

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: Dopravní a manipulační technika

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Dimenzování podvozku železničního vozu na vysoké kolové zatížení

Autor: **Lukáš Kožíšek**

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

Akademický rok 2017/2018

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš KOŽÍŠEK**

Osobní číslo: **S15B0127P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**

Název tématu: **Dimenzování podvozku železničního vozu na vysoké kolové zatížení**

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:

Cílem je vytvoření podélníku podvozku pro vysoké nápravové zatížení 25t a rychlost podvozku 40km/h.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Úvod (seznámení, porovnání řešení podvozku s jinými podvozky)
2. Vytvoření 3D modelu podvozku
3. Pevnostní výpočet rámu podvozku metodou konečných prvků
4. Vytvoření typového výkresu podvozku
5. Vytvoření výrobního výkresu zadané části rámu

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah kvalifikační práce: **30-40 stran A4**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**  
Seznam odborné literatury:

**HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla I. PLZEŇ: ZČU - KKS, 2007**

**HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla II. PLZEŇ: ZČU - KKS, 2009**


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

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**  
Katedra konstruování strojů  
Konzultant bakalářské práce: **Bc. Miloš Toman**  
Legios a.s., Louny

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2017**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **21. května 2018**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 19. září 2017

### **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

## ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Kožíšek	<b>Jméno</b> Lukáš	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	Dopravní a manipulační technika		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Heller,CSc.	<b>Jméno</b> Petr	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Dimenzování podvozku železničního vozu na vysoké kolové zatížení		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	46	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	42	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b> <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Úkolem této práce je navrhnout podvozek železničního vozu pro vysoké kolové zatížení, nadimenzovat ho a provést simulaci metodou konečných prvků. Podvozek je stavby Diamond v provedení svařence.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b> <b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b>	Podvozek, železniční vůz, dimenzování, MKP, Podélník, NX11

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Kožíšek	<b>Name</b> Lukáš	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Transport and handling machinery		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Heller,CSc.	<b>Name</b> Petr	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del><b>DIPLOMA</b></del>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Dimensioning of the railway wagon bogie to a high loading of the wheels		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2018
----------------	------------------------	-------------------	----------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	46	<b>TEXT PART</b>	42	<b>GRAPHICAL PART</b>	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b> <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The task of this work is to design the chassis of the railway wagon for high wheel load, to over-dimension it and perform the finite element simulation. Chassis is a Diamond construction in the welding design.
<b>KEY WORDS</b>	Bogie, railway wagon, dimensioning, FEM, longitudinal, NX11

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Petru Hellerovi, CSc., za odborné vedení práce, cenné rady, připomínky a vynikající spolupráci. Zároveň bych chtěl poděkovat firmě Legios Loco a.s., že jsem u nich mohl tuto bakalářskou práci vypracovat a panu Miloši Tomanovi za rady ohledně konstrukce podvozků kolejových vozů. V neposlední řadě bych chtěl také poděkovat svojí rodině za podporu a mým pěti přátelům z ročníku za to, že se k mé práci nebáli být kritičtí a dali mi tak podněty k neustálému zlepšování.

# Obsah

Obsah.....	8
Seznam použitých symbolů.....	10
1 Úvod.....	12
1.1 Cíl práce.....	12
2 Rešerše kolejových podvozků a pojezdů.....	13
2.1 Pojezdy nákladních vozů .....	13
2.1.1 Dvounápravový pojezd .....	13
2.1.2 Třínápravový pojezd .....	13
2.2 Podvozky nákladních vozů.....	14
2.2.1 Podvozky typu Y25 .....	14
2.2.2 Podvozek stavby Diamond.....	15
2.2.3 Podvozek 26.2.8 .....	17
2.2.4 Podvozek UIC 30 .....	18
2.2.5 Podvozek DB BA 714.3 .....	18
2.2.6 Podvozky Y37VR a Y37VVR .....	19
3 Návrh řešení .....	20
3.1 3D Model.....	21
3.1.1 Podélník.....	21
3.2 Výpočet zatěžujících sil.....	22
3.3 Výpočet šroubových spojení .....	24
3.3.1 Příložky .....	25
3.3.2 Ložisková skříň .....	27
3.4 MKP Simulace.....	28
3.4.1 Idealizovaná součást.....	28
3.4.2 Síť.....	30
3.4.3 Spojení sítě.....	32
3.4.4 Okrajové podmínky.....	33
3.4.5 Výsledky výpočtu.....	34
3.4.6 Vyhodnocení napětí.....	36
3.4.7 Vyhodnocení posunutí.....	37
3.4.8 Vyhodnocení reakcí v ložiskách .....	37



4	Závěr.....	38
	Zdroje .....	40
	Seznam obrázků .....	41
	Seznam tabulek .....	42
	Seznam příloh.....	42
	Seznam výkresů.....	42

## Seznam použitých symbolů

Veličina	Jednotka	Název
$a_s$	[m]	šířka skříně
$b_s$	[m]	délka skříně
$d_{šp}$	[mm]	minimální průměr šroubu příložky
$d_{šs}$	[mm]	minimální průměr šroubu skříně
$f$	[-]	koeficient tření
$F_o$	[N]	osová síla v příložce
$F_{šp}$	[N]	síla ve šroubu příložky
$F_{šs}$	[N]	síla ve šroubu skříně
$F_{tř p}$	[N]	třecí síla na příložce
$F_{x1 \max}$	[N]	podélná síla působící na podélník
$F_{y1 \max}$	[N]	příčná síla působící na podélník
$F_z$	[N]	zatížení na podvozek
$F_{z po}$	[N]	svislé zatížení nesené podvozkem
$F_{zp \max}$	[N]	výjimečné svislé zatížení nesené podvozkem
$g$	[m*s <sup>-2</sup> ]	gravitační zrychlení (9,81 m*s <sup>-2</sup> )
$h_s$	[m]	rameno na kterém působí $F_{y1 \max}$
$i_d$	[-]	počet šroubů
$i_s$	[-]	počet šroubů držící skřín
$k_p$	[-]	bezpečnost šroubu příložky
$k_s$	[-]	bezpečnost šroubu skříně
$m$	[kg]	nápravové zatížení
$m^+$	[kg]	hmotnost podvozku
$m_p$	[kg]	hmotnost příčnicku
$M_s$	[Nm]	moment od síly $F_{y1 \max}$
$R_e$	[MPa]	mez kluzu
$R_{e š}$	[MPa]	mez kluzu šroubu
$R_{esv}$	[MPa]	mez kluzu svaru
$r_p$	[m]	rameno síly $F_{y1 \max 1/2}$
$r_s$	[m]	rameno síly $F_o$
$S_p$	[mm <sup>2</sup> ]	minimální průřez šroubu příložky
$S_s$	[mm <sup>2</sup> ]	minimální průřez šroubu skříně
$W_o$	[m <sup>3</sup> ]	modul odporu v ohybu
$\alpha$	[-]	převodní součinitel
$\sigma$	[MPa]	napětí

$\sigma_c$	[MPa]	celkové napětí
$\sigma_o$	[MPa]	napětí od ohybu
$\sigma_p$	[Mpa]	napětí od přítláčné síly

# 1 Úvod

Železniční nákladní doprava patří stále mezi jedny z nejdůležitějších forem dopravy. Její důležitá pozice je v hromadné přepravě na větší vzdálenosti. Jedním z moderních trendů je pak kontejnerová přeprava. V současné době je většina spotřebního zboží přepravována kontejnery, které mohou být dopraveny z jiných částí světa lodí a nakonec kamionem k zákazníkovi. Mezičlánkem je železniční doprava. Tento způsob je velice efektivní a flexibilní, neboť jeho jediným požadavkem je jen vozová skříň uzpůsobená k přepravě kontejnerů. Kolejových podvozků se však užívá i např. v závodech ve formě dopravníků nebo tam, kde je třeba přepravit těžké součásti po určité trase.

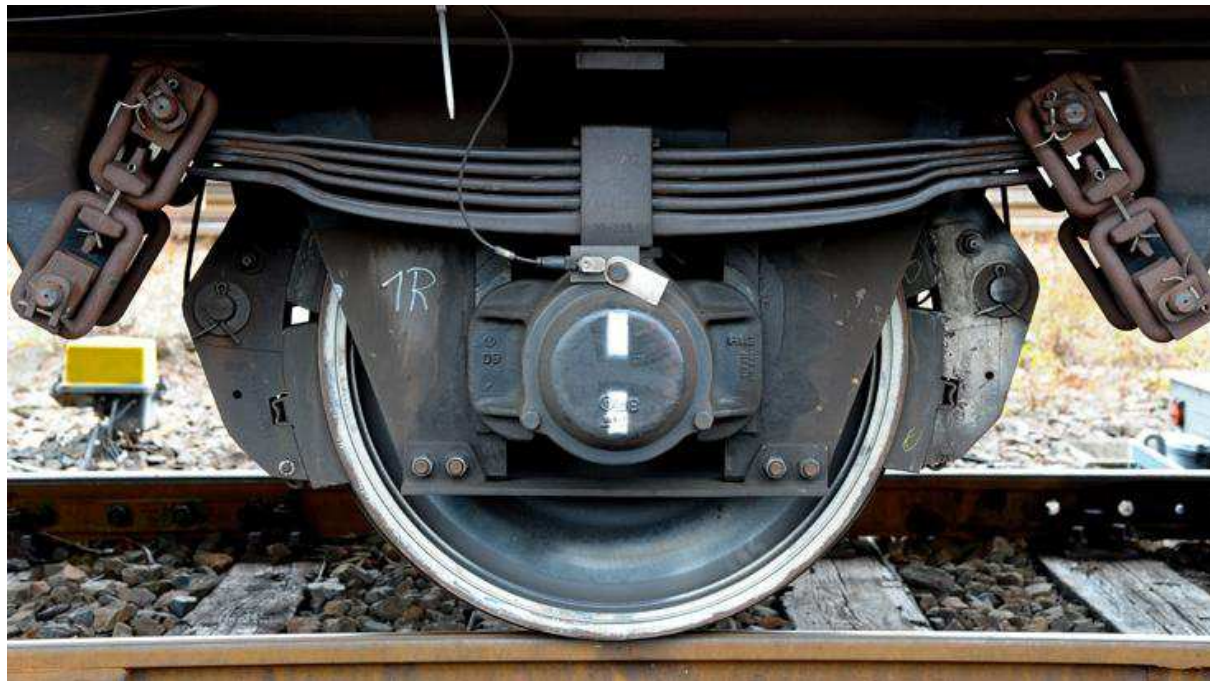
## 1.1 Cíl práce

Cílem práce bude navrhnout podvozek kolejového vozu pro vysoké kolové zatížení a metodou konečných prvků provést pevnostní výpočet rámu podvozku. Tento podvozek bude jezdit malou rychlostí přibližně do 40km/h. Dalším omezením, kterým je se třeba při návrhu řídit, je rozchod kolejí, který je v Evropě 1435mm. Dalším kritériem je zatížení nápravy 25t.

## 2 Rešerše kolejových podvozků a pojezdů

### 2.1 Pojezdy nákladních vozů

Jedná se o nejjednodušší provedení kolejového vozidla, kdy je dvojkolí upevněno přes ložiskovou skříň a pružící elementy přímo k vozové skříni. Vypružení se skládá z listových pružnic, které jsou uchyceny k rámu vozu přes šikmé zavěšení. Ložisková skříň je připevněna k pružnicím objímkou a ke skříni vozu rozsochami. Toto provedení je vidět na obrázku 1. [1]



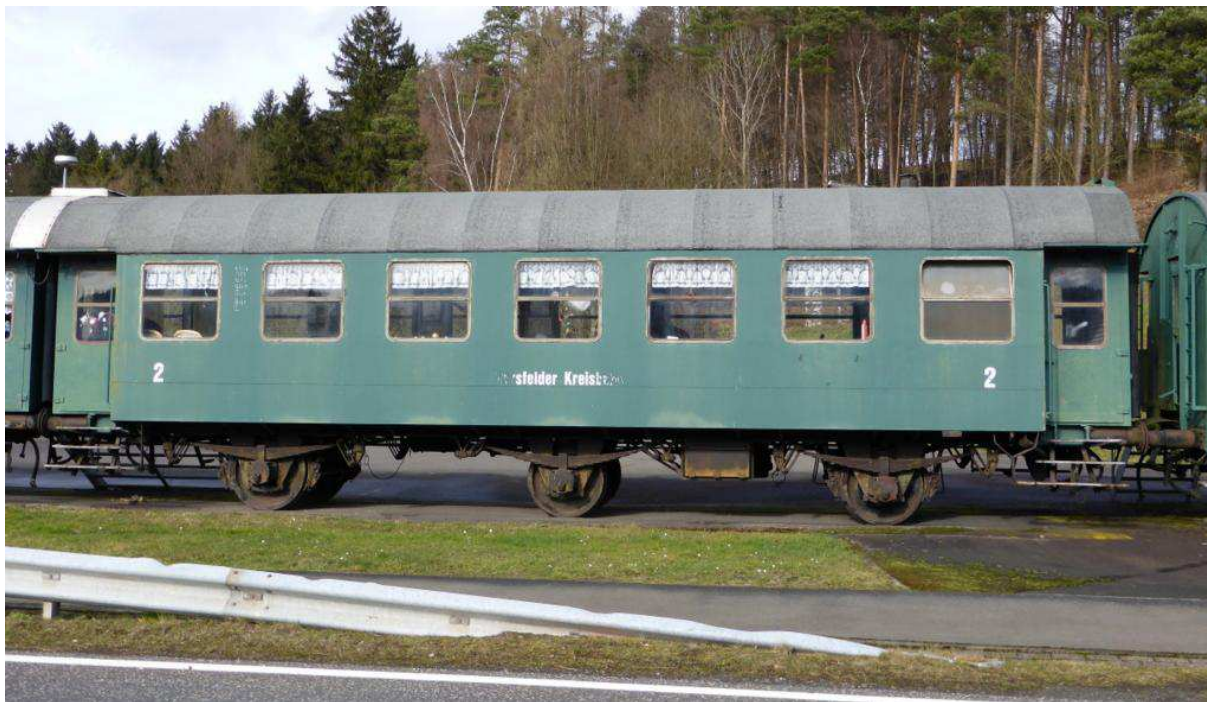
Obrázek 1: Nepodvozkový pojezd [2]

#### 2.1.1 Dvounápravový pojezd

Při tomto provedení jsou ke skříni kolejového vozidla uchyceny dvě dvojkolí na obou stranách rámu. Nevýhodou tohoto řešení je nízká nosnost a také omezení délky rámu. Při rozvoru nad 4,5m musí být použito rejdové dvojkolí, které umožňuje natáčet pojezd v radiálním směru. [3]

#### 2.1.2 Třínápravový pojezd

U třínápravového pojezdu je doprostřed rámu umístěna třetí náprava. Tím se dosáhne zvýšení únosnosti při zachování nápravového zatížení. Při průjezdu obloukem vybočuje toto dvojkolí mimo, z tohoto důvodu na něm byly zmenšeny okolky nebo bylo uděláno jako příčně posuvné. Tato konstrukce je na obrázku 2. [3]



Obrázek 2: Třínápravový pojezd [4]

## 2.2 Podvozky nákladních vozů

### 2.2.1 Podvozky typu Y25



Obrázek 3: Podvozek Y25 [7]

#### 2.2.1.1 Y25

Tento podvozek byl v druhé polovině minulého století přijat Mezinárodní železniční unií jako standardizovaný. Podvozek má jednolitá kola o  $\varnothing 920$  mm, rozvor dvojkolí je 1800mm. Je určen pro nápravové zatížení 21t při rychlosti do 80km/h, 18t při rychlostech do 100km/h a

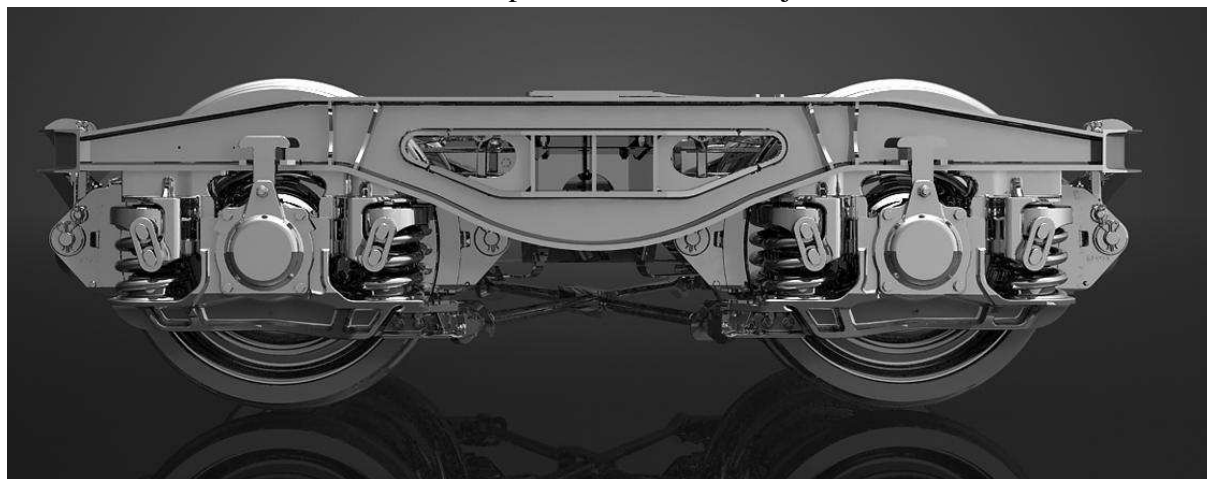
16t při rychlostech do 120km/h, ukázka je vidět na obrázku 3. [5] Základem podvozku je uzavřený svařovaný rám ke kterému je přes primární šroubovité vypružení připevněna ložisková skříň, která se pohybuje ve vedení rozsoch. Rázové účinky, které působí na podvozek jsou tlumeny pomocí mechanismu na jedné pružině primárního vypružení. Při stlačení pružiny se přes závěsku přenesou tahová síla pružiny na sílu talíře, která tlačí na ložiskovou skříň a tlumí její pohyb. [6] Podvozek je brzděn jednošpalíkovou brzdovou zdrží a vyrábí se ve spoustě odvozených typech, které se liší hmotností, maximálním nápravovým zatížením a maximální povolenou rychlostí. Základní typ váží 4,5t.

