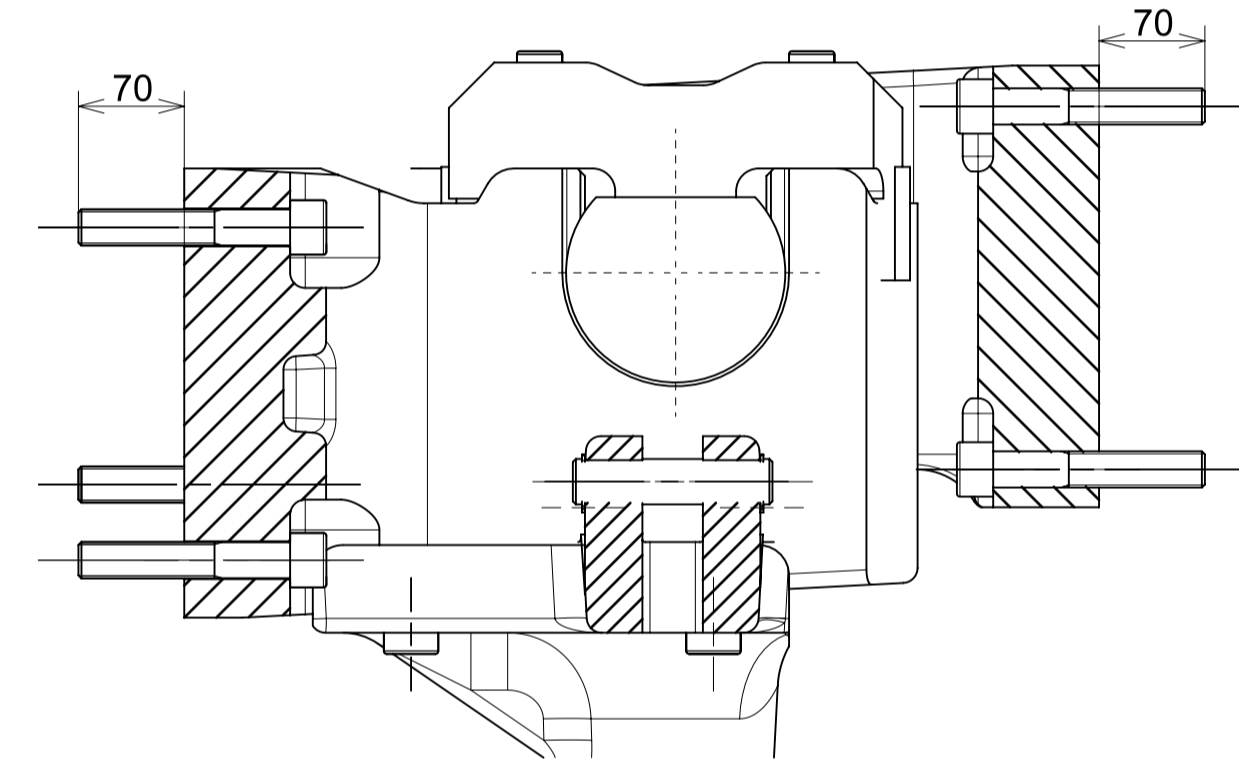
C-C 1:5



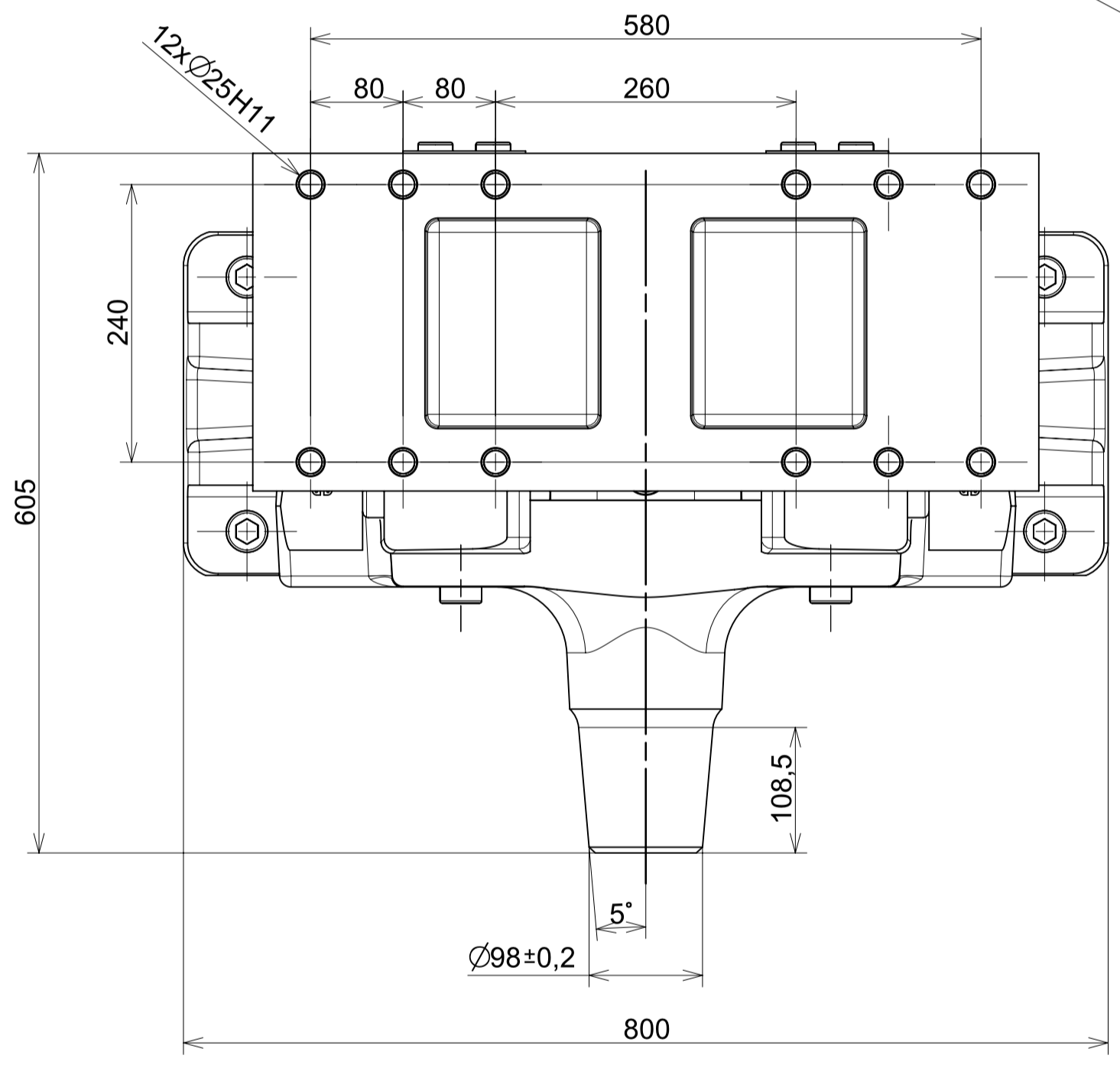
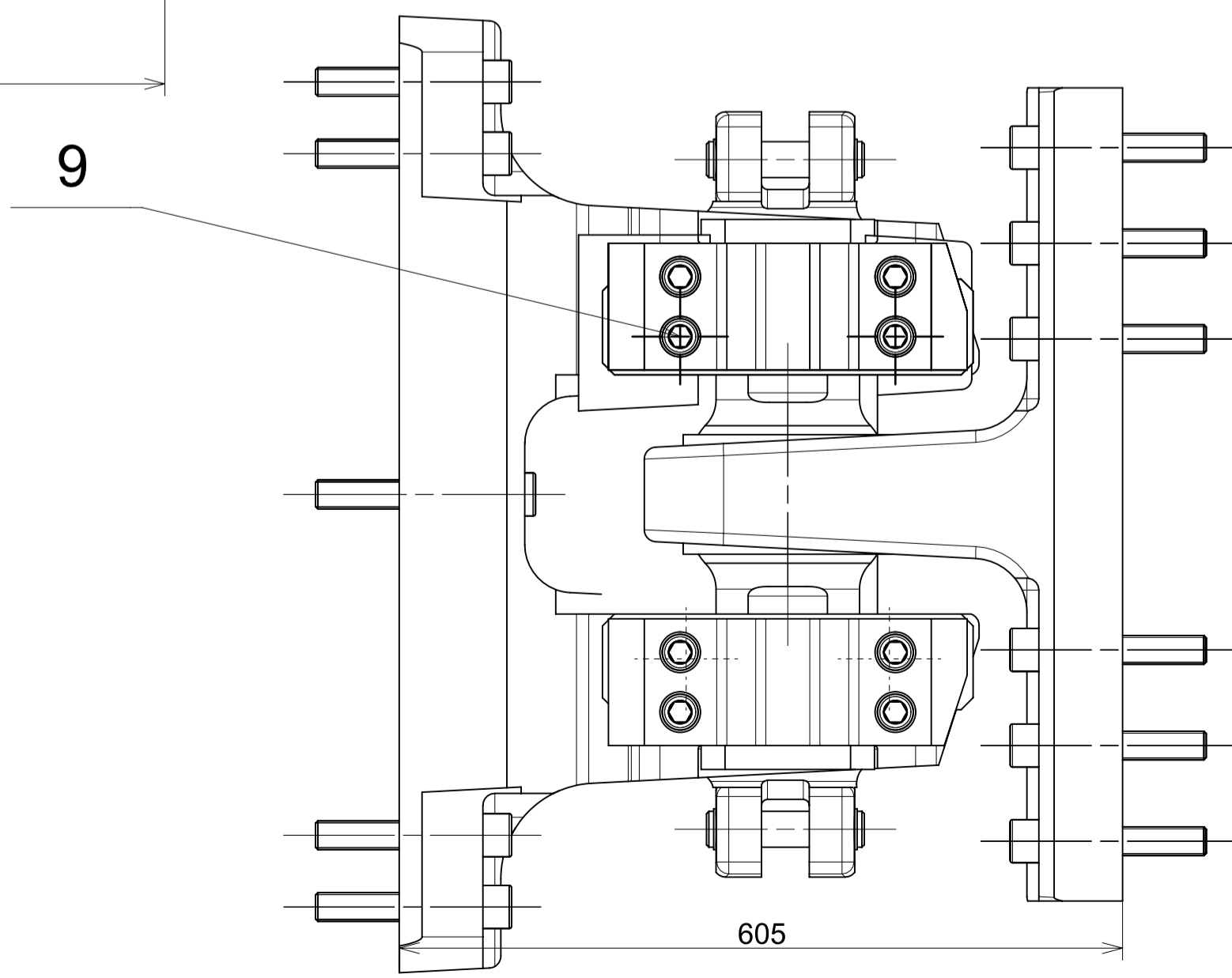