### 2.2.1.2 Y25 Lss

Jako další stojí za zmínku Y25 Lss. Tento model má maximální hmotnost na nápravu 22,5t při rychlosti 120km/h. Objevila se zde potřeba brzdit větší hmoty a tak jsou zde použity navíc čtyři brzdové kotouče o rozměrech  $\varnothing 590 \times 110$  mm. Jeho hmotnost také oproti základnímu typu vzrostla na 5,3t. [5]

### 2.2.1.3 TVP2007

Posledním zmíněným podvozkem z rodiny Y25 je TVP2007 ze slovenské Tatranvagonky Poprad. Jedná se o moderní podvozek, který má nápravové zatížení 22,5 t při rychlosti do 120km/h a 25t při rychlosti do 100km/h. Oproti základnímu typu je u něj tlumení ložiskové skříň i u druhé z dvojice pružin, kterými je uchycena, jak je vidět na obrázku 4. Dvojkolí je pak spojeno křížovou vazbou. Tyto úpravy přispívají ke zlepšení jízdních vlastností. Hmotnost tohoto podvozku je 4,75t. [8]

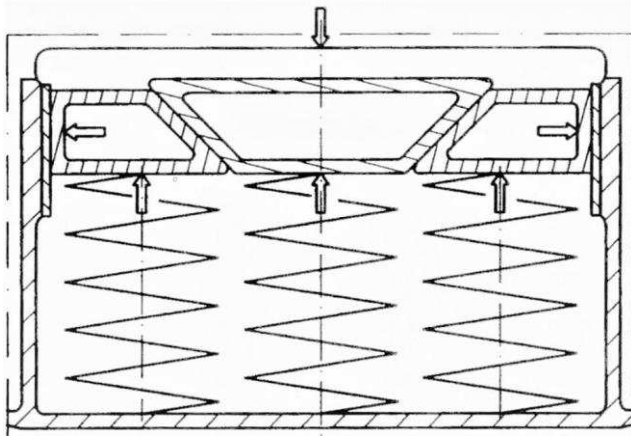


Obrázek 4: Podvozek TVP2007 [8]

## 2.2.2 Podvozek stavby Diamond

Tento podvozek je jedním z nejpoužívanějších u nákladních vozů na světě. V různých úpravách je instalován do konstrukce vozů v USA, Kanadě, Číně, Rusku a Austrálii. První varianty měli podélníky nýtované z ocelových profilů. Od poloviny minulého století se přistoupilo k odlévání jednotlivých dílů podvozku. [5] Charakteristickým rysem tohoto řešení je absence primárního vypružení. Je zde jen sekundární vypružení, které se skládá ze šroubových pružin umístěných mezi podélník a příčník. Místo primárního vypružení je

ložisková skříň uchycena poddajně a je jí umožněno malého naklápění vůči podélníku. Příčník se pohybuje v kluzném vedení. Je zde možná radiální vůle, která je nutná kvůli chybějícímu prvotnímu vypružení a působí tak proti vykolejení podvozku. Tlumení je obstaráno třením klínů o vedení na podélníku podle obrázku 5 nebo tlumičem umístěným na konci příčníku a spodní části podélníku jako na obrázku 6.



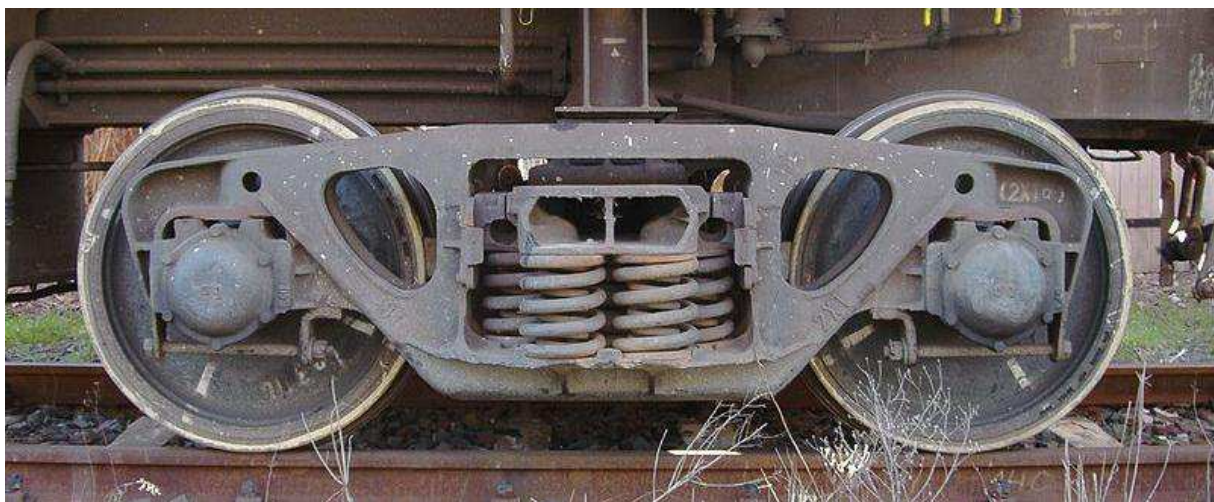
Obrázek 5: Diamond s třecím tlumením [5]



Obrázek 6: Diamond s tlumičem [10]

### 2.2.2.1 2XTa

Je podvozek stavby Diamond používaný na výsypném nákladním voze Facppp (typ Chopper 23.sk.). Má dvě nápravy s rozvorem 1850mm, průměrem dvojkolí  $\varnothing 960\text{mm}$  a průměrem čepu  $\varnothing 120\text{mm}$ . Polotovary pro podélník a příčník jsou odlitky. Dvojkolí je uloženo na válečkových ložiskách. 2XTa má 4 špalíkové brzdy. Podvozek má velmi jednoduchou konstrukci. Nápravové zatížení je 20,5t, bohužel při malé rychlosti 80km/h. [14]



Obrázek 7: Podvozek 2XTa [9]



### 2.2.3 Podvozek 26.2.8

Tento podvozek, také nazývaný středoevropský, byl nejčastějším podvozkem na nákladních vozech tehdejších ČSD. Jeho konstrukce je uzavřený rám skládající se z příčnicku skříňového tvaru, ke kterému jsou přivařeny dva lisované podélníky. Ty jsou spojeny na stranách čelníky a torzní tuhosti ještě pomáhají vzpěry. V místě uchycení ložiskových skříní jsou na podélnících přinýtovány vodící příložky. Ty umožňují jen malé příčné vůle 2x 1,5mm. Podvozek je zavěšen na osmilistých pružnicích, které jsou schopny jen malého příčného pružení. Z tohoto důvodu je podvozek způsobilý jen rychlosti do 100km/h. [5] U pružnic, které mají zúžené konce, je nutné provádět každé 4 roky defektoskopickou zkoušku. Kdyby se zlomil horní list pružnice, jsou na podélník přivařeny záchytky pružnic, o které se část zlomeného listu opře. [11] Podvozek má osm špalíkových brzd, a jeho rozvor je 2000mm.



Obrázek 8: Podvozek 26.2.8.

## 2.2.4 Podvozek UIC 30

Tento podvozek je ještě dodnes v provozu Českých drah. Charakteristickým znakem tohoto typu je dlouhý podélník, který je svařený z vypálených plechů a také žebrování v místě přivaření příčnicku. Jsou zde listové pružnice podobné stavby jako u typu 26.2.8., ovšem s tím rozdílem, že pružnice jsou zavěšeny na příčně pohyblivých hranicích, jak je vidět na obrázku 9. Má také stejný rozvor 2000mm. [5 ] Brzdy jsou pak také stejné. Jedná se o 8 špalíkových brzd, které brzdí dvojkolí o  $\varnothing 1000\text{mm}$ .



Obrázek 9: Podvozek UIC30[12]

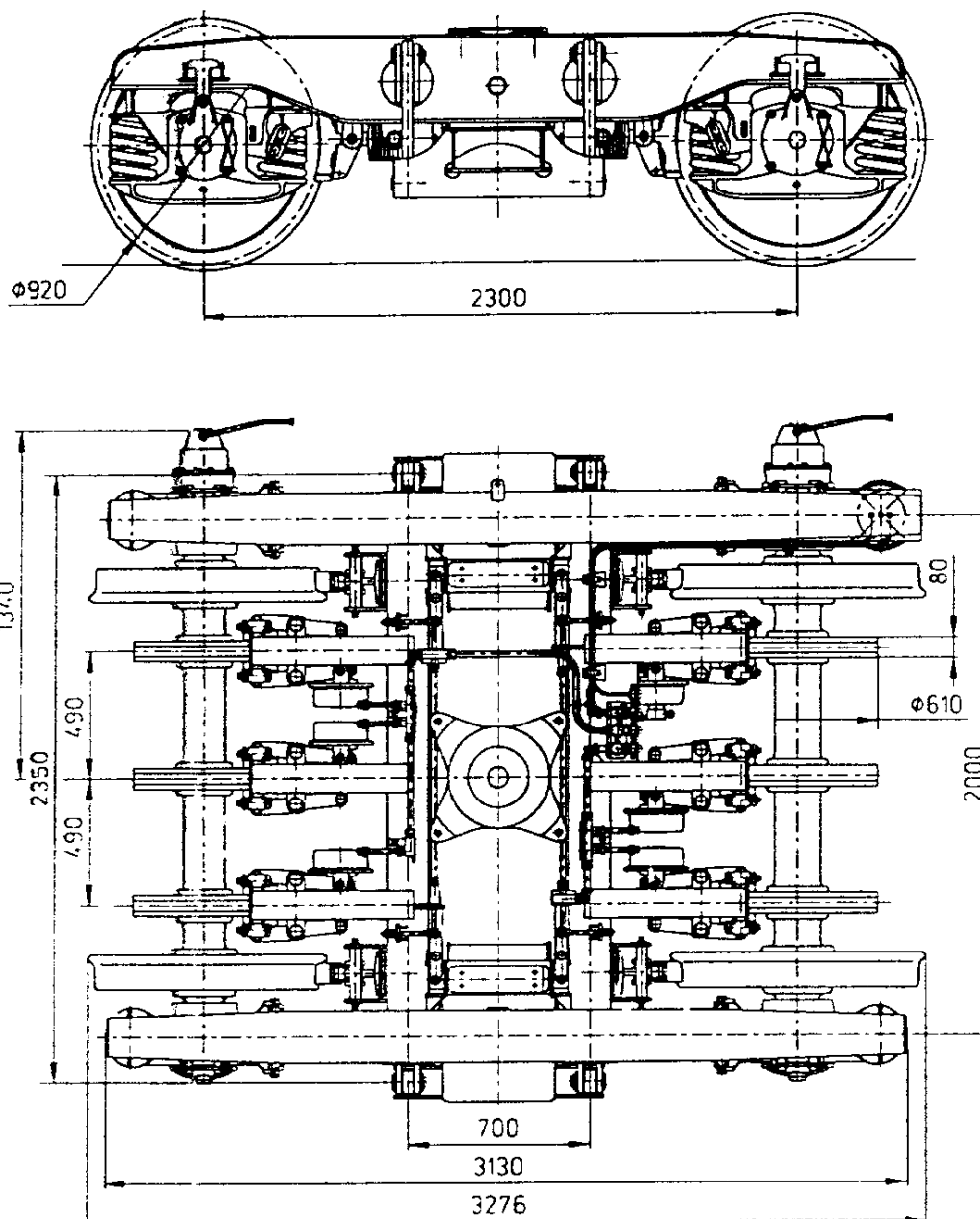
## 2.2.5 Podvozek DB BA 714.3

Jedná se o třínápravový podvozek, který je z plechové svařované konstrukce. Rozvor dvojkolí je  $2 \times 1700\text{mm}$  a rozchod je  $1435\text{mm}$ . Maximální nápravové zatížení je  $22,5\text{t}$  při rychlosti  $100\text{km/h}$  a maximální rychlost je  $120\text{km/h}$  při prázdném voze. V rozsochovém vedení jsou vůle  $2 \times 25\text{mm}$ . Ložiskové skříně jsou vedeny v rozsochách a uchyceny k listové pružnici. K podvozku jsou pružnice přidělány hranatými závěskami.



Obrázek 10: Podvozek 714.3[]

## 2.2.6 Podvozky Y37VR a Y37VVR



Obrázek 11: Podvozek Y37VVR[13]

Y37VR je podvozek pro vysoké rychlosti do 140km/h a jeho druhá varianta Y37VVR pak pro rychlosti do 160km/h. Navzdory velké hmotnosti 5,8t má dovolené nápravové zatížení jen 16t při rychlosti do 160km/h a 18t při rychlosti do 140km/h. Daň si u maximálního nápravového zatížení vybírá vysoká povolená rychlost podvozku. Je zde velký rozvor 2300mm. Kola mají standardní velikost  $\phi 920$ mm. Y37VR má velké příčné vůle, v rozsochovém vedení jsou 2x2mm, příčník má pak příčné vůle v závěškách 2x58mm. Y37VVR má šest kotoučových brzd o rozměrech 610x80mm a čtyři špalíkové brzdy, jak je vidět na obrázku 11, Y37VR má pak kotoučové brzdy čtyři.

### 3 Návrh řešení

Před samotným návrhem je třeba si určit požadavky na podvozek od zadavatele. Těmi jsou určeny pro klasický rozchod koleje 1435mm, nápravové zatížení 45t a rychlosti do 40km/h bez nákladu a 15km/h při plném zatížení. Rozvor náprav je 2000mm, průměr kola je  $\varnothing 920$ mm. Není určen pro klasický železniční provoz, ale pro přepravy těžkých břemen v přístavu Dunkerk. Kvůli vysokému zatížení je z důvodu vypružení zvolen podvozek stavby Diamond. Rám se skládá ze 3 dílů – dvou podélníků a jednoho příčnicku a je otevřený bez čelníků. Jednotlivé díly rámu jsou svařované z běžného konstrukčního materiálu S355J2 +N. Z jeho označení vyplývá že jde o ocel s mezí kluzu 355MPa (pro tloušťky do 16mm), s minimální hodnotou nárazové práce při teplotě  $-20^{\circ}\text{C}$  27J, který je normalizačně žíhaný a vhodný ke svařování. Šroubové pružnice byly nahrazeny talířovým vypružením. Tato konstrukce je schopna přenášet velké síly při menším zástavbovém prostoru. V následující tabulce jsou vypsány výše zmíněné požadavky.

*Tabulka 1: Požadavky a omezení*

Průměr kola	920mm
Rozchod koleje	1435mm
Rozvor	2000mm
Nápravové zatížení	45t
Rychlost bez nákladu	40km/h
Rychlost při plném zatížení	15km/h

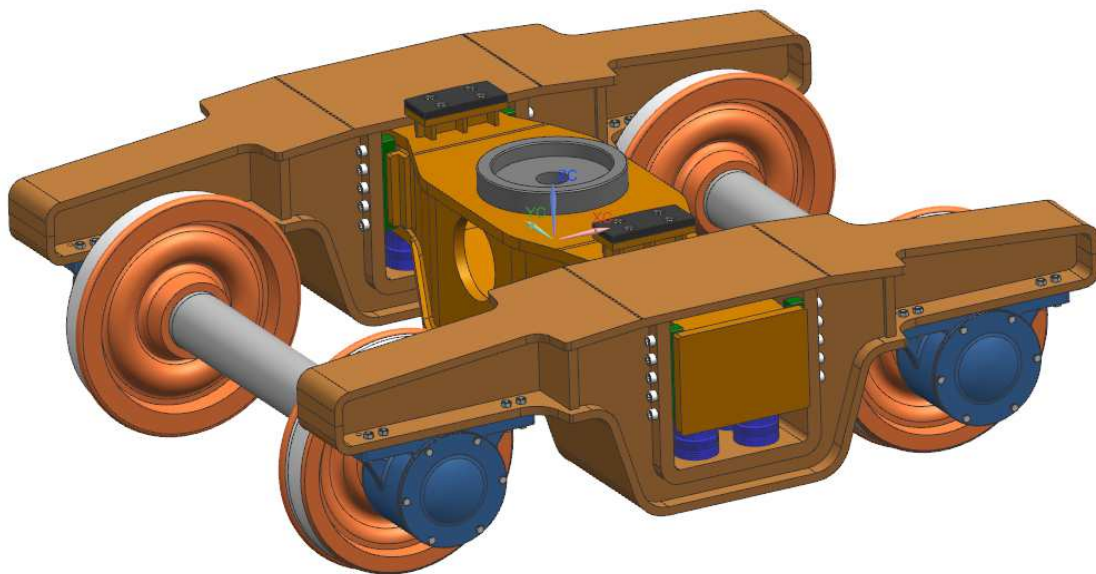
Dvojkolí je uloženo na každé straně ve dvou dvouřadých soudečkových ložiskách, které jsou uloženy v odlitých ložiskových skříních. Ložiskové skříně jsou k podélníkům připevněny šrouby a jejich poloha je zafixována dvěma kalenými kolíky  $\varnothing 20$  m6 s vnitřním závitem pro případnou lehkou demontáž. Příčnick je uložen na talířových pružinách a na každém podélníku se opírá o 4 příložky, které jsou k němu přišroubovány pěti šrouby. Skříň vozu je uložena na příčnicku v ploché torně.

## 3.1 3D Model

Model je vytvořen v programu Siemens NX, který umožňuje snadný návrh i následnou simulaci metodou konečných prvků. Po dokončení modelu můžeme odměřit základní rozměry a údaje o podvozku přímo z modelu.