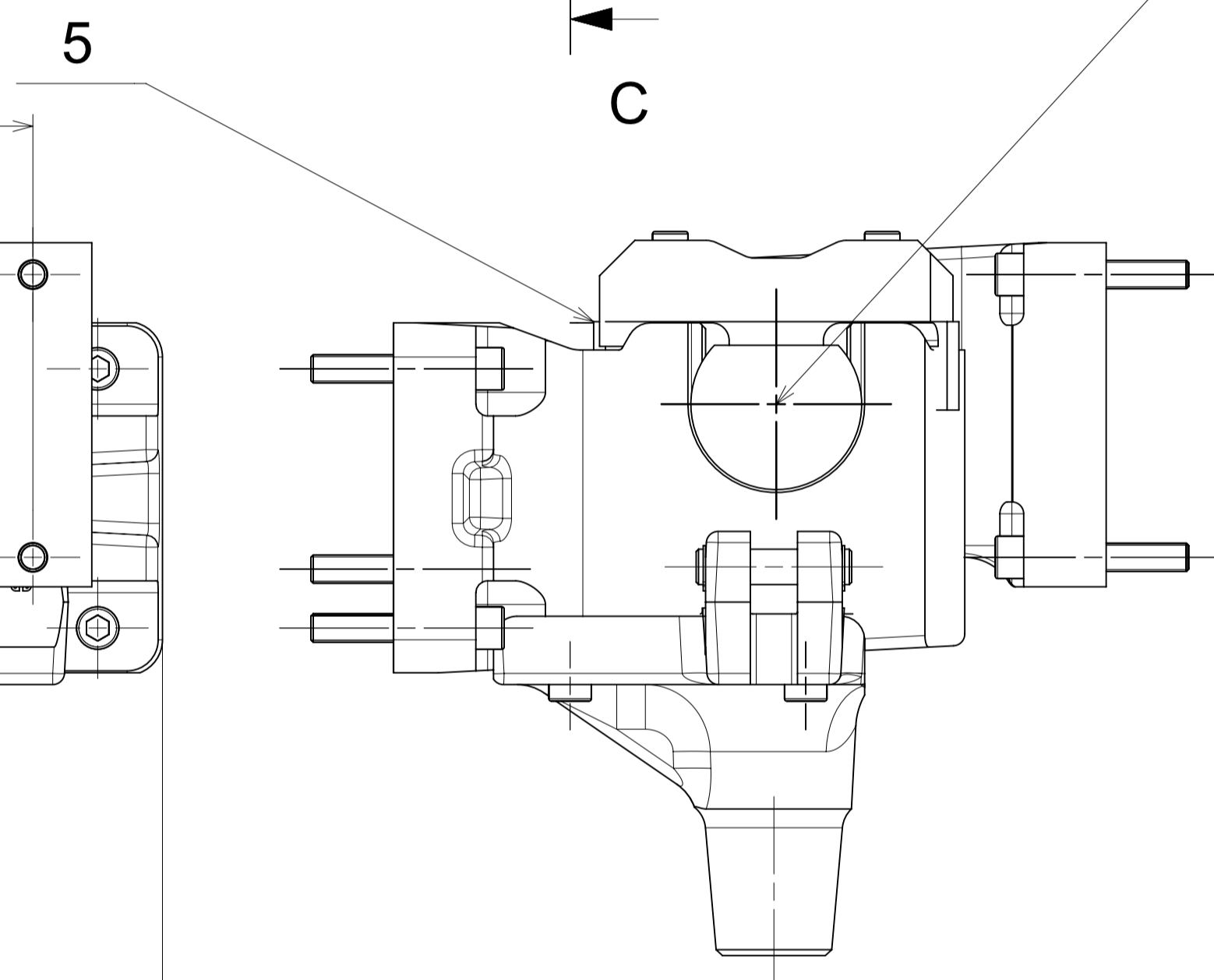
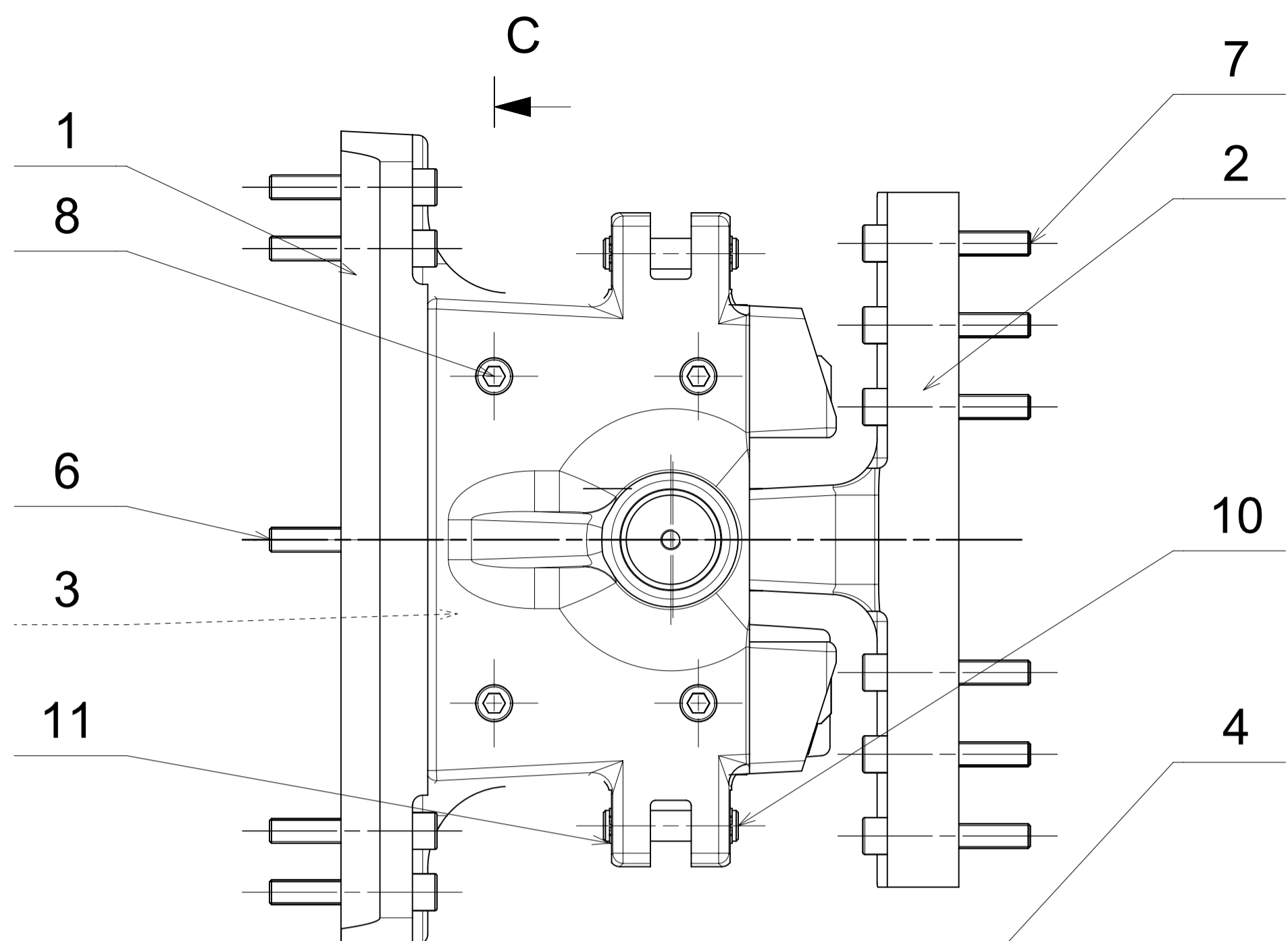