Tabulka 2: Základní údaje o podvozku

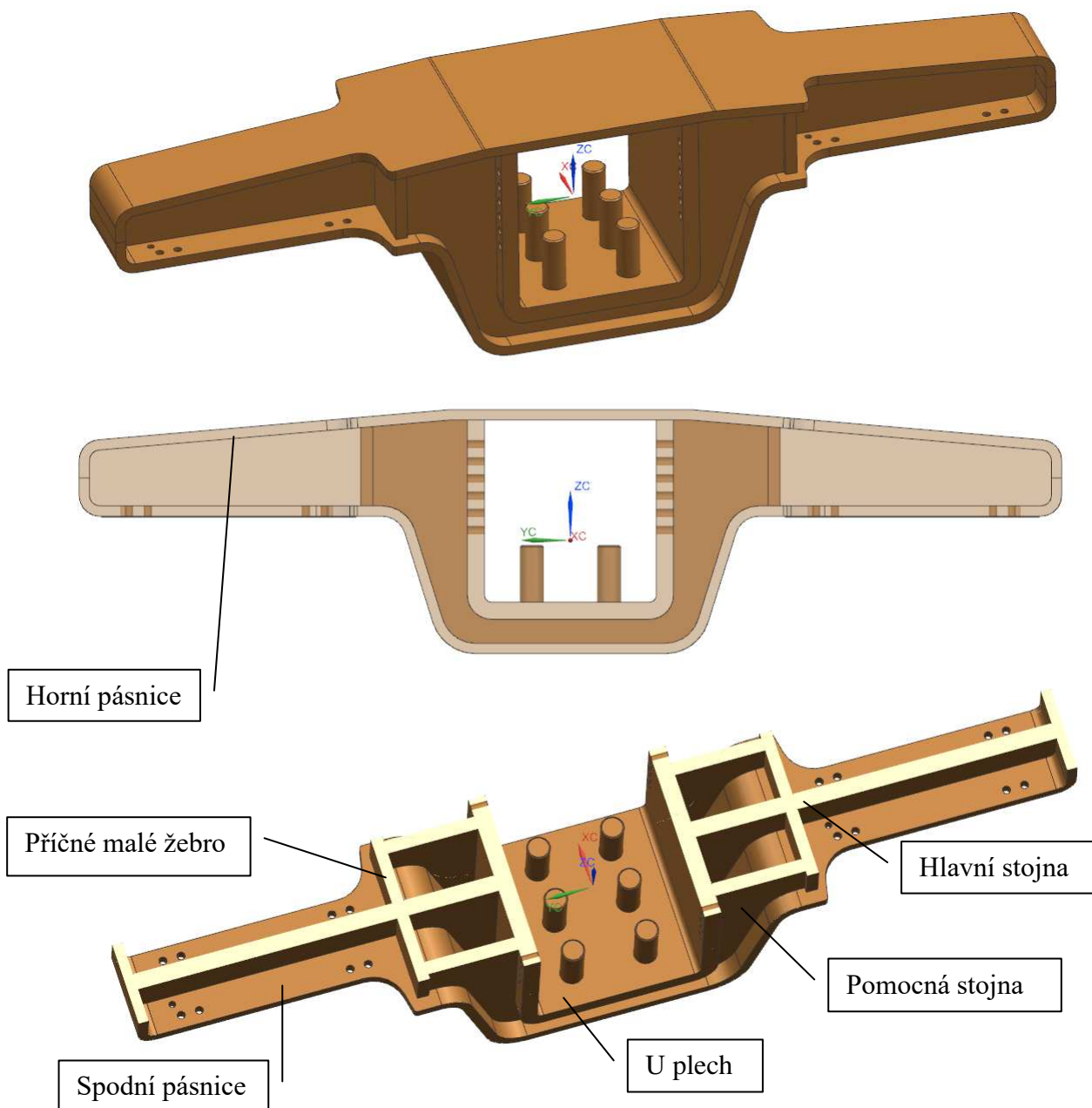
Délka	2860 mm
Šířka	2626 mm
Výška	981 mm
Hmotnost	7830kg



Obrázek 12: Sestava podvozku

### 3.1.1 Podélník

Jelikož hlavní úkolem této práce je provést MKP simulaci podélníku, bude zde popsána jeho konstrukce detailněji. Skládá se z ohýbaných a svařovaných plechů. Středem rámu prochází stojna tloušťky 50mm v celé délce. Uprostřed je rám na obou stranách uzavřen pomocnými stojnami tloušťky 40mm. V místě kde přechází 3 stojny v jednu, je konstrukce přehrazena na obou stranách malými příčnými žebry tloušťky 35mm. Po horním i spodním kraji lemují podélník horní a spodní pásnice tloušťky 30mm, které jsou spojeny po stranách svarem. Uprostřed podélníku je přivařen ohnutý plech U tvaru tloušťky 50mm, na kterém jsou navařeny čepy pro talířové pružiny. Na spodních plochách podélníku, kam se následně přišroubují ložiskové skříně, jsou navařeny plechy 5mm. Tyto jsou při obrábění svařence zfrézovány, aby byla zaručena rovnoběžnost ploch pro skříně a vyloučilo se přídavné namáhání ložisek.



Obrázek 13: Podélník podvozku - nahoře izometrický pohled, uprostřed nárys, dole řez

### 3.2 Výpočet zatěžujících sil

Pro potřeby dílčích výpočtů a MKP simulace je třeba určit okrajové podmínky a zatěžující síly. K tomu byla použita norma ČSN EN 13 749. Vstupujícím údajem do těchto výpočtů je hmotnost podvozku, příčniku a nápravové zatížení. V MKP simulaci bylo uvažováno tzv. výjimečné zatížení. To se může během životnosti podvozku vyskytovat jen zřídka. Od konstrukce podvozku se požaduje, aby toto zatížení vydržela bez takového průhybu, jaký by mohl při působení zatížení narušit funkční schopnosti, nebo bez výskytu trvalé deformace po odstranění zatížení [15].

V následující tabulce 3 je výčet všech parametrů, které budou vstupovat do následujících výpočtů.

Tabulka 3: Parametry pro výpočet zatížení

Znamé údaje			
Hmotnost podvozku	$m^+ =$	7830	kg
Hmotnost příčnicku	$m_p =$	1530	kg
Nápravové zatížení	$m =$	45000	kg
Neznámé údaje			
Celkové svislé zatížení nesené podvozkem	$F_z$		N
Výjimečné svislé zatížení nesené podvozkem	$F_{zp\ max}$		N
Svislé zatížení nesené podélníkem	$F_{z\ po}$		N
Příčná síla působící na podélník	$F_{y1\ max}$		N
Podélné síly působící na podélník	$F_{x1\ max}$		N

Nejprve je třeba vypočítat sílu nesenou podvozkem, kterou zjistíme tak, že od dvojnásobku nápravového zatížení odečteme sílu vyvolanou hmotností podvozku.

$$F_z = 2 * m * g - m^+ * g = 2 * 45000 * 9,81 - 7830 * 9,81 \doteq 806080N \quad (1)$$

Poté přistoupíme k výpočtu výjimečného svislého zatížení.

$$F_{zp\ max} = 2 * F_z = 2 * 806080 = 1765800N \quad (2)$$

Pro zjištění svislého zatížení podélníku je třeba odečíst sílu vyvolanou hmotností příčnicku a výsledek podělit dvěma.

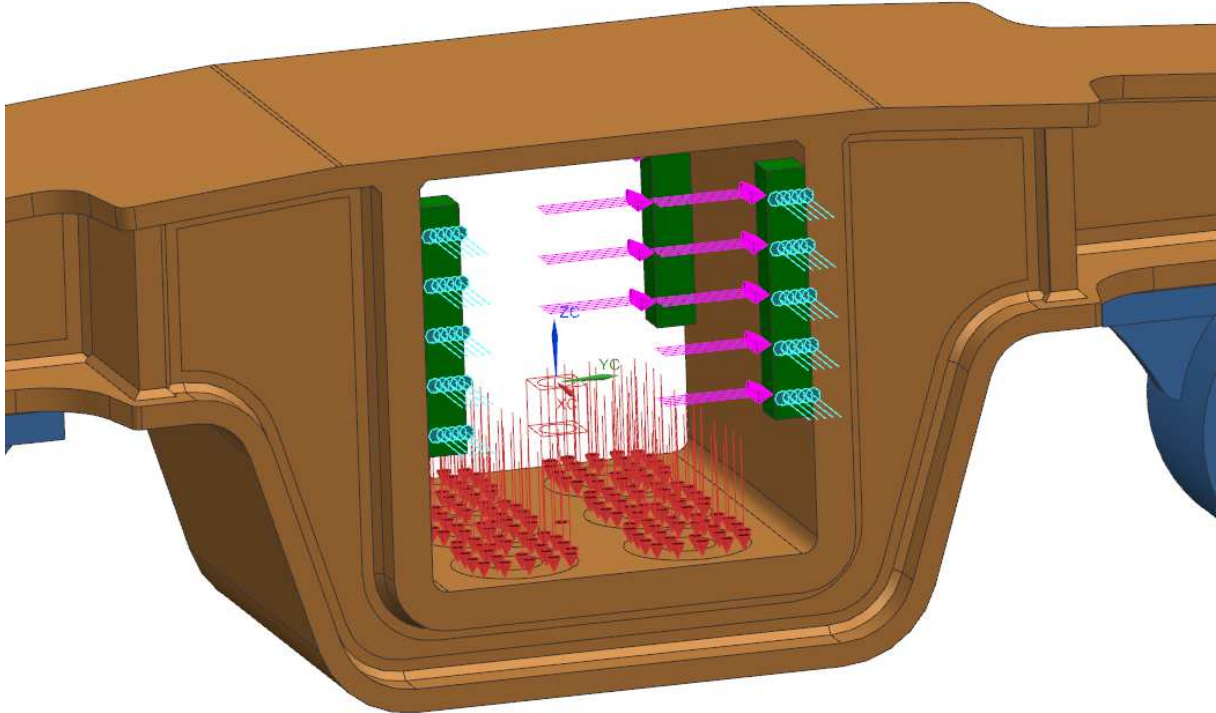
$$F_{z\ po} = \frac{F_{zp\ max} - m_p * g}{2} = \frac{1768500 - 1530 * 9,81}{2} \doteq 875400N \quad (3)$$

Příčná síla, kterou působí příčnick na příložky podélníku, byla vypočtena ze vztahu 4.

$$F_{y1\ max} = 10^4 + \frac{F_z + m^+ * g}{6} = 10^4 + \frac{806080 + 7830 * 9,81}{6} \doteq 339900N \quad (4)$$

Poslední zatěžující složkou je podélná síla, jež má působit na opačných stranách podvozku v opačném směru.

$$F_{x1\ max} = 0,1 * (F_z + m^+ * g) = 0,1 * (806080 + 7830 * 9,81) \doteq 96000N \quad (5)$$



*Obrázek 14: Aplikace zatížení*

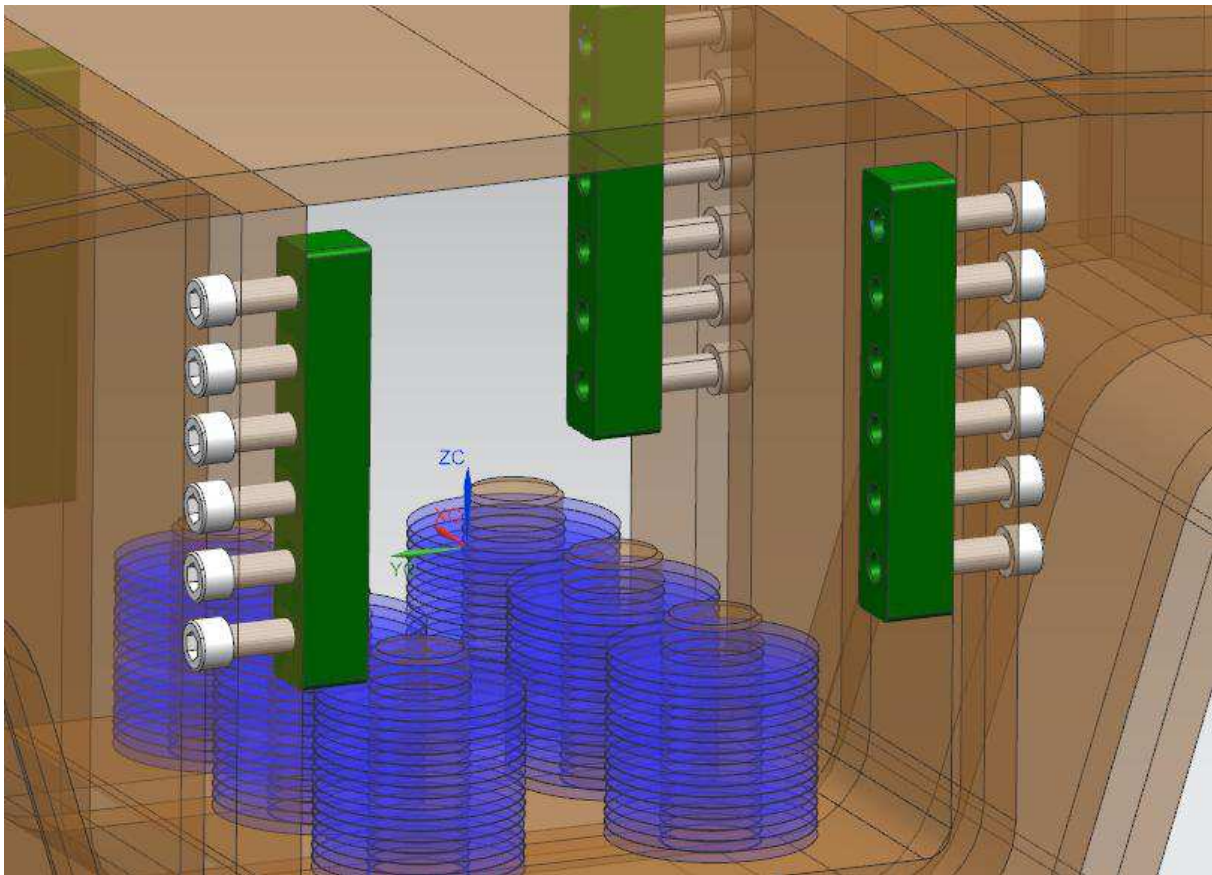
Zatížení působí ve směrech, jak je patrné z obrázku 14. Červeně jsou znázorněny svislé, růžově podélné a modře pak příčné zatěžující síly.

### **3.3 Výpočet šroubových spojení**

Na podvozku je použito šroubové spojení u ložiskové skříně a u příložek, které drží příčníc v příčném směru. Tato spojení je možné počítat metodou konečných prvků pomocí předepnutých 1D prvků nebo analyticky. Pro geometrickou jednoduchost byl zvolen analytický způsob.



### 3.3.1 Příložky



Obrázek 15: Uchycení příložek s podélníkem

Příložky s dírou, do které je vyřezán závit, jsou uchyceny šesti šrouby k podélníku, jak je vidět na obrázku 15. Jsou zatíženy silou v příčném směru vyvozovanou postranním plechem na příčnici. K výpočtu byla použita výjimečná síla z normy ČSN EN 13 749 ve vztahu 4. Na každou příložku působí polovina celkové příčné síly. Schéma zatěžování je na obrázku 16.

$$F_{y1 \max \frac{1}{2}} = \frac{F_{y1 \max}}{2} = \frac{339900}{2} = 169950N \quad (6)$$

Z podmínky momentové rovnováhy vyplývá, že

$$F_o = \frac{F_{y1 \max \frac{1}{2}} * r_p}{r_s} = \frac{169950 * 0,025}{0,025} = 169950N \quad (7)$$

kde  $F_o$  je síla působící ve směru os šroubů. K této síle je třeba přičíst ještě takovou, která bude vyvozovat třecí sílu mezi příložkou a podélníkem proti směru  $F_{y1 \max}$ . Součinitel tření dvou součástí z oceli je převzat ze strojnických tabulek jako 0,2.

$$F_{tř p} = \frac{F_{y1 \max \frac{1}{2}}}{f} = \frac{169950}{0,2} = 849760N \quad (8)$$

Předepínací sílu jednoho šroubu lze vypočítat jako

$$F_{\dot{s}p} = \frac{(F_o + F_{třp}) * 1,2}{i_d} = \frac{(169950 + 879760) * 1,2}{6} \doteq 203940 N \quad (9)$$

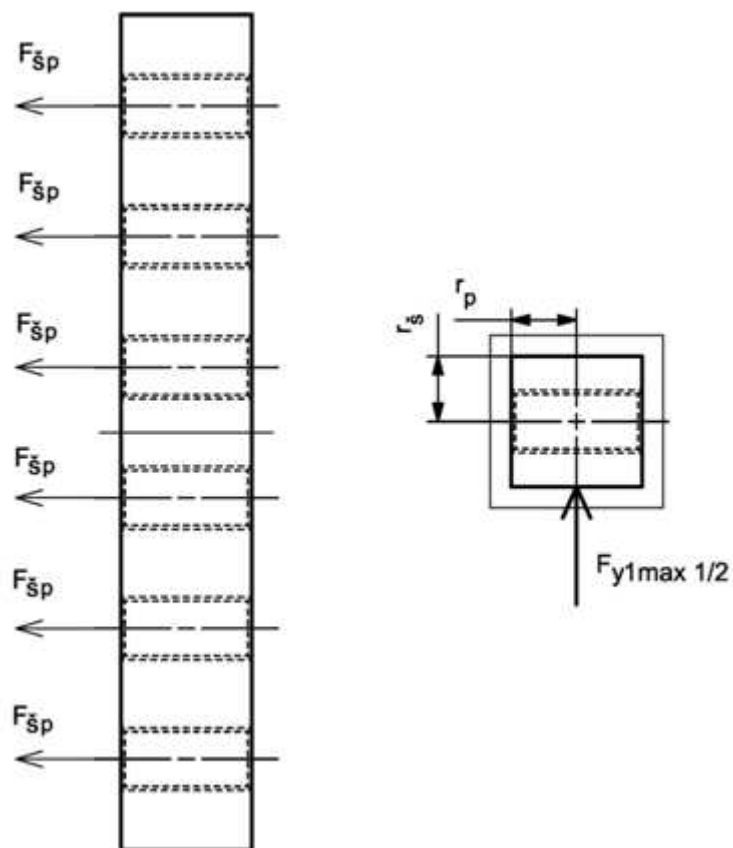
Při použití pěti šroubů pevnostní třídy 12.9. s mezí kluzu 1080 MPa a bezpečnosti  $k = 2$  je pak minimální průřez

$$S_p = \frac{F_{\dot{s}p}}{\frac{R_{e\dot{s}}}{k_p}} = \frac{203940}{\frac{1080}{2}} \doteq 377,7 mm^2 \quad (10)$$

Nejmenší průměr šroubu musí být

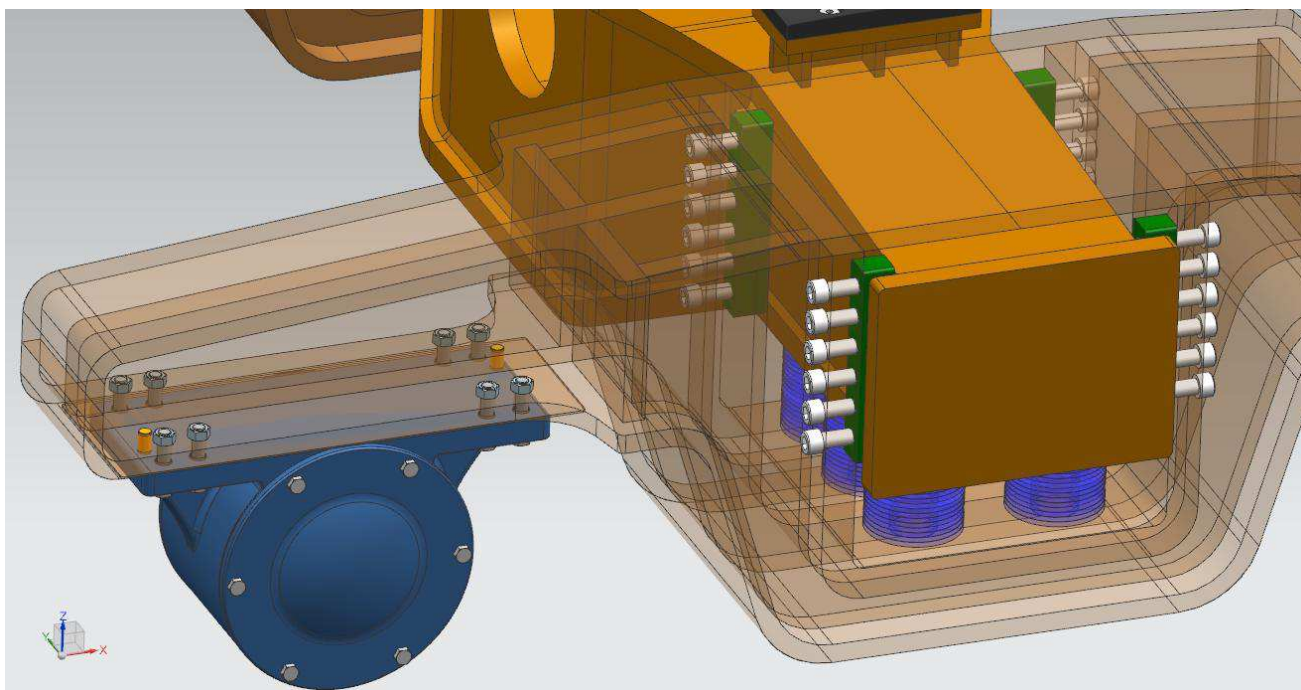
$$d_{\dot{s}p} = \sqrt{\frac{4 * S_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 377,7}{\pi}} \doteq 21,92 mm \quad (11)$$

To odpovídá šroubu M 24, který má střední průměr  $d_s = 23,08 mm$ .



Obrázek 16: Schéma zatížení příložek; vlevo nárys, vpravo půdorys

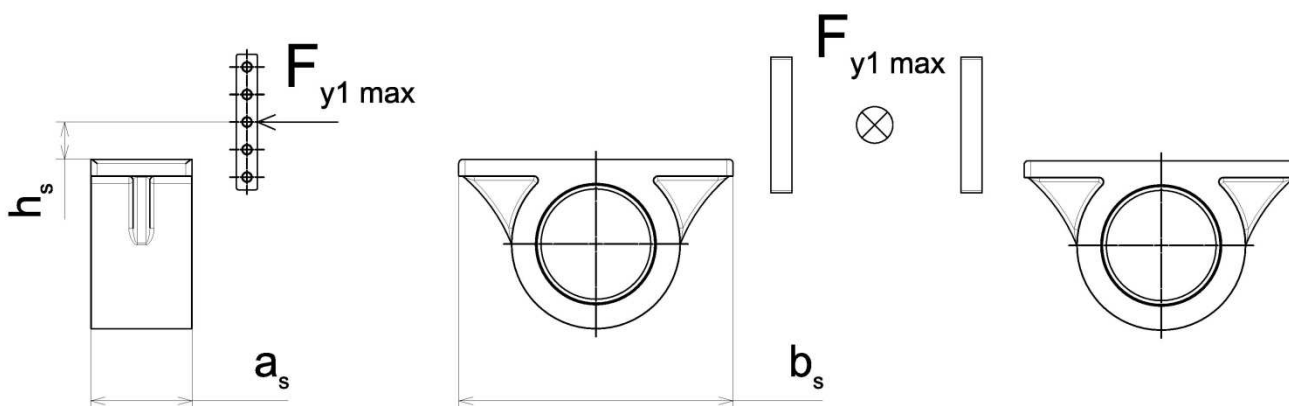
### 3.3.2 Ložisková skříň



Obrázek 17: Uchycení ložiskové skříně a přílozek

Zatěžující síla je v tomto případě  $F_{y1 \max}$ , která je vypočtena ze vztahu 4. Schéma zatížení je na obrázku 18. Příčná síla je přenášena přes příložky na podélník, k tomu jsou přišroubovány dvě ložiskové skříně.

Ložiskové skříně jsou uchyceny každá osmi šrouby. Pro zajištění polohy při montáži byly použity dva kalené kolíky  $\varnothing 20$  m6. Ve výpočtu neuvažují, že by kolíky přenášely zatížení.



Obrázek 18: Schéma zatěžování ložiskové skříně; vlevo bokorys, vpravo nárys

Nejprve se vypočte moment, který vyvozuje síla  $F_{y1 \max}$ .

$$M_s = F_{y1 \max} * h_s = 339900 * 0,088 \doteq 29911N \quad (12)$$

Ten vytvoří na ploše napětí  $\sigma_o$ . Při výpočtu jsou brány v potaz obě dvě skříně společně.

$$\sigma_o = \frac{M_s}{W_o} = \frac{M_s}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot b_s \cdot a_s^2} = \frac{29911}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 0,65 \cdot 0,24^2} \doteq 2,40 \text{MPa} \quad (13)$$

Z podmínky rovnováhy sil v příčném směru vyplývá, že proti síle  $F_{y1 \max}$  musí působit třecí síla  $F_{ts}$ , která vznikne patřičnou silou vyvozenou předepnutím šroubů. Tato vytvoří na ploše další napětí  $\sigma_p$ .

$$\sigma_p = \frac{F_{ts}}{2 \cdot a_s \cdot b_s} = \frac{\frac{F_{y1 \max}}{f}}{2 \cdot a_s \cdot b_s} = \frac{\frac{339900}{0,2}}{2 \cdot 0,24 \cdot 0,65} \doteq 5,45 \text{MPa} \quad (14)$$

Tato dvě napětí se sečtou pro získání celkového.

$$\sigma_c = \sigma_o + \sigma_p = 2,40 + 5,45 = 7,85 \text{MPa} \quad (15)$$

Z tohoto napětí, plochy, plánovaného počtu šroubů a součinitele proti odlehnutí, jež je 1,1, lze vypočítat sílu v jednom šroubu.

$$F_{\check{s}s} = \frac{a_s \cdot b_s \cdot \sigma_c \cdot 1,1}{i_s} = \frac{240 \cdot 650 \cdot 7,85 \cdot 1,1}{8} \doteq 168250 \text{N} \quad (16)$$

Z této síly, koeficientu bezpečnosti 1,8 a mezí kluzu, která je pro šroub třídy 12.9. 1080Mpa, lze vypočítat minimální průřez. Koeficient lze použít menší než u přílozek z důvodu použití kolíků.

$$S_s = \frac{F_{\check{s}s}}{\frac{R_{e\check{s}}}{k_s}} = \frac{168250}{\frac{1080}{1,8}} \doteq 280,42 \text{mm}^2 \quad (17)$$

Jako poslední se vypočte nejmenší dovolený průměr šroubu.

$$d_{\check{s}s} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 280,42}{\pi}} \doteq 18,90 \text{mm} \quad (18)$$

Toto odpovídá šroubu M20, který má střední průměr  $d_s = 19,08 \text{mm}$ .

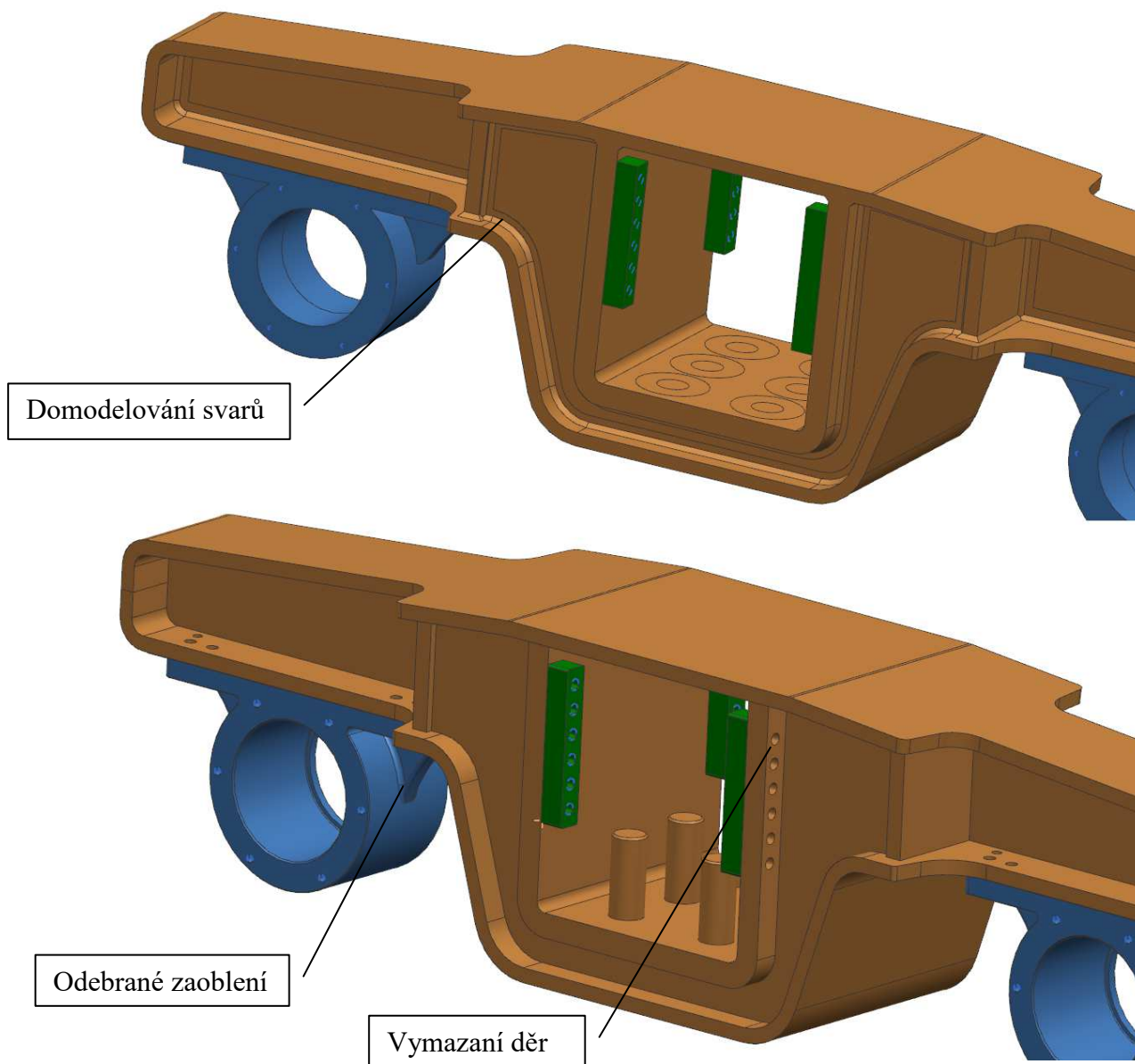
## 3.4 MKP Simulace

Simulace metodou konečných prvků byla provedena v programu NX a jako řešič byl použit NX Nastran. Přestože jde jen o simulaci podélníku, byly do modelu zahrnuty i ložiskové skříně, a to kvůli realističtějšímu odebrání stupňů volnosti a příložky kvůli přenosu zatížení. Svary jsou pak uvažovány dokonale provedené, konstrukce zcela celistvá a jsou uvažovány ze stejného materiálu jako svařované součásti.

### 3.4.1 Idealizovaná součást

NX umožňuje tvorbu tzv. idealizované součásti. To je v podstatě původní model podélníku, který lze upravovat. Je možné těleso zjednodušovat pro potřeby simulace, aniž by byl pozměněn původní model při zachování asociativity. Bylo možné odstranit díry pro šrouby,

kolíky, vymodelovat svary, odstranit čepy a na ložiskových skříních, které slouží pouze pro simulování tuhosti odebraných stupňů volnosti a nebude se na nich tedy hodnotit napětí, odstranit veškeré detaily, které by zbytečně prodlužovaly výpočet. Na obrázku 19 jsou vidět rozdíly mezi modelem a idealizovanou částí.



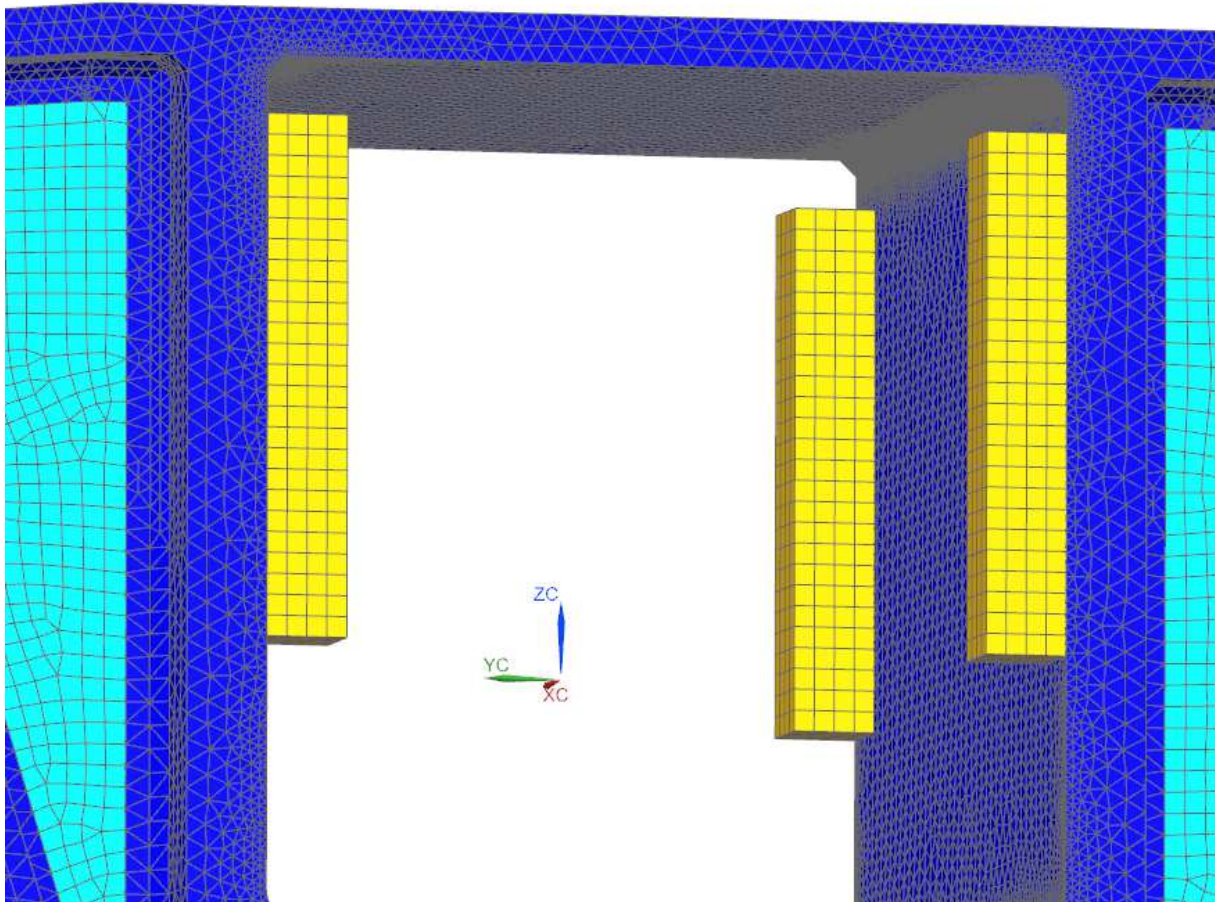
Obrázek 19: Idealizovaná součást - nahoře, původní model – dole

### 3.4.2 Sít'

Poté, co byla vytvořena idealizovaná součást, bylo možné začít zasít'ovat model. Všem sítím výpočtového modelu byla přiřazena jako materiál ocel.

#### 3.4.2.1 Příložky

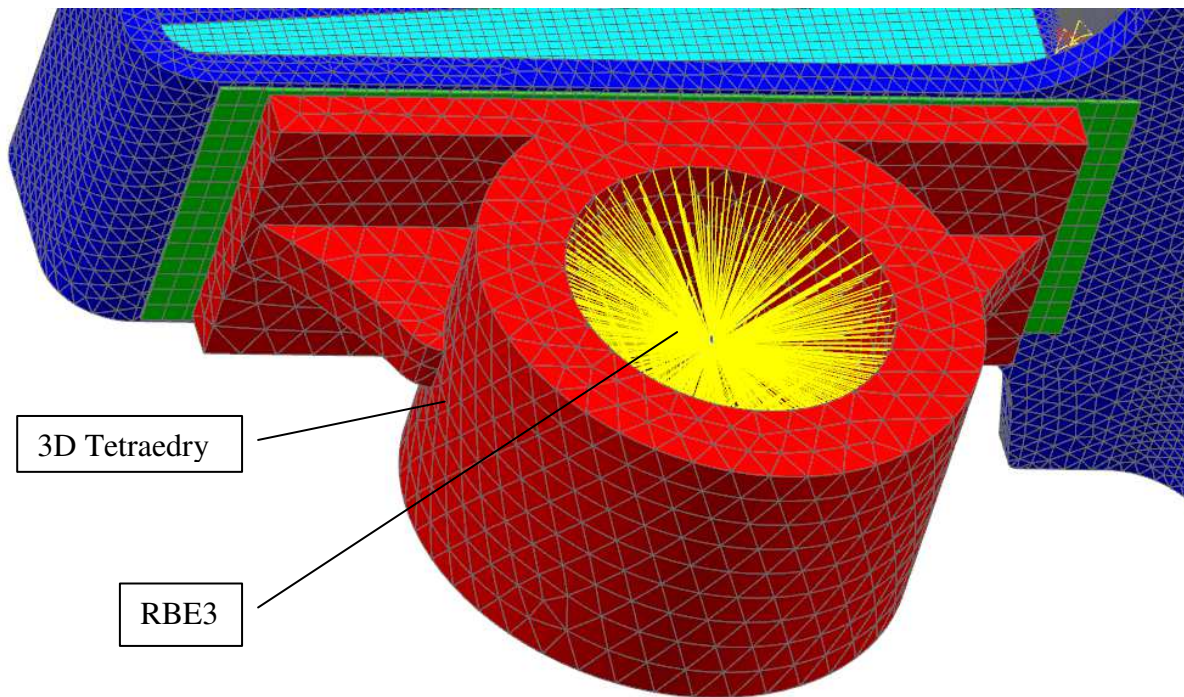
Příložka je prizmatickým tělesem, proto je možné ji zasít'ovat taženou kubickou brickovou sítí. Velikost sítě je 13mm, elementy jsou bez mezi-uzlu. Na obrázku 20 jsou zobrazeny ve žluté barvě.



Obrázek 20: Sít' příložek

#### 3.4.2.2 Ložiskové skříně

Ložiskové skříně jsou použity pouze kvůli odebrání stupňů volnosti. Pokud bychom odebrali stupně volnosti na spodní ploše podélníku, vznikla by na hranici této plochy nepřirozená špička. Dále by tato vazba odebrala i možnost rotace kolem příčného směru, kterou ve skutečnosti ložiska neodebírají. Na ložiskové skříně nevyhodnocujeme napětí, proto bylo možné zasít'ovat hrubší 3D tetraedrovou (čtyřstěnnou) sítí s velikostí elementu 30mm a s mezi-uzlem.



Obrázek 21: Síť ložiskové skříně a síť podložky

Vnitřek ložiskové skříně je s osou spojen dokonale tuhým elementem RBE3, který je na obrázku 21 vidět jako žluté spojení.