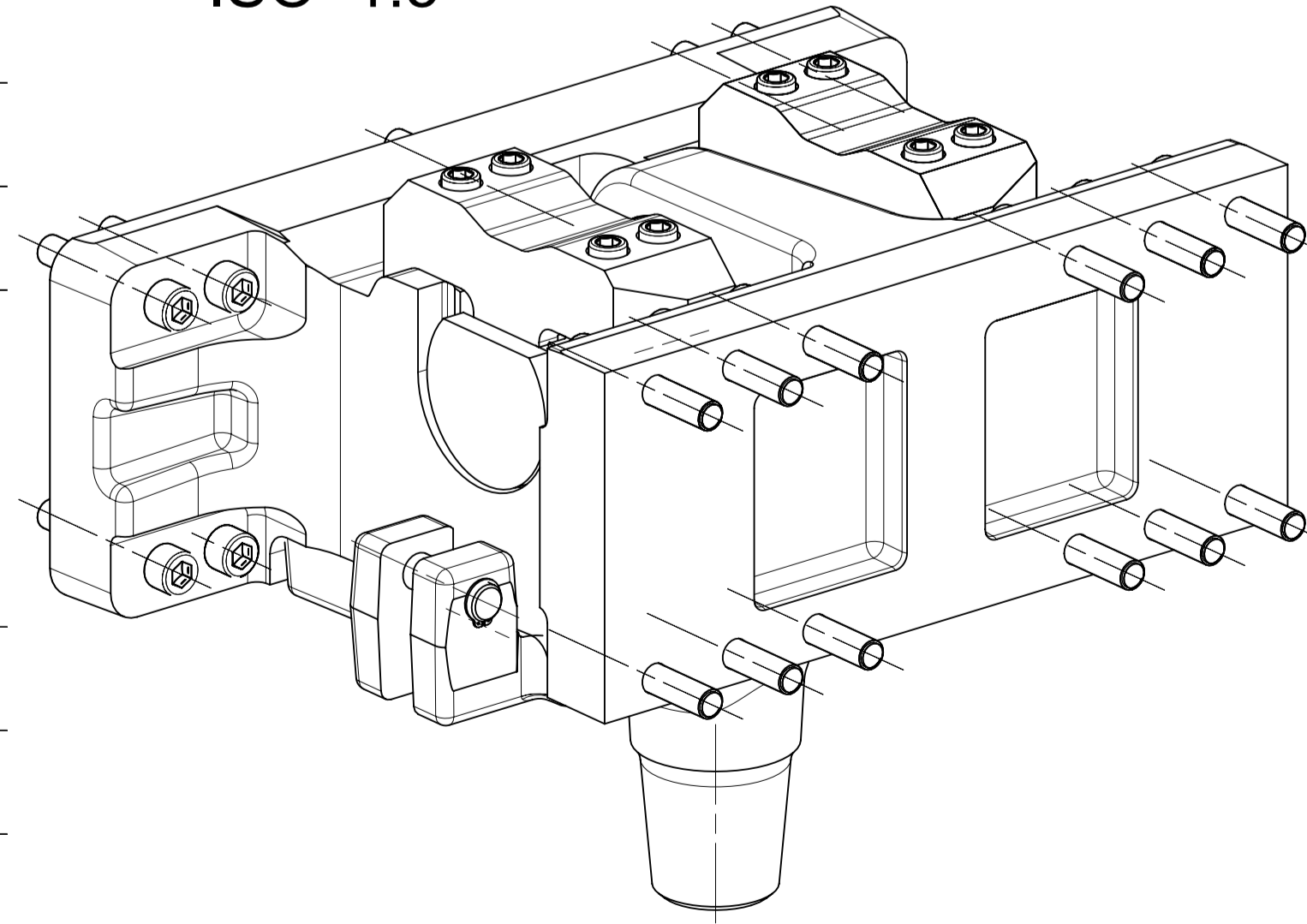
B-B 1:5



A-A 1:5

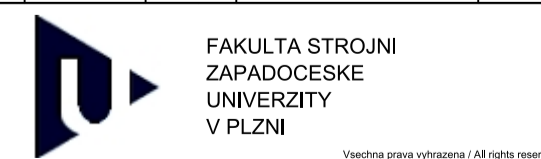


ISO 1:5



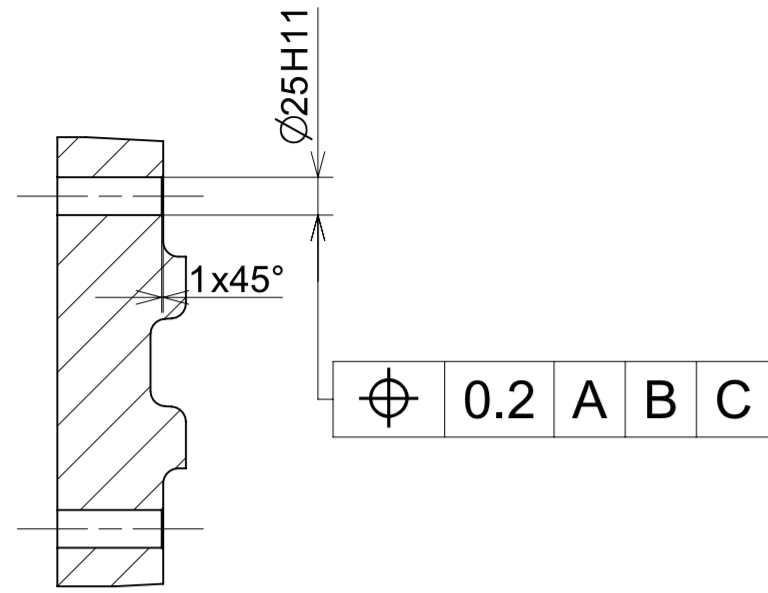
Pos.	Název - rozmiar	Polotovár	Material konečný/výchozí	T.O.	C.hmot	Hr.hmot	Číslo výkresu	Počet ks.
11	Pojistný kroužek				0,05		DIN 471	4
10	Cep 30x132		S235		0,60		DP KKS 18 - 06/1	2
9	Sroub M20x100				0,88		DIN 912	8
8	Sroub M24x120				1,16		DIN 912	4
7	Sroub M24x140				1,31		DIN 912	20
6	Sroub M24x160				1,44		DIN 912	2
5	Prezka		S235		10,92		DP KKS 18 - 05/1	2
4	Nosný hřídel		S355		30,28		DP KKS 18 - 04/1	1
3	Trn		G24Mn6		107,1		DP KKS 18 - 03/1	1
2	Kloub zaveseny		G24Mn6		150,0		DP KKS 18 - 02/1	1
1	Kloub zavesny		G20Mn6		326,3		DP KKS 18 - 01/1	1

Číslo / Title	Datum / Date	Jméno / Name	Projekt / Project	Meritvo / Scale
Kreslí / Drawn by	10. 5. 2019	Josef Waldmann	1	1:5
Projekční / Checked by			0001	
Schválí / Approved by			653,20	
Index změny / Index change				
Tolerance / Tolerovani		Soubor-model / ASM-file	Projekt / Project	Meritvo / Scale
ISO 128		ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-výkres / DRW-file	1:5
Kloub		Kloub_Jakobs	C.hmot.sestavy / Assembly No.	0001
Kloub		Kloub_Jakobs	C.hmot.sestavy	653,20
0		DP KKS 18 - 00/1	Číslo výkresu / Drawing No.	0001
1		DP KKS 18 - 00/1	Číslo výkresu / Drawing No.	0001

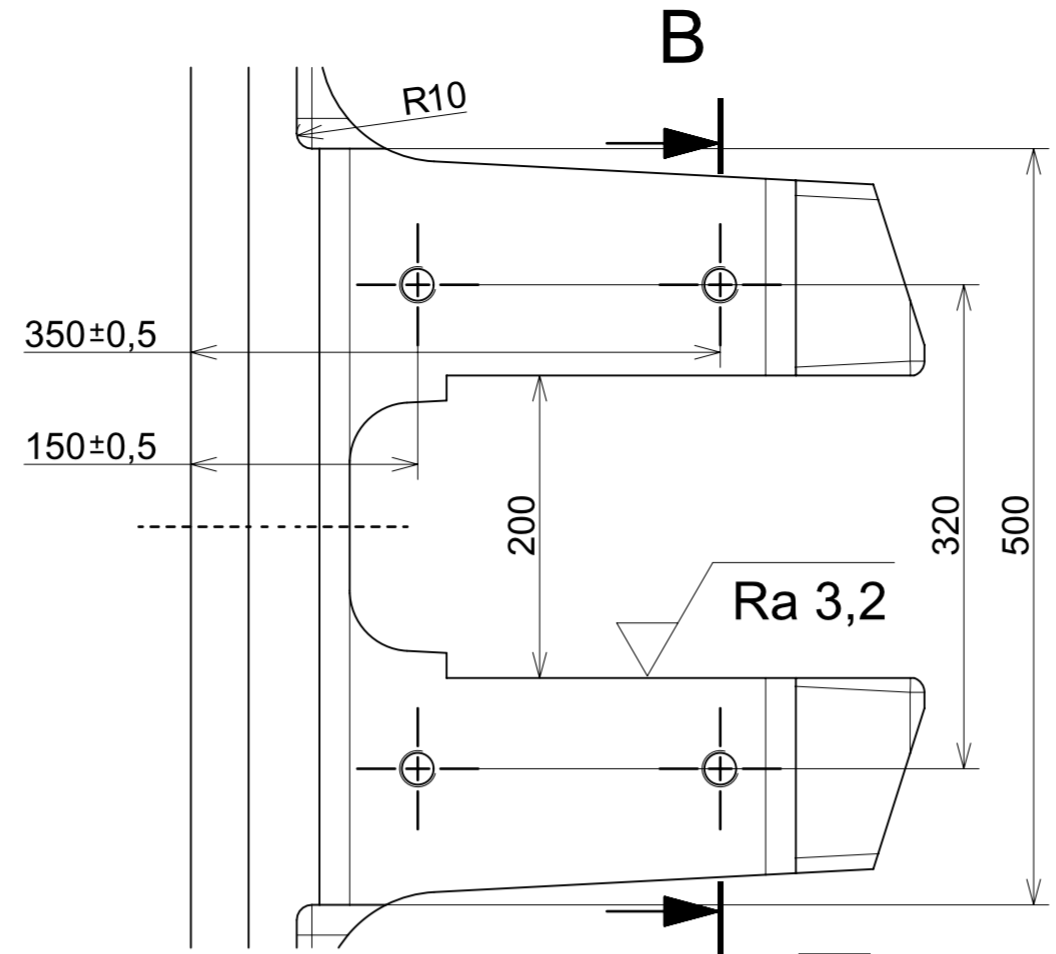