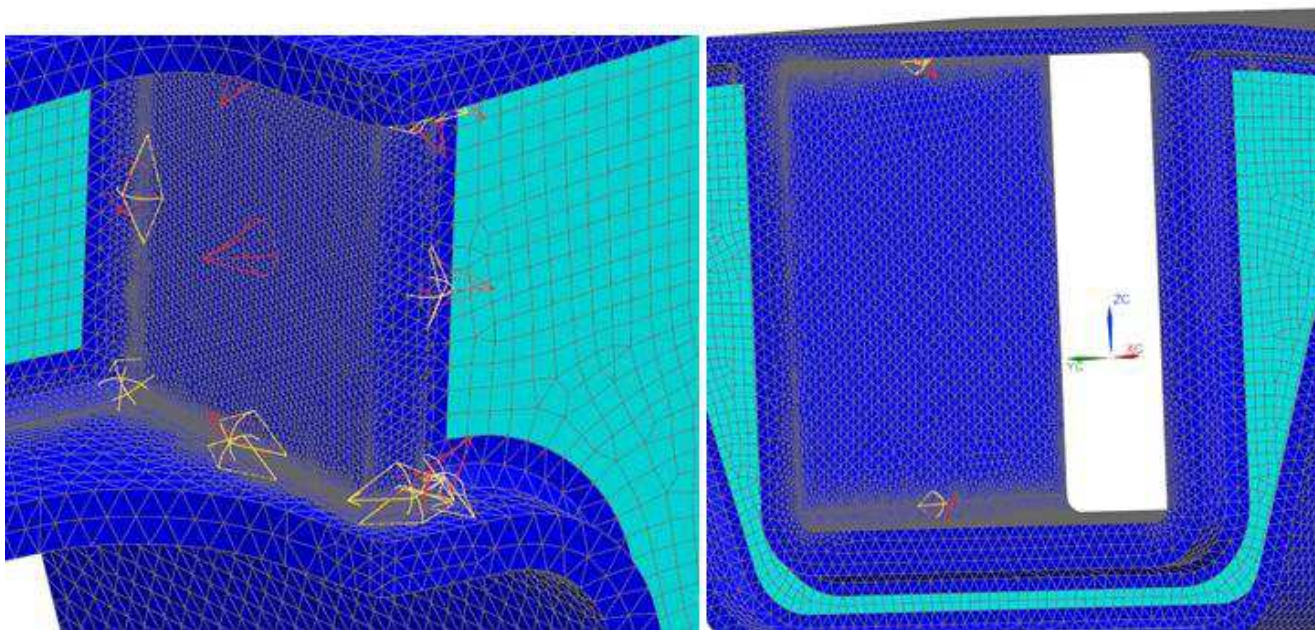
### 3.4.2.3 Podložky skříní

Podložky mezi skříní a podélníkem, které jsou na obrázku 21 znázorněny zelenou barvou, jsou z tažené brickové sítě s velikostí elementu 17mm bez mezi-uzlu.

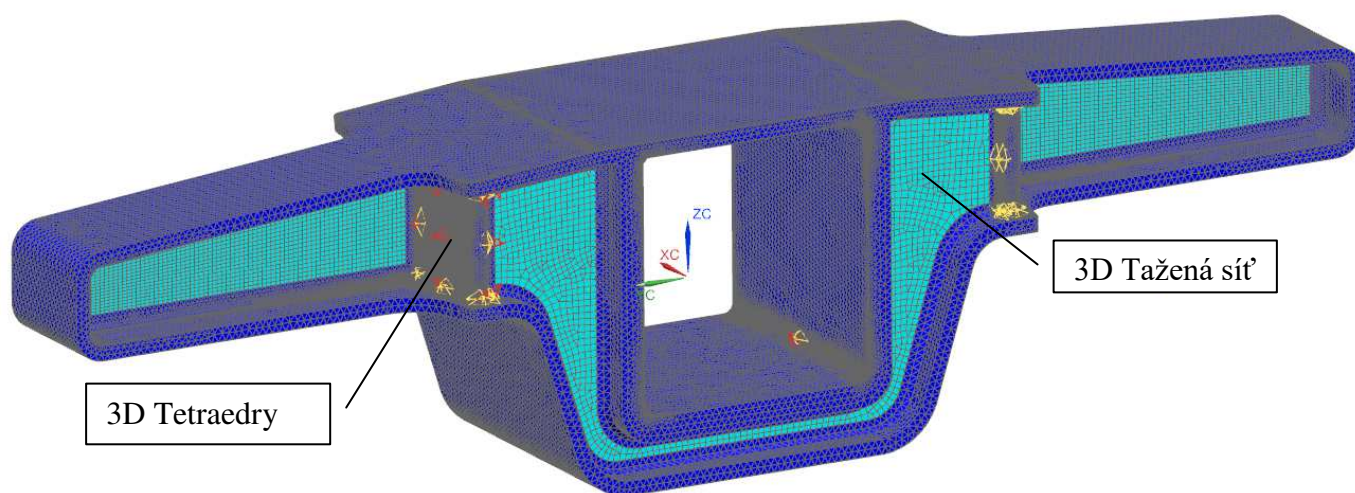
### 3.4.2.4 Rám

Rám podélníku je geometricky složitější těleso, proto nemůže být zasítováno brickovou sítí, ale je nutné použít tetraedrovou. Ta je na obrázku 23 zobrazena tmavě modrou barvou. Velikost elementů je 15mm a obsahují mezi-uzel. Tažená bricková síť je jen v místech, kde jsou plechy bez ohybů a přivařených částí. Tato místa jsou zobrazena na obrázku 23 světle modrou barvou, velikost elementů bez mezi-uzlu na krajích je 10mm, uprostřed podélníku je pak 13mm. Nacházejí se na krajích hlavní stojny a uprostřed ve všech 3 stojnách.

V kritických místech pro napětí, jež jsou na obrázku 22 vyznačena žlutými a červenými kužely, byla zjemněna síť. Na plochách svarů u příčných žeběr byla zjemněna síť na velikost elementu 2.5mm. Zde přechází tři svislá žebra v jedno a působí zde na podélník ohybový a kroučící moment a svary jsou zde více namáhány. Při předběžné simulaci zde byla zjištěná singularita v napětí, a tak pro finální výpočet bylo přistoupeno ke zmenšení elementu. Zjemnění elementů na velikost 5mm je použito dole v rádiusu v plechu ve tvaru U, na 3mm jsou elementy zmenšeny ve svaru tohoto plechu nahoře.



Obrázek 22: Zjemnění sítě v kritických místech

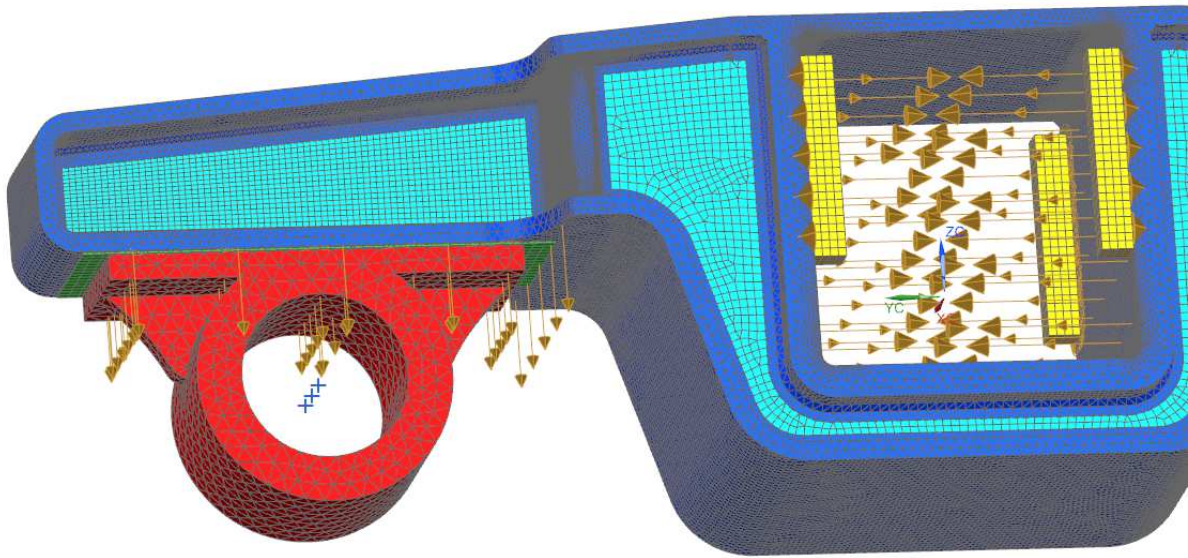


Obrázek 23: Síť rámu podélníku

### 3.4.3 Spojení sítí

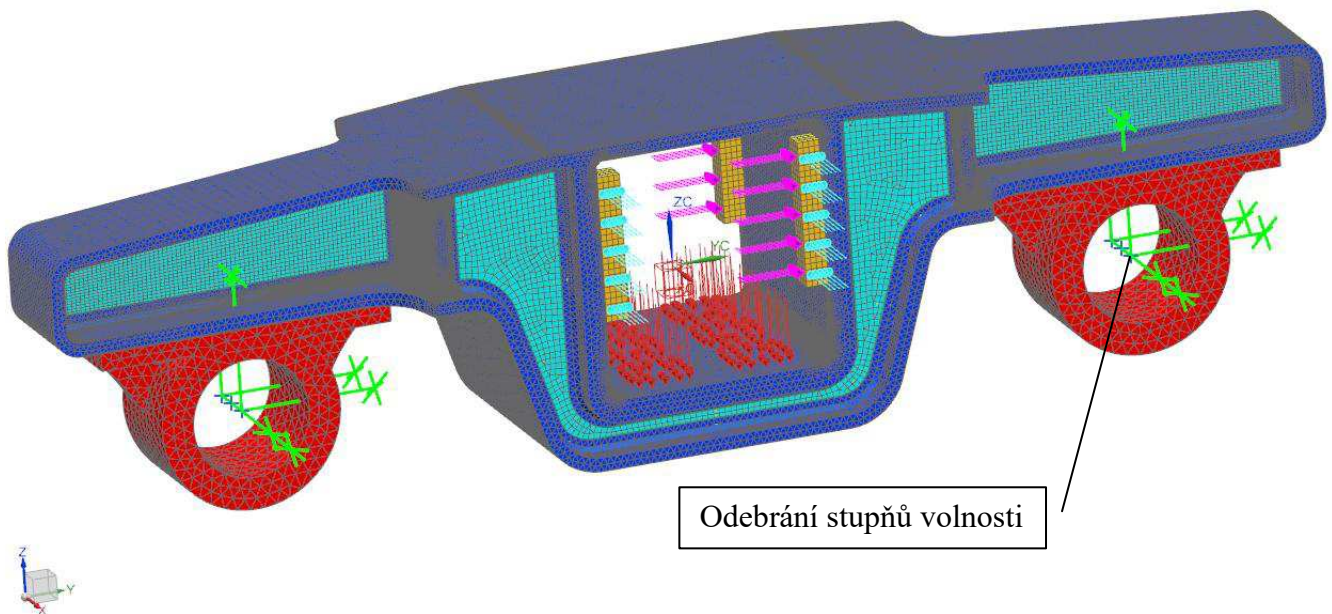
Jednotlivé dílčí sítě je třeba spolu spojit. K tomu je v softwaru NX využita funkce Surface-To-Surface Gluing, která spojí plochy jednotlivých sítí. V tomto spojení nemusí být uzly jednotlivých elementů ve stejných místech. Na obrázku 24 je vidět spojení podélníku s podložkami, ložiskovými skříněmi a příložkami touto funkcí. Tmavě modrá a světle modrá síť rámu je spojena funkcí Mesh Mating, která ji propojí v uzlových bodech.





Obrázek 24: Spojení sítí

### 3.4.4 Okrajové podmínky



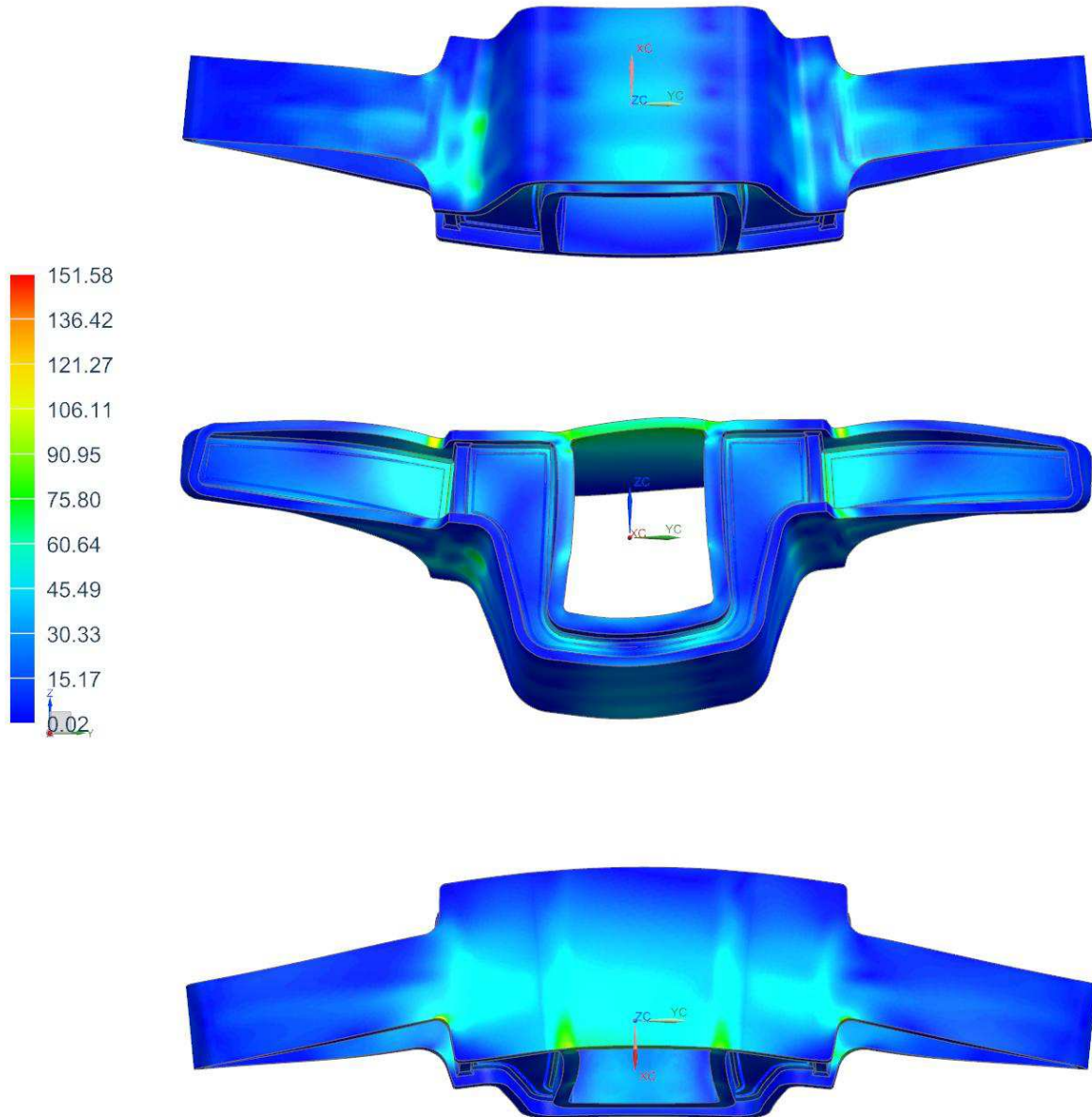
Obrázek 25: Okrajové podmínky

Zatížení již bylo vypočteno v kapitole 3.2 a ukázáno na obrázku 14. Do simulace bude zadáváno přesně takto.

V ose ložiskových skříní jsou 2 body, které mají substituovat středy ložisek. K těmto jsou pomocí RBE3 elementů připojeny skříně, jak je patrné z obrázku 21. Těmto bodům bude odebráno 5 stupňů volnosti – posunutí ve všech směrech a rotace v podélném a svislém

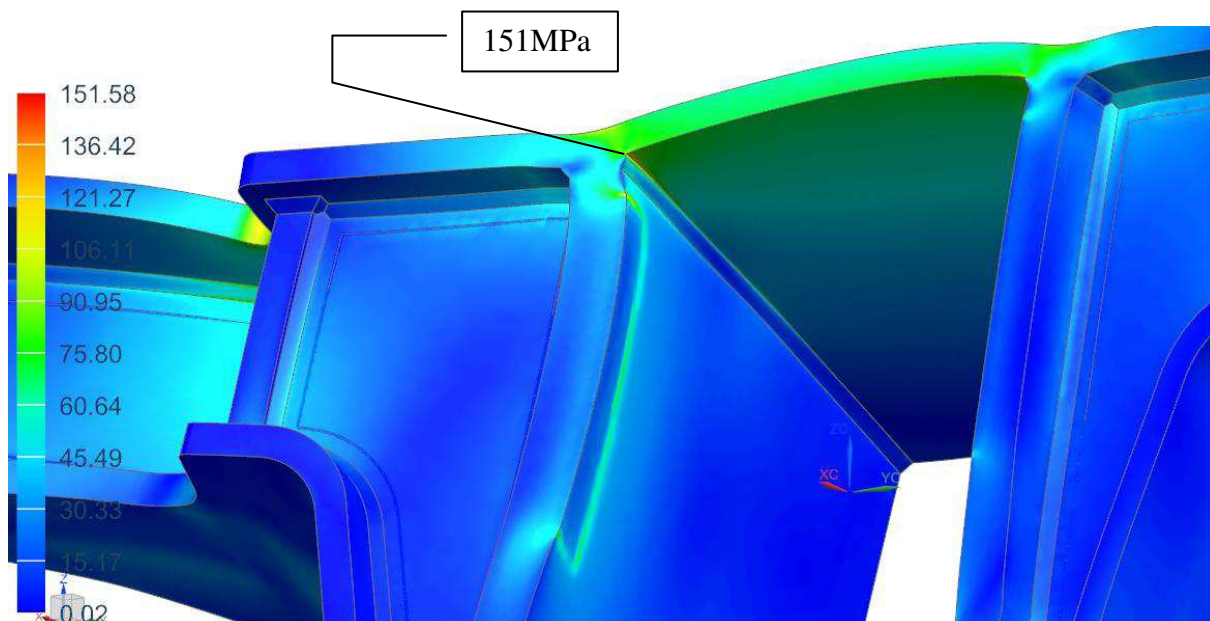
směru, jak je zvýrazněno zelenou barvou na obrázku 25. Rotace kolem osy ložiska odebrána není, neboť ani ložisko v tomto směru stupeň volnosti neodebírá.