FAKULTA STROJNÍ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERSITY
V PLZNI

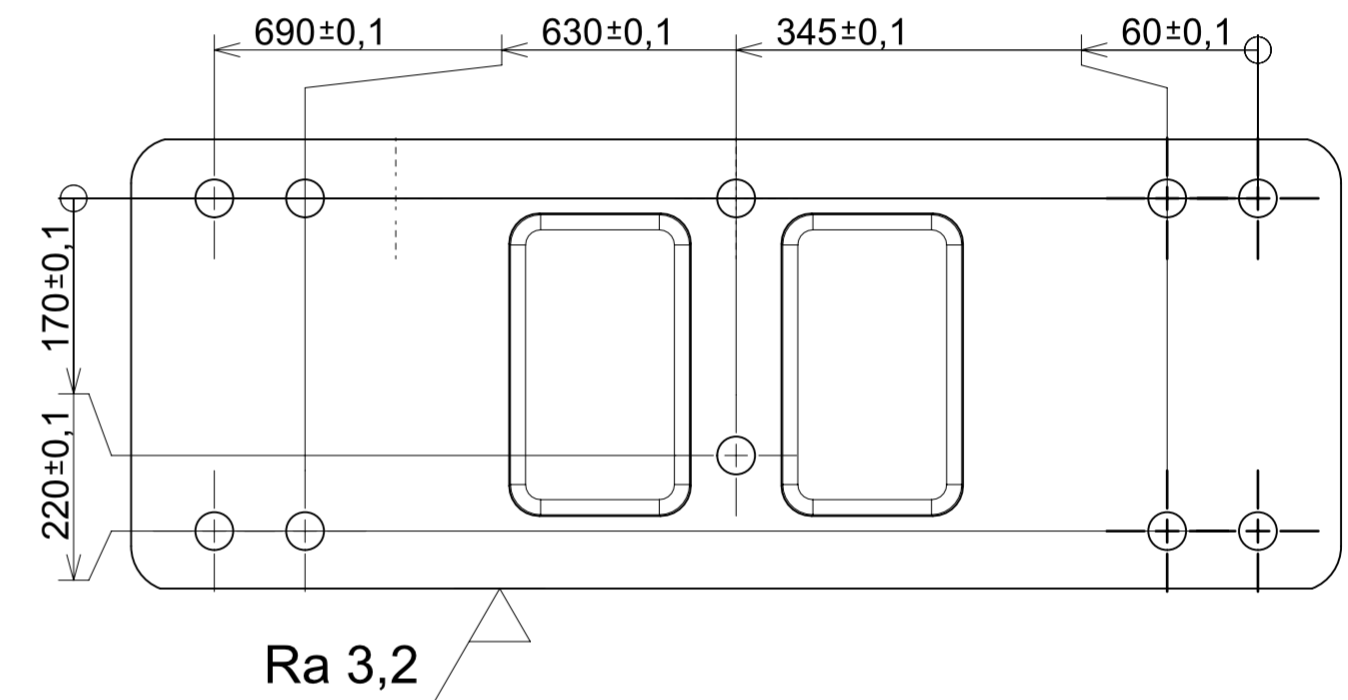
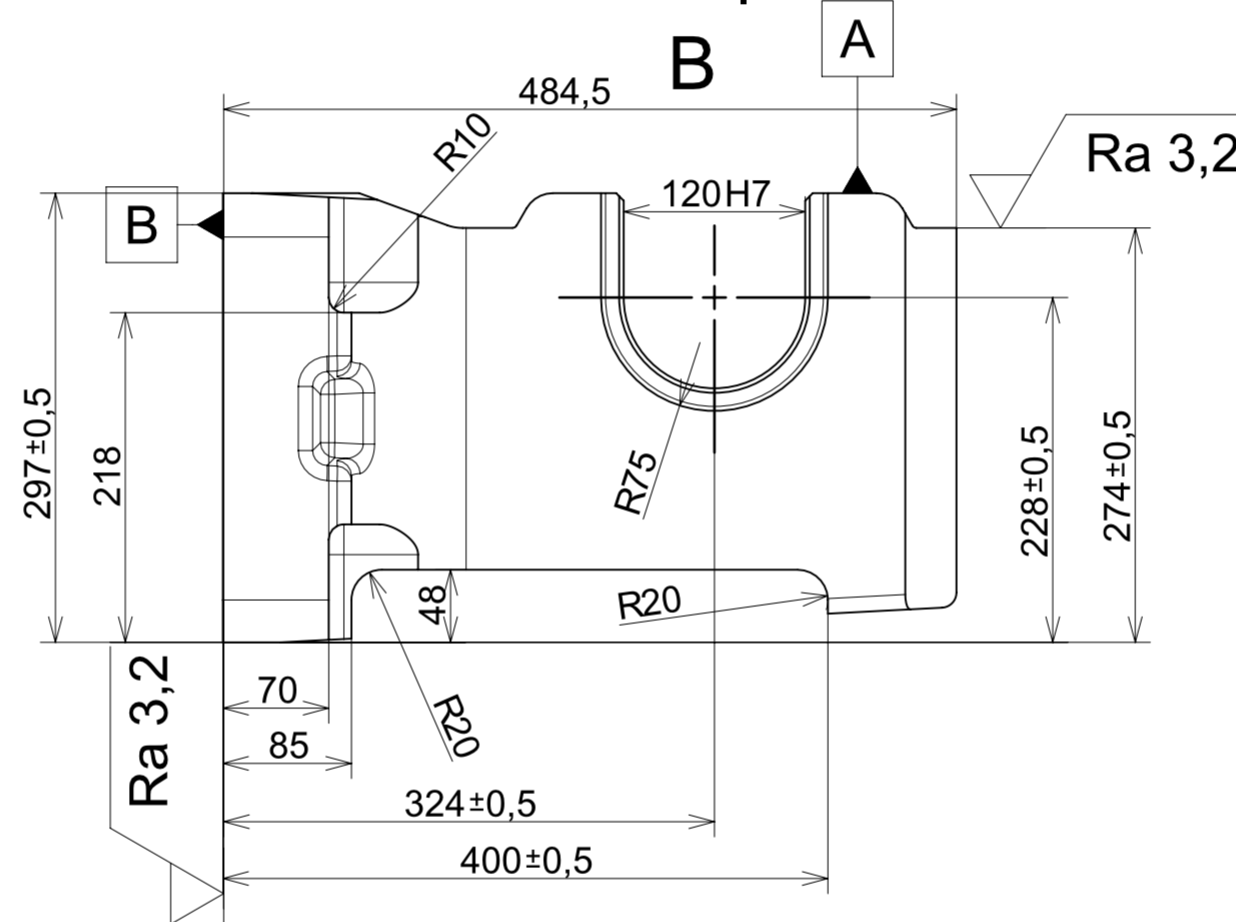
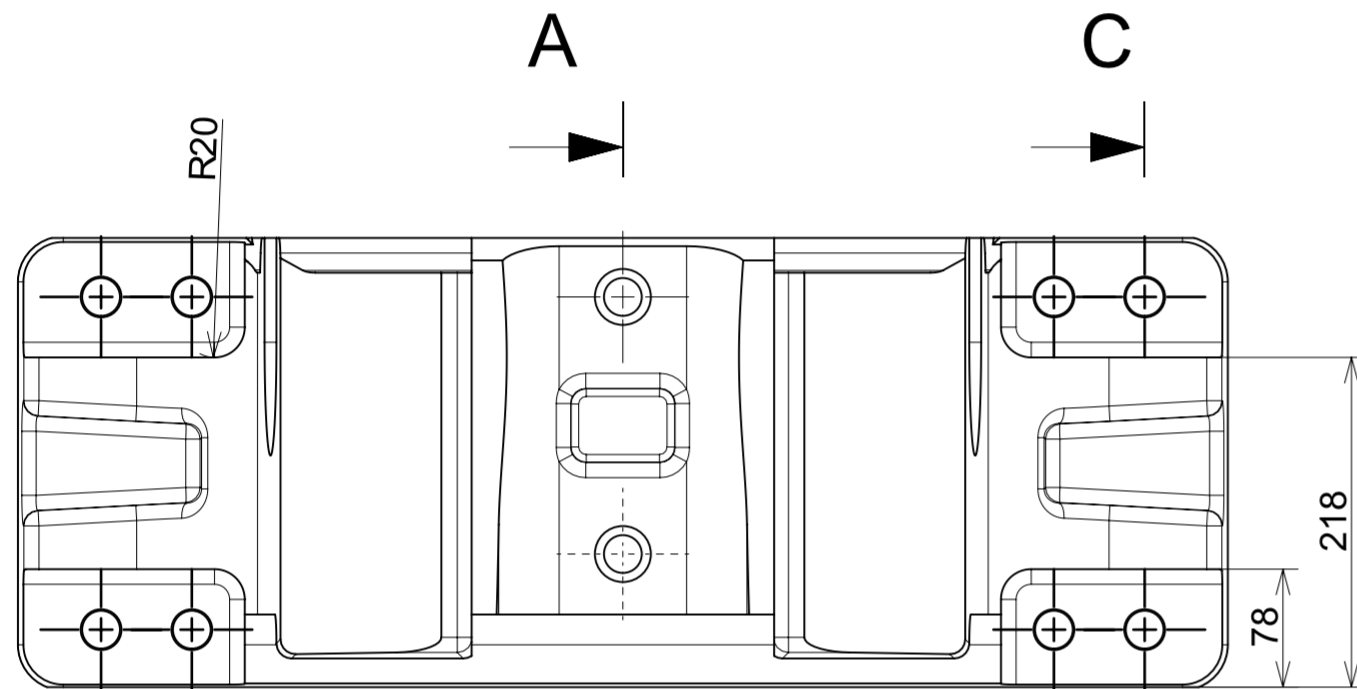
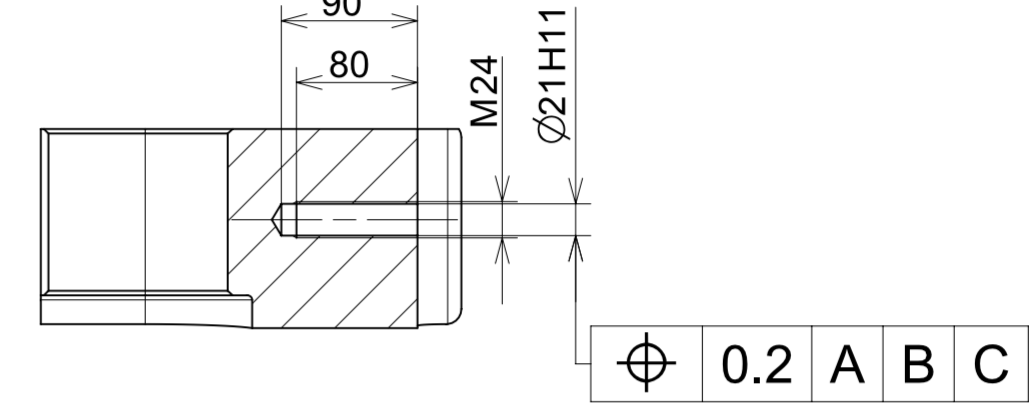
C-C 1:5



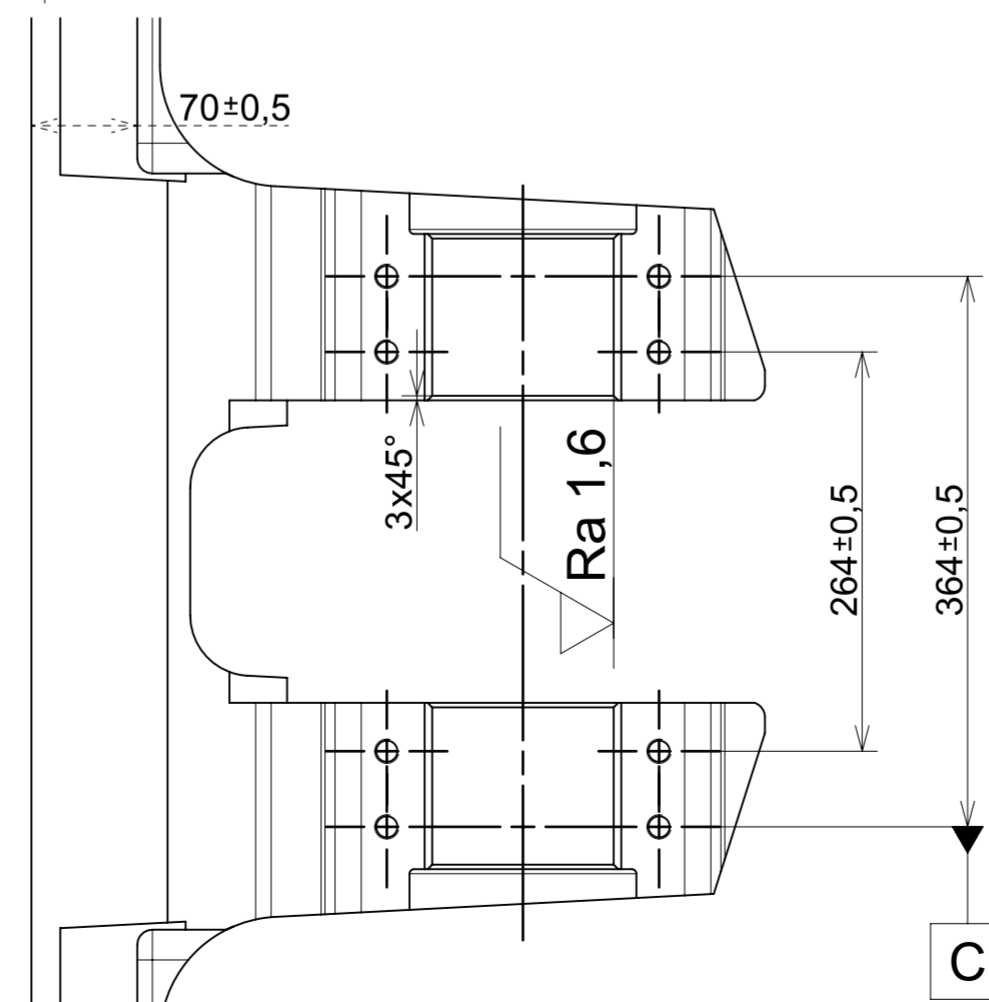
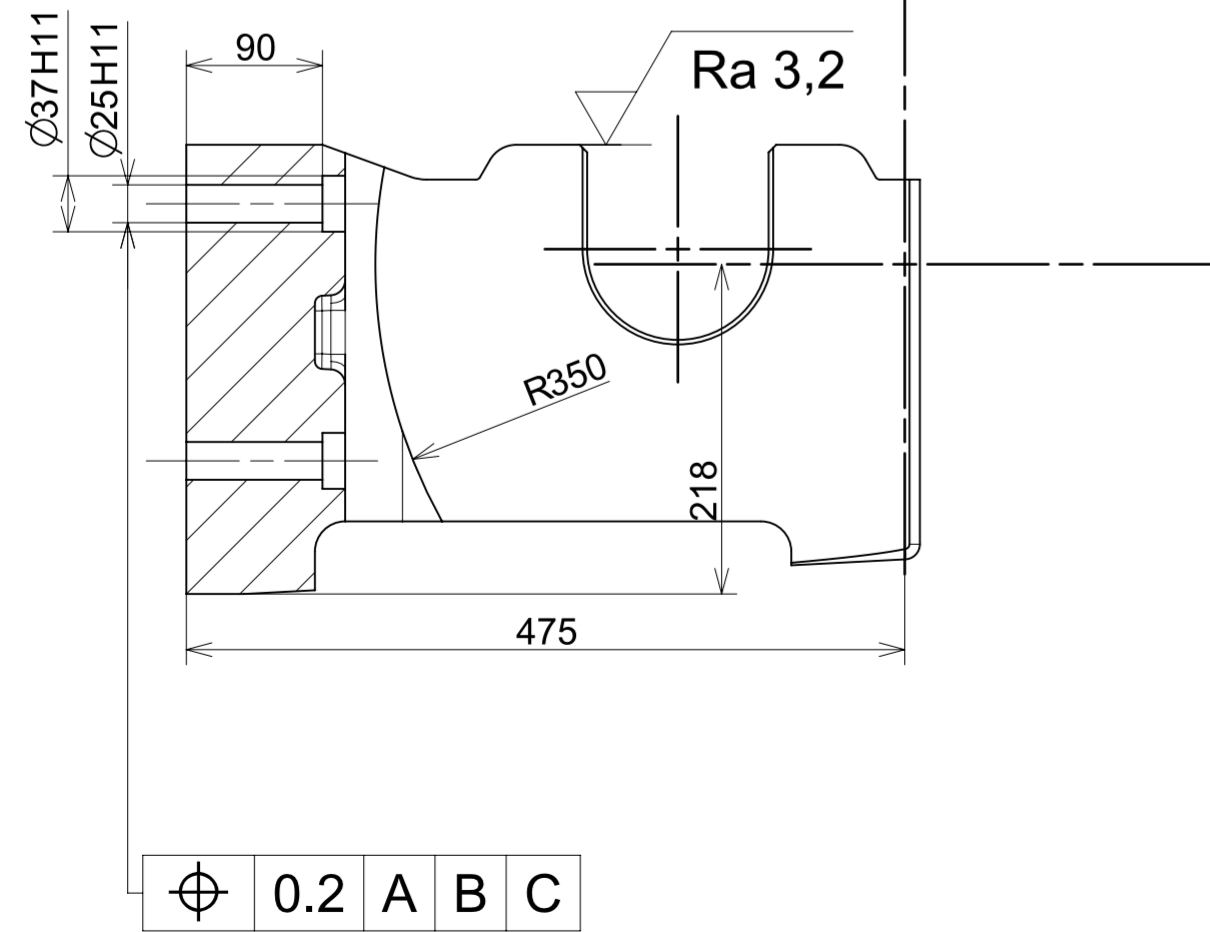
✓ (Ra 3,2)




B-B 1:5



A-A 1:5



CAD 1		Datum / Date		Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Všetchna prava vyhrazena / All rights reserved</small>	
Kreslil / Drawn by		10. 5. 2019		Josef Waldmann			
Prezkoušel / Checked by						Projekt / Project: 1 Meritko / Scale: 1:5	
Schválil / Approved by							
Index zmeny		Popis zmeny / change description		Schval. / APP		Datum / Date	
						Podpis / Signature	
						Poznamka / Note:	
Tolerance / Tolerovani		Soubor-model / ASM-file		zavesny clen		Projekt / Project: 1	
ISO 128		ISO 8015 ISO 2768mK		Soubor-yrkres / DRW-file		zavesny clen	
Nazev / Title		Zavesny clen		Rev.		Cislo vykresu / Drawing No. DP KKS 18 - 00/1	
				0		Cislo vykresu / Drawing No. DP KKS 18 - 01/1	
						Format: A2	
						List / sheet no. 1 Pocat listu / sheets 1	