### 3.4.5 Výsledky výpočtu

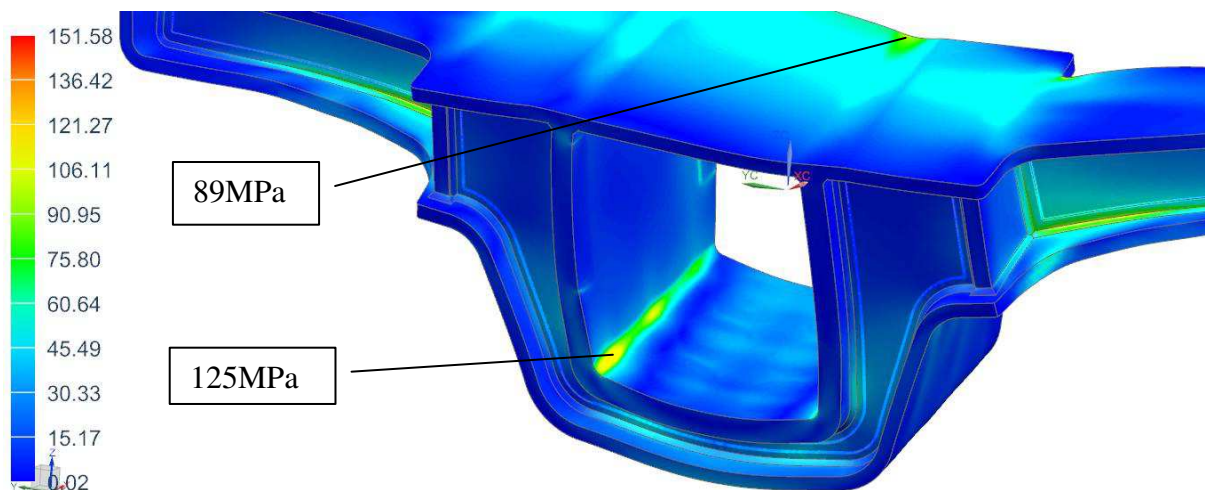


Obrázek 26: Redukované napětí Von-Mises v podélníku

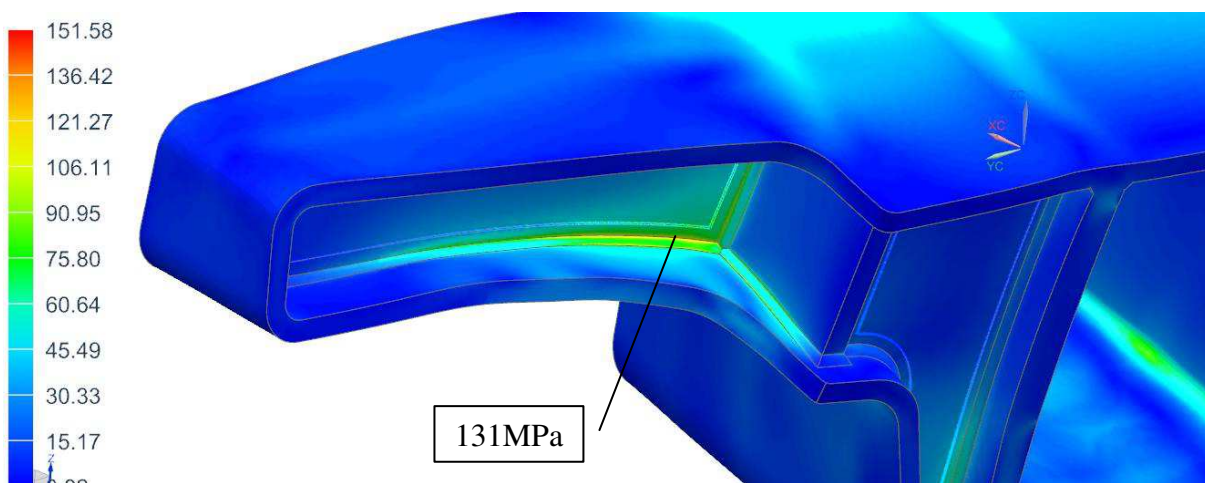
Po provedení výpočtu byly zakryty příložky, ložiskové skříně a podložky. Na obrázku 26 je vidět napětí a deformaci ve velikosti 10% modelu. Podle očekávání bylo největší napětí 151MPa ve svaru U plechu a horní pásnici, které je zaznamenáno na obrázku 27. Dále také ve svaru spodní pásnice a hlavní stojny zobrazeného na obrázku 29, které je 131Mpa. Třetí největší špička napětí je vidět na obrázku 28 v ohybu U plechu.



Obrázek 27: Napětí ve svaru horní pásnice a U plechu



Obrázek 28: Napětí v ohybu U plechu a na ploše horní pásnice



Obrázek 29: Napětí ve svaru hlavní stojny a spodní pásnice

### 3.4.6 Vyhodnocení napětí

Ač se může z názvu zdát, že tato ocel bude mít mez kluzu 355MPa, platí to jen pro tloušťky plechu do 16mm. V tomto podélníku se ale vyskytují plechy větších tloušťek, proto je třeba brát jejich jednotlivé rozdílné meze kluzu v úvahu, jako je ukázáno v tabulce 4.

Tabulka 4: Hodnoty meze kluzu oceli S355J2 +N

Tloušťka [mm]	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100
Mez kluzu [Mpa]	355	345	335	325	315

Je třeba ještě vypočítat mez kluzu svaru, která se liší od základního materiálu a je dána vztahem 19,

$$R_{esv} = R_e * \alpha = 355 * 0,65 \doteq 231MPa \quad (19)$$

kde  $\alpha$  je převodní součinitel meze kluzu, jehož hodnota pro koutový svar svařovaný běžnou elektrodou ze stejného materiálu, jako je základní materiál, je 0,65.

V tabulce 5 jsou jednotlivé komponenty podélníku, jejich tloušťky a dva svary v místech, kde napětí dosahuje špičky. Následně byly ze simulace vypsány hodnoty maximálního napětí v jednotlivých součástech a pro názornost obarveny barevným spektrem od zelené, jež reprezentuje nulové napětí přes žlutou do červené, která by reprezentovala meze kluzu jednotlivých dílů. V tabulkovém procesoru excel byly následně vypočteny jednotlivé bezpečnosti.

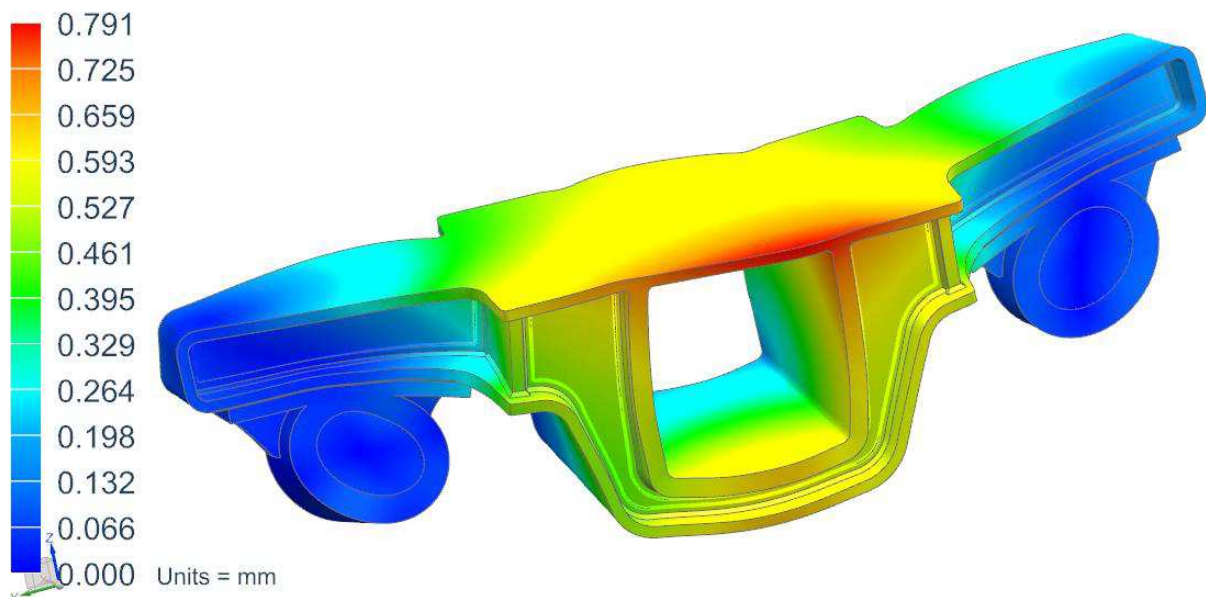
Tabulka 5: Zhodnocení napětí v součástech a bezpečnost

Součást	Tloušťka[mm]	$R_e$ [MPa]	$\sigma$ [MPa]	Bezpečnost k [-]
Hlavní stojna	50	335	131	2,6
U plech	50	335	125	2,7
Pomocná stojna	40	345	69	5
Horní pásnice	30	345	151	2,3
Spodní pásnice	30	345	148	2,3
Příčné malé žebro	35	345	94	3,7
Svar mezi U pl. a horní pásnicí	X	231	151	1,5
Svar mezi dolní pásnicí a hl. stojnou	X	231	131	1,8



Pokud by požadavek zadavatele byl optimalizovat hmotnost, tloušťku plechů a tím pádem i výrobní náklady, bylo by možné udělat optimalizační smyčku, ve které by bylo vhodné zmenšit tloušťku pomocné stojny nebo příčného malého žebra, u kterých bezpečnost dosahuje hodnot 5 a 3,7. Zadavatel ale upřednostňuje u tohoto podvozku robustnost a bezpečnost nad optimalizováním hmotnosti, tudíž následná optimalizační smyčka není nutná.

### 3.4.7 Vyhodnocení posunutí



Obrázek 30: Posunutí podélníku

Dalším výstupem ze simulace je posunutí podélníku, které vyšlo maximální 0,791mm. V místě uložení pružiny dosahuje největší deformace 0,58mm, což je vyhovující.

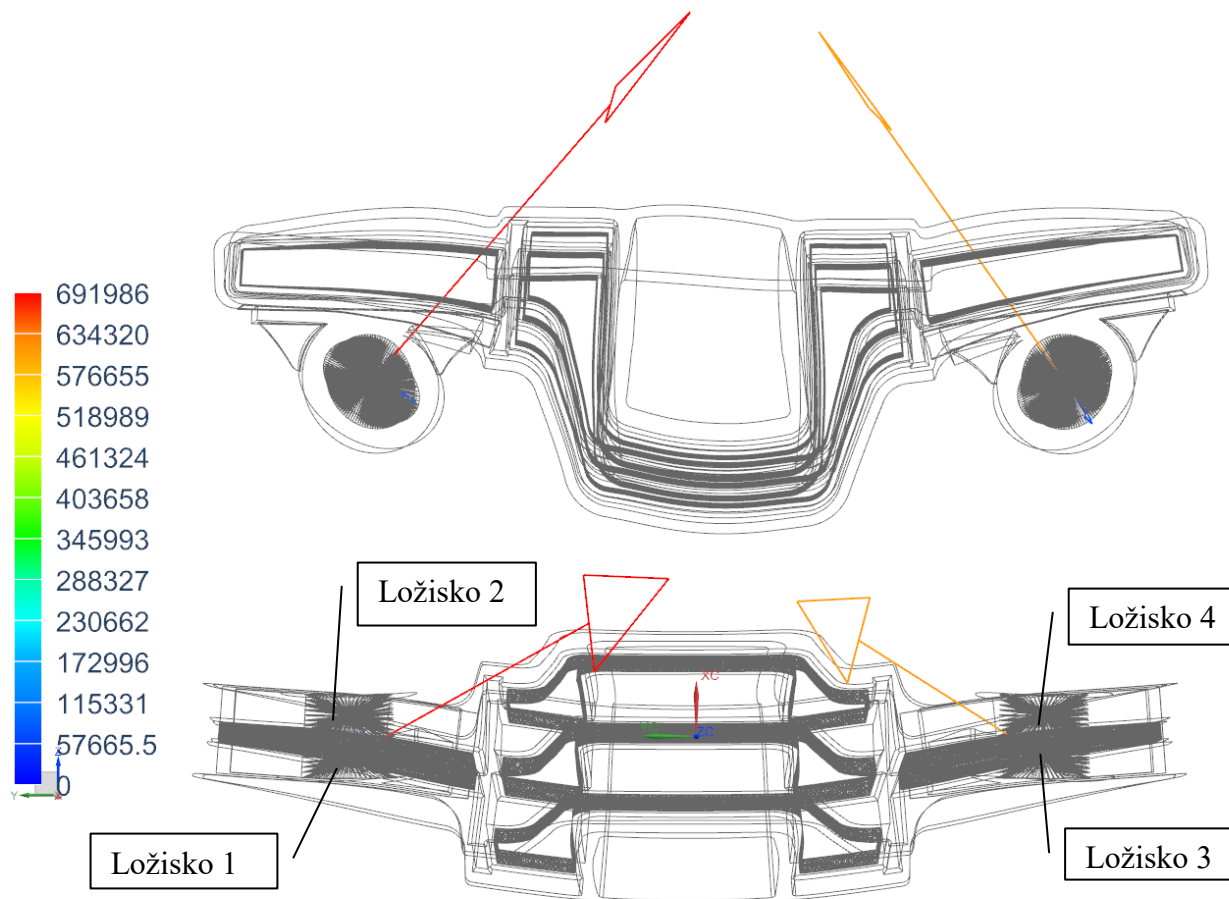
### 3.4.8 Vyhodnocení reakcí v ložiskách

Takto postavený výpočtový model, kde je plocha vnitřku ložiskové skříně pomocí RBE3 elementů uchycena ke dvěma bodům v ose skříně, které lze považovat za středy ložisek, nám dovoluje i z modelu odečíst jednotlivé reakce, jak je vidět na obrázku 31. Ty mohou následně sloužit k dimenzování a výběru ložisek. Ve výsledcích simulace je možné najít i reakce ve všech 3 směrech souřadného systému a je tedy možné sestavit tabulku všech čtyř ložisek a jejich axiálního a radiálního zatížení.

Tabulka 6: Reakce v ložiskách

	Ax. Směr	Radiální směr		
	<b>F<sub>x</sub> (F<sub>a</sub>) [N]</b>	F <sub>y</sub> [N]	F <sub>z</sub> [N]	<b>F<sub>r</sub> [N]</b>
Ložisko 1	207360	424930	491880	650010
Ložisko 2	67100	59220	26370	64830
Ložisko 3	207190	237720	55721	244160
Ložisko 4	36950	35970	465815	467200

V tabulce 6 jsou zapsány síly působící na ložiska v jednotlivých směrech. Z reakcí ve směru *y* a *z* je pak možné vypočítat radiální zatížení pomocí tabulkového procesoru. Zeleně zvýrazněné ložisko je to, na které působí největší síla a podle něj je tedy třeba dimenzovat.



Obrázek 31: Reakce v ložiskách; nahoře nárys, dole půdorys

## 4 Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit podvozek pro nápravové zatížení 25t, přepravu těžkých nákladů v přístavu a rozchod 1435mm. Nápravové zatížení bylo v průběhu tvorby práce zadavatelem změněno na 45t. Rychlost prázdné soupravy je 40km/h, se zatížením pak 15km/h. Jako koncepce podvozku byla zvolena stavba Diamond s talířovými pružinami, jehož rám je svařovaný z plechů materiálu S355 J2 +N.

Z normy ČSN EN 13 749 bylo vypočteno zatížení pro nákladní podvozky s jednostupňovým vypružením. Únava a dynamické účinky nebyly počítány, neboť při takto nízkých rychlostech by se neprojevíly a výpočet s výjimečným zatížením v sobě nese bezpečnost i pro dynamické zatěžování. Dále byla dimenzována hlavní šroubová spojení na podélníku. Po tomto výpočtu byla provedena úprava modelu, a to kvůli snížení nároku na výpočetní výkon a zasílání. Následovalo spojení jednotlivých sítí, odebrání stupňů volnosti a zadání zatížení.

Ve výsledcích simulace bylo zkoumáno napětí v plechách, svarech, posunutí a reakce v ložiskách. Dle předpokladů vyšla bezpečnost u tohoto atypického podvozku vyšší, ale kvůli požadavku na zvýšenou tuhost nebylo nutné provádět optimalizační smyčku.

## Zdroje

### Použitá literatura

[1] HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla I.* vyd Plzeň: ZČU - KKS, 2007

[5] HELLER, P., DOSTÁL, J. *Kolejová vozidla II.* vyd Plzeň: ZČU - KKS, 2009

[16] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. *Strojnické tabulky* vyd Úvaly: Albra, 2011

### Online

[2] *Flüsterbremse: Mit diesen Bremsen werden laute Güterzüge leise* [online]. [cit. 2016-10-31]. Dostupné z: <https://www.allianz-pro-schiene.de/glossar/fluesterbremse/>

[3] *Pojezdy rámových vozidel* [online]. [cit. 27.10.2017]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/pojezdy/ramove/ramove.html>

[4] *Reko-Wagen (DR) - Wikiwand* [online]. [cit. 27.10.2017]. Dostupné z: [http://www.wikiwand.com/de/Umbau-Wagen\\_\(DB\)](http://www.wikiwand.com/de/Umbau-Wagen_(DB))

[6] *Vedení dvojkolí a vypružení podvozku Y 25* [online]. [cit. 27.10.2017]. Dostupné z: <http://www.vagony.cz/pojezdy/y25/vypruzeni.html>

[7] *Další vozy Sggmrss pro ČD Cargo* [online]. [cit. 27.10.2017]. Dostupné z: [https://www.parostroj.net/katalog/nv/clanky/Sggmrss/Sggmrss\\_LOSTR\\_a.php3](https://www.parostroj.net/katalog/nv/clanky/Sggmrss/Sggmrss_LOSTR_a.php3)

[8] *Katalog produktů*. Poprad : Tatravagónka, a.s., 2017

[9] *File:Seitenkipper-Ua4201-Drehgestell* [online]. [cit. 28.10.2017]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Seitenkipper-Ua4201-Drehgestell.jpg>

[10] BENO, JAN. *Běžný podvozek pro úzký rozchod 600mm* České Budějovice, 2017. 6s. SVOČ na Fakultě strojní ZČU na KKS.

[11] *Vypružení podvozku 26.2.8* [online]. [cit. 29.10.2017]. Dostupné z: [http://www.vagony.cz/pojezdy/26\\_2/vypruzeni.html](http://www.vagony.cz/pojezdy/26_2/vypruzeni.html)

[12] *Podvozky nákladních vozů ČSD/ČD* [online]. [cit. 29.10.2017]. Dostupné z: <https://www.parostroj.net/katalog/nv/clanky/Podvozky/podvozky.php3>

[13] *Typový výkres Y37VVR* [online]. [cit. 29.10.2017]. Dostupné z: <http://www.parostroj.net/technika/Y25/y37vvr.tif>



[14] *Nákladní vozy Faccpp (typ Chopper 23.sk.)* [online]. [cit. 29.10.2017]. Dostupné z: <https://www.parostroj.net/katalog/nv/clanky/Faccpp/Faccpp.php3>

[14] *Produktový list 714.3* [online]. [cit. 1.11.2017]. Dostupné z: <http://tatravagonka.sk/file/2016/06/BA-714.3.pdf>

[15] ČSN 13 749, říjen 2011, Železniční aplikace – Dvojkolí a podvozky – Metoda specifikování konstrukčních požadavků na rámy podvozků

## Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Nepodvozkový pojezd [2]</i> .....	13
<i>Obrázek 2: Třínápravový pojezd [4]</i> .....	14
<i>Obrázek 3: Podvozek Y25 [7]</i> .....	14
<i>Obrázek 4: Podvozek TVP2007 [8]</i> .....	15
<i>Obrázek 5: Diamond s třecím tlumením [5]</i> .....	15
<i>Obrázek 6: Diamond s tlumičem [10]</i> .....	16
<i>Obrázek 7: Podvozek 2XTa [9]</i> .....	16
<i>Obrázek 8: Podvozek 26.2.8.</i> .....	17
<i>Obrázek 9: Podvozek UIC30[12]</i> .....	18
<i>Obrázek 10: Podvozek 714.3[.]</i> .....	18
<i>Obrázek 11: Podvozek Y37VVR[13]</i> .....	19
<i>Obrázek 12: Sestava podvozku</i> .....	21
<i>Obrázek 13: Podélník podvozku - nahoře izometrický pohled, uprostřed nárys, dole řez</i> .....	22
<i>Obrázek 14: Aplikace zatížení</i> .....	24
<i>Obrázek 15: Uchycení přílozek s podélníkem</i> .....	25
<i>Obrázek 16: Schéma zatížení přílozek; vlevo nárys, vpravo půdorys</i> .....	26
<i>Obrázek 17: Uchycení ložiskové skříně a přílozek</i> .....	27
<i>Obrázek 18: Schéma zatěžování ložiskové skříně; vlevo bokorys, vpravo nárys</i> .....	27
<i>Obrázek 19: Idealizovaná součást - nahoře, původní model – dole</i> .....	29
<i>Obrázek 20: Síť přílozek</i> .....	30
<i>Obrázek 21: Síť ložiskové skříně a síť podložky</i> .....	31
<i>Obrázek 22: Zjemnění sítě v kritických místech</i> .....	32
<i>Obrázek 23: Síť rámu podélníku</i> .....	32
<i>Obrázek 24: Spojení sítě</i> .....	33
<i>Obrázek 25: Okrajové podmínky</i> .....	33
<i>Obrázek 26: Redukované napětí Von-Mises v podélníku</i> .....	34
<i>Obrázek 27: Napětí ve svaru horní pásnice a U plechu</i> .....	35
<i>Obrázek 28: Napětí v ohybu U plechu a na ploše horní pásnice</i> .....	35
<i>Obrázek 29: Napětí ve svaru hlavní stojny a spodní pásnice</i> .....	35
<i>Obrázek 30: Posunutí podélníku</i> .....	37
<i>Obrázek 31: Reakce v ložiskách; nahoře nárys, dole půdorys</i> .....	38

## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Požadavky a omezení</i> .....	20
<i>Tabulka 2: Základní údaje o podvozku</i> .....	21
<i>Tabulka 3: Parametry pro výpočet zatížení</i> .....	23
<i>Tabulka 4: Hodnoty meze kluzu oceli S355J2 +N</i> .....	36
<i>Tabulka 5: Zhodnocení napětí v součástech a bezpečnost</i> .....	36
<i>Tabulka 6: Reakce v ložiskách</i> .....	37

## Seznam příloh

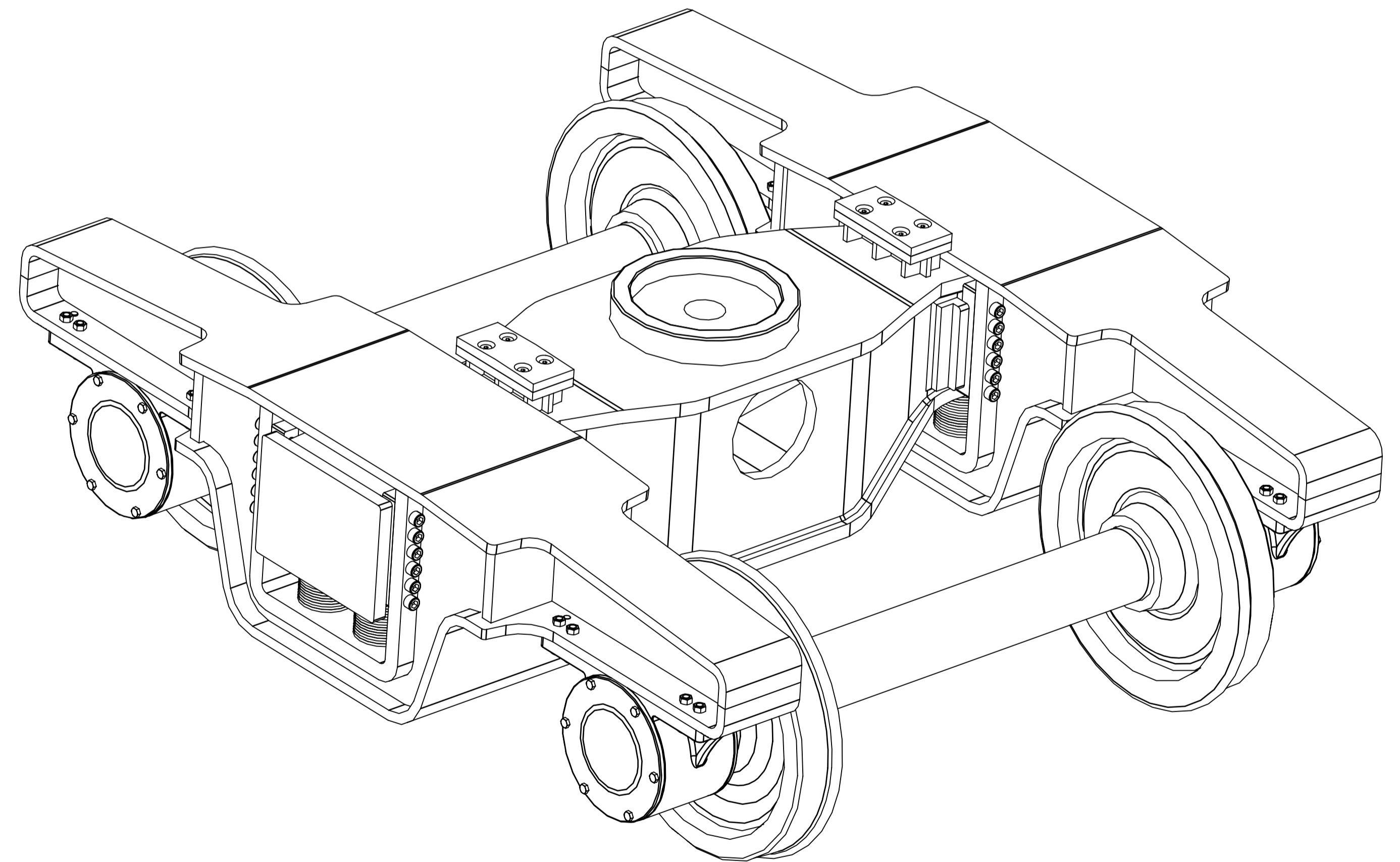
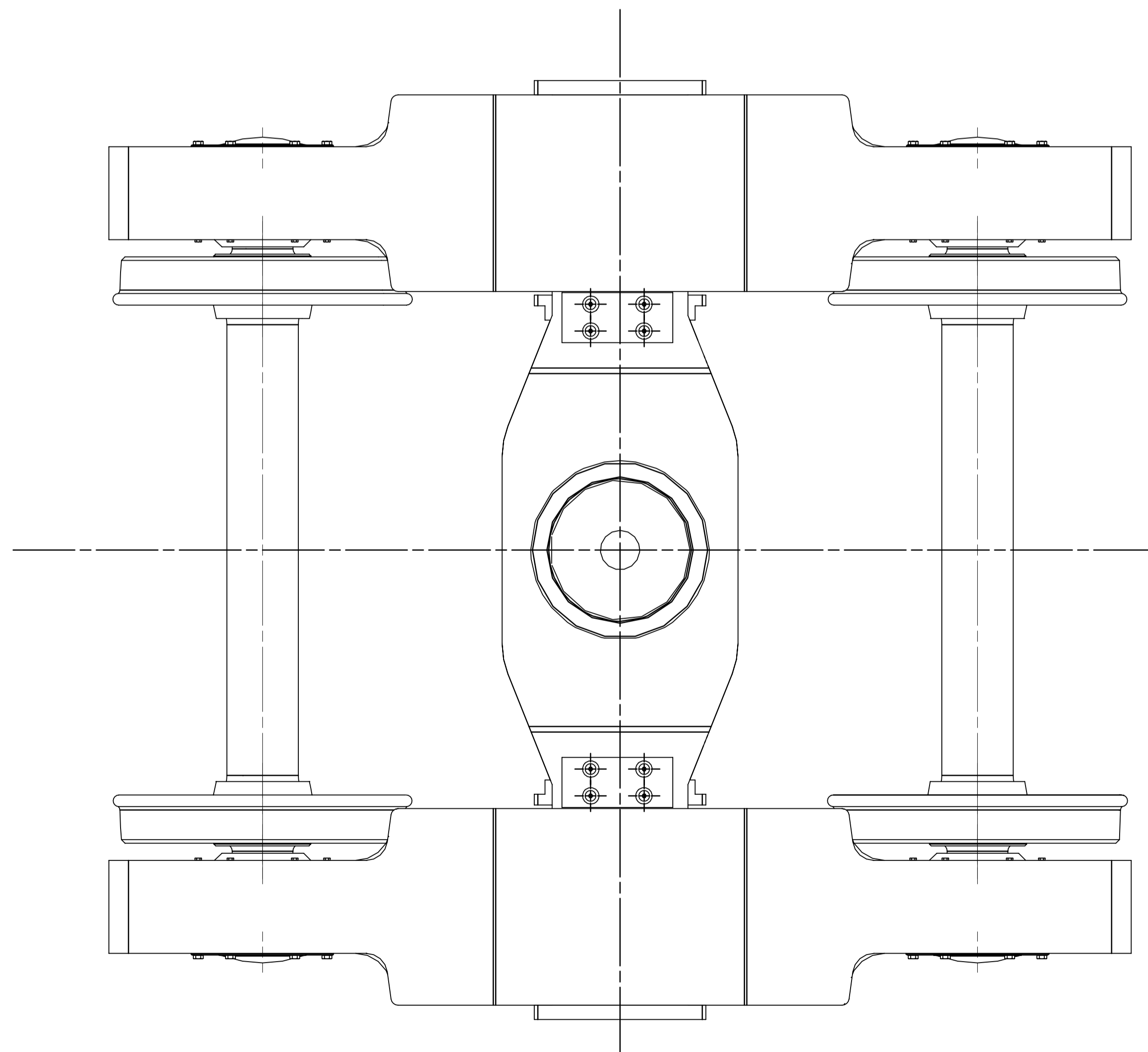
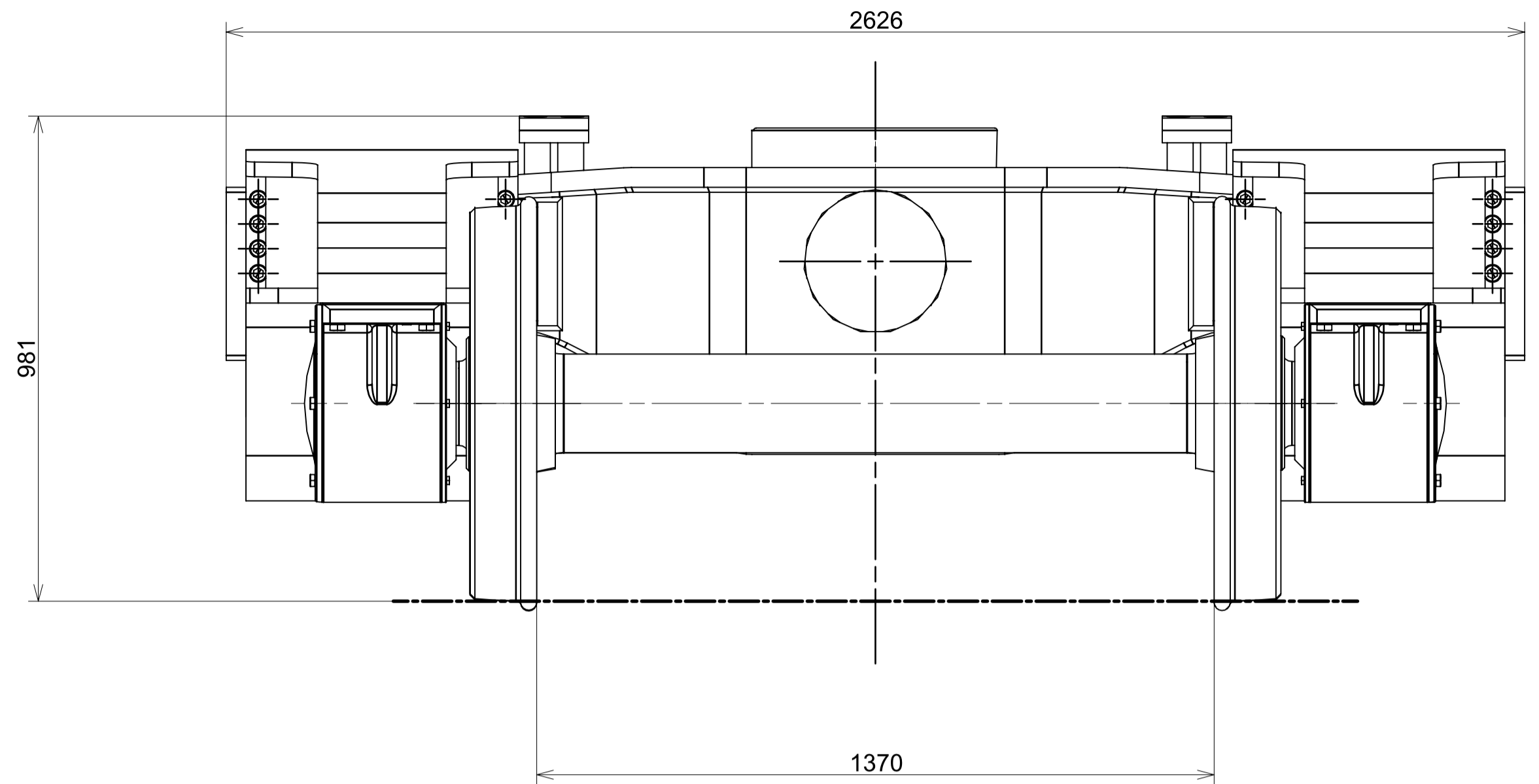
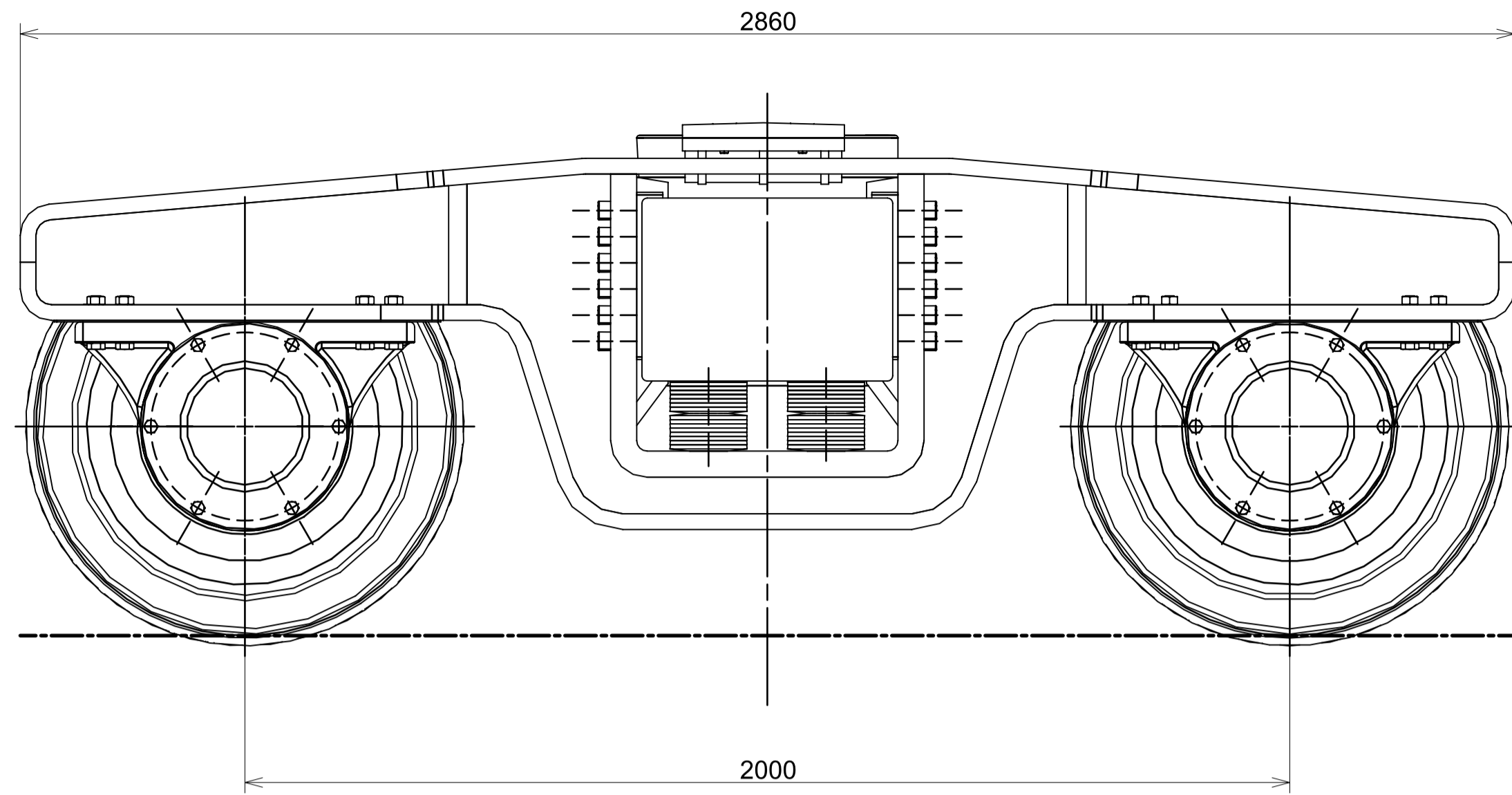
Příloha č. 1                      Přehled vlastností oceli S355J2

## Seznam výkresů

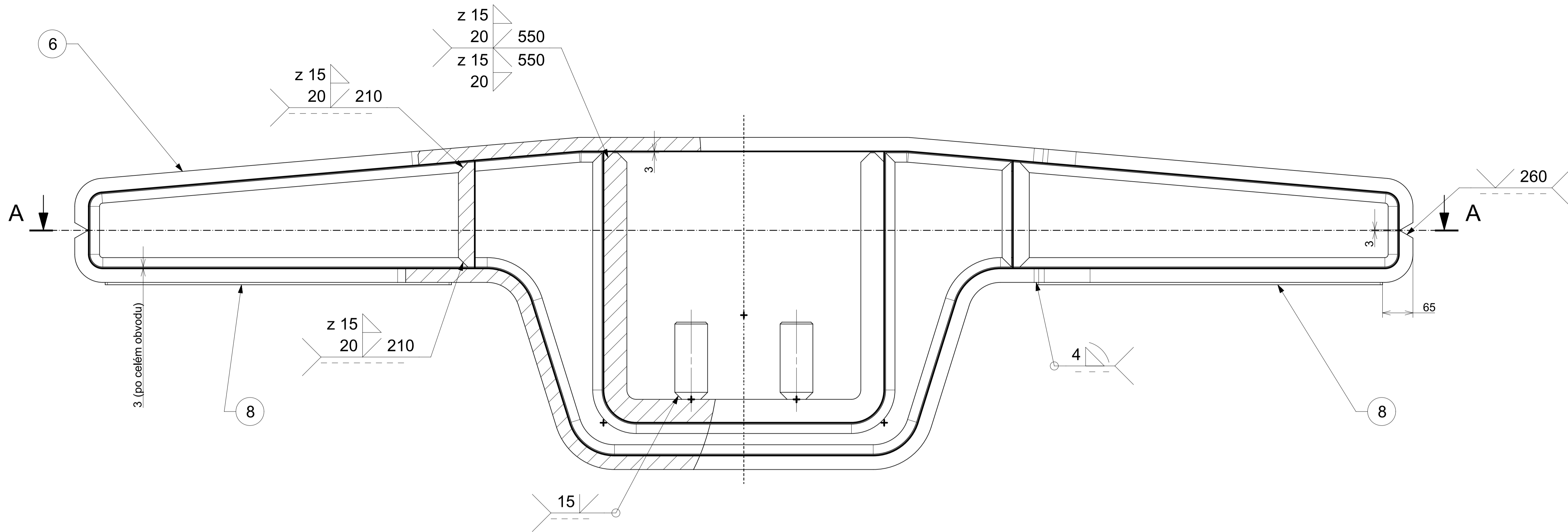
Typový výkres podvozku	BP KKS 18
Výkres svařence	BP KKS 18-01s
Obráběcí výkres	BP KKS 18-01o
Horní pásnice	BP KKS 18-01/006

Příloha č. 1

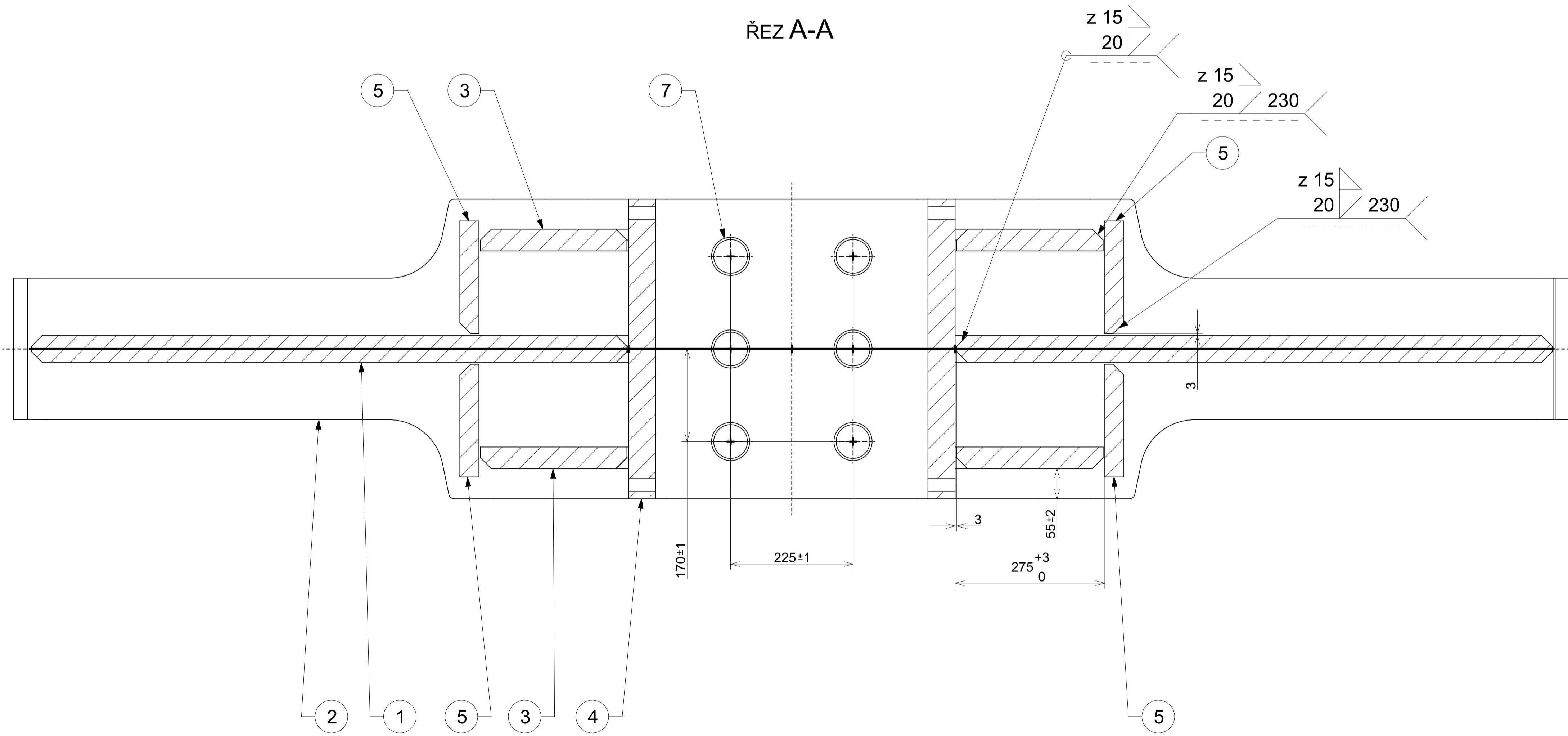
Přehled vlastností oceli S355J2							1.0577		
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
TDP	ČSN EN 10025-2: 2005								
Dřívější označení	S355J2G4 podle EN 10025: 1990 +A1: 1993; St 52-3 N podle DIN 17100; 11 503 podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn	Si	P	S	N	
	≤ 16	>16≤40	>40 <sup>1)</sup>	max.	max.	max.	max.	max.	
Složení hotového výrobku	0,20 <sup>5)</sup>	0,20 <sup>4)</sup>	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R <sub>eH</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250	
	355	345	335	325	315	295	285	275	
	Pevnost v tahu R <sub>m</sub> MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≥3 ≤ 100			> 100 ≤ 150			> 150 ≤ 250		
	470-630			450-600			450-600		
	Minimální tažnost v % (L <sub>0</sub> = 5.65√S <sub>0</sub> ) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm v <sup>6)</sup> :								
	≥ 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	22		21		20		18		17
	Minimální nárazová práce KV (J) při -20°C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm <sup>4), 6)</sup> :								
≤ 150				>150 ≤ 250					
27 <sup>6)</sup>				27 <sup>6)</sup>					
Maximální hodnota CEV <sup>3)</sup>	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:								
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
	0,45		0,47		0,47		0,49 <sup>7)</sup>		
<b>Technologické vlastnosti</b>									
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení, stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 ( EN 1011 ).								
Tváření za tepla	Jsou-li dodané výrobky dále tvářené za tepla, splňují uvedené mechanické hodnoty pouze po následném normalizačním žhání.								
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C ( S355JOC ). To se týká i tažení za studena.								
<sup>1)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. <sup>2)</sup> pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout <sup>3)</sup> hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV, stanovená z rozboru tavby se vypočte podle vzorce : CEV = C + Mn : 6 + ( Cr+Mo+V ) : 5 + ( Ni+Cu ) : 15 CEV je volitelný požadavek. <sup>4)</sup> pro jmenovitou tloušťku nad 30 mm a pro tváření za studena je obsah C max. 0,22 % resp. 0,24% v hotovém výrobku. <sup>5)</sup> je-li ocel určena k válcování za studena je obsah C max. 0,22% resp. 0,24% pro hotový výrobek. <sup>6)</sup> průměrná hodnota vypočtená výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty. V opačném případě se odeberají ze zkušebního vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. <sup>7)</sup> pro dlouhé výrobky maximální hodnota CEV 0,54 <sup>8)</sup> pro podélný směr zkoušení									



Číslo / Kreslí / Drawn by 10.5.2018	Datum / Date		Jméno / Name Lukáš Kožíšek		 FAKULTA STROJNÍ ZAPADOCESKÉ UNIVERZITY V PLZNI
Provedl / Checked by					
Schválil / Approved by					
Index změny / Index change	Popis změny / change description	Schvál. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	
Tolerance / Tolerování ISO 8015 ISO 2768Mk		Soubor-číslo / ASM-file Soubor-výkres / DRW-file		Projekt / Project C. sestavy / Assembly No. C.hmot.sestavy	Měřítko / Scale 1:10
7830kg		0		Rev. 0 Číslo výkresu / Drawing No. <b>BP KKS 18</b> List / sheet no. 1 Póčet listů / sheets 1	
Typový výkres podvozku					Formát A1



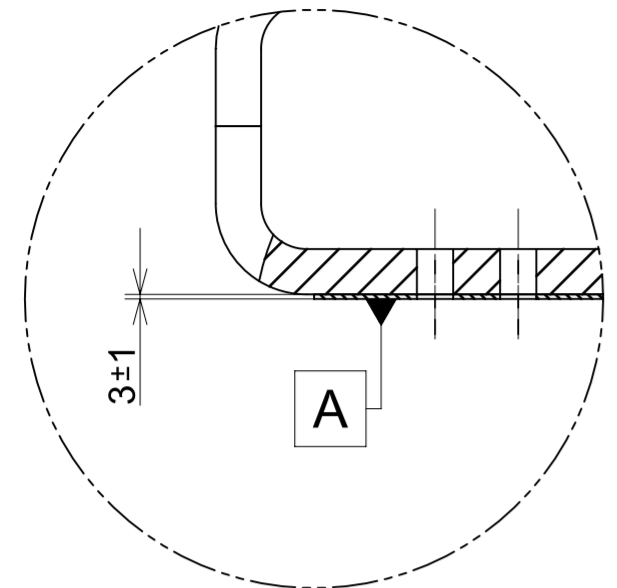
ŘEZ A-A



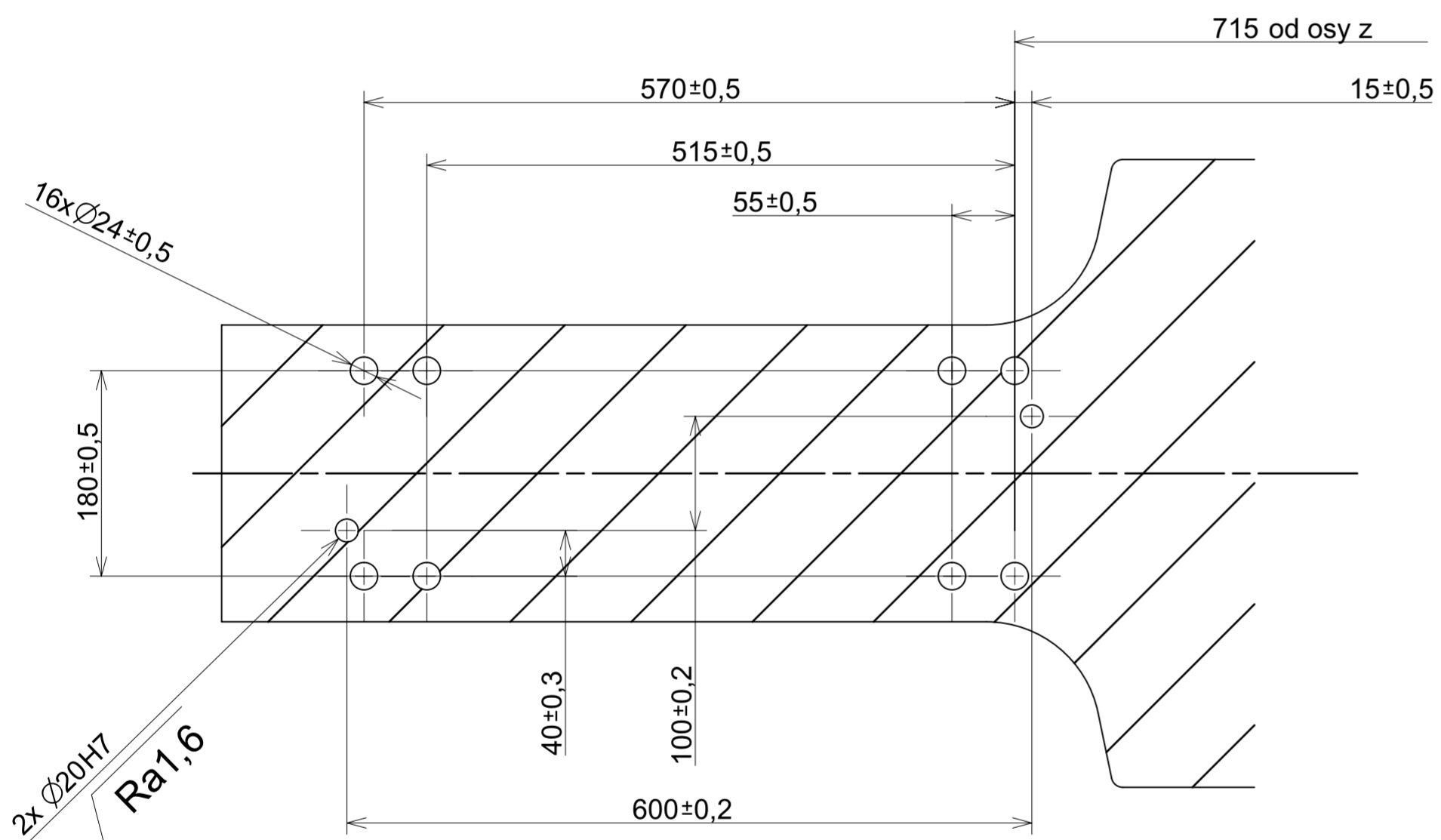
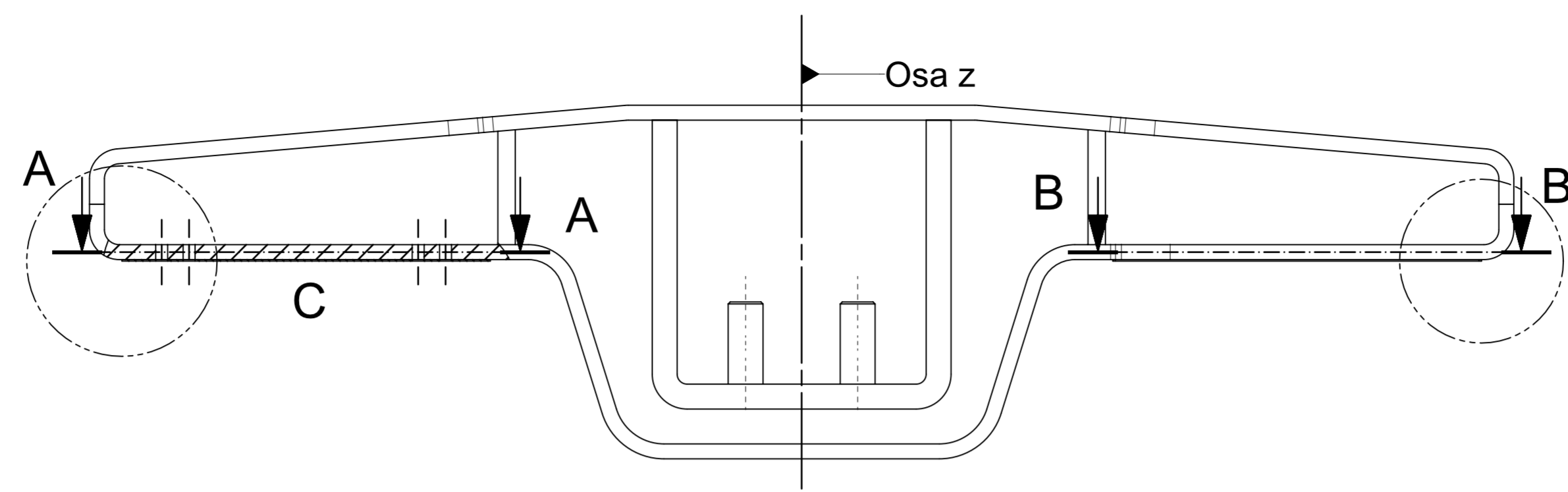
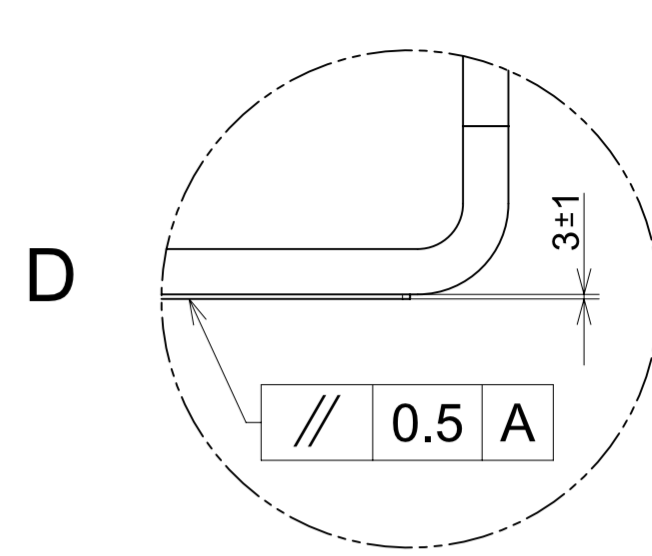
Pos.	Název - rozměr	Polotovár	Material konečný/výchozí	T.O.	C.hmot	Hr.hmot	Číslo výkresu	Počet ks.
7	Spodní pásnice	P30	S355J2 +N		336kg	336kg	BP KKS 18-01/007	1
6	Horní pásnice	P30	S355J2 +N		270kg	270kg	BP KKS 18-01/006	1
5	Čep	KR70 - 170	S355J2 +N		5kg	29kg	BP KKS 18-01/005	6
4	Příčné malé žebro	P35	S355J2 +N		12kg	47kg	BP KKS 18-01/004	4
3	U plech	P50	S355J2 +N		340kg	340kg	BP KKS 18-01/003	1
2	Pomocná stojna	P40	S355J2 +N		73kg	146kg	BP KKS 18-01/002	2
1	Hlavní stojna	P50	S355J2 +N		298kg	298kg	BP KKS 18-01/001	1

Kreslí / Drawn by: 10.5.2018		Jméno / Name: Lukáš Kožíšek			FAKULTA STROJNÍ ZAPADOCESKÉ UNIVERZITY V PLZNI
Schválil / Approved by:		Podpis / Signature:			
Index změny / Change description		Schvál. / APP		Poznámka / Note	
Tolerance / Tolerování: ISO 8015, ISO 2768mK		Soubor-číslo / ASM-file		Projekt / Project: BP KKS 18-01	
ISO 128		Soubor-výkres / DRW-file		C.hmot / Assembly No.: 1439 kg	
Měřítko / Scale: 1:5		Formát / Format: A1		Rev. 0	
Název / Title: Podélník		Číslo výkresu / Drawing No.: BP KKS 18-01s		List / sheet no.: 1	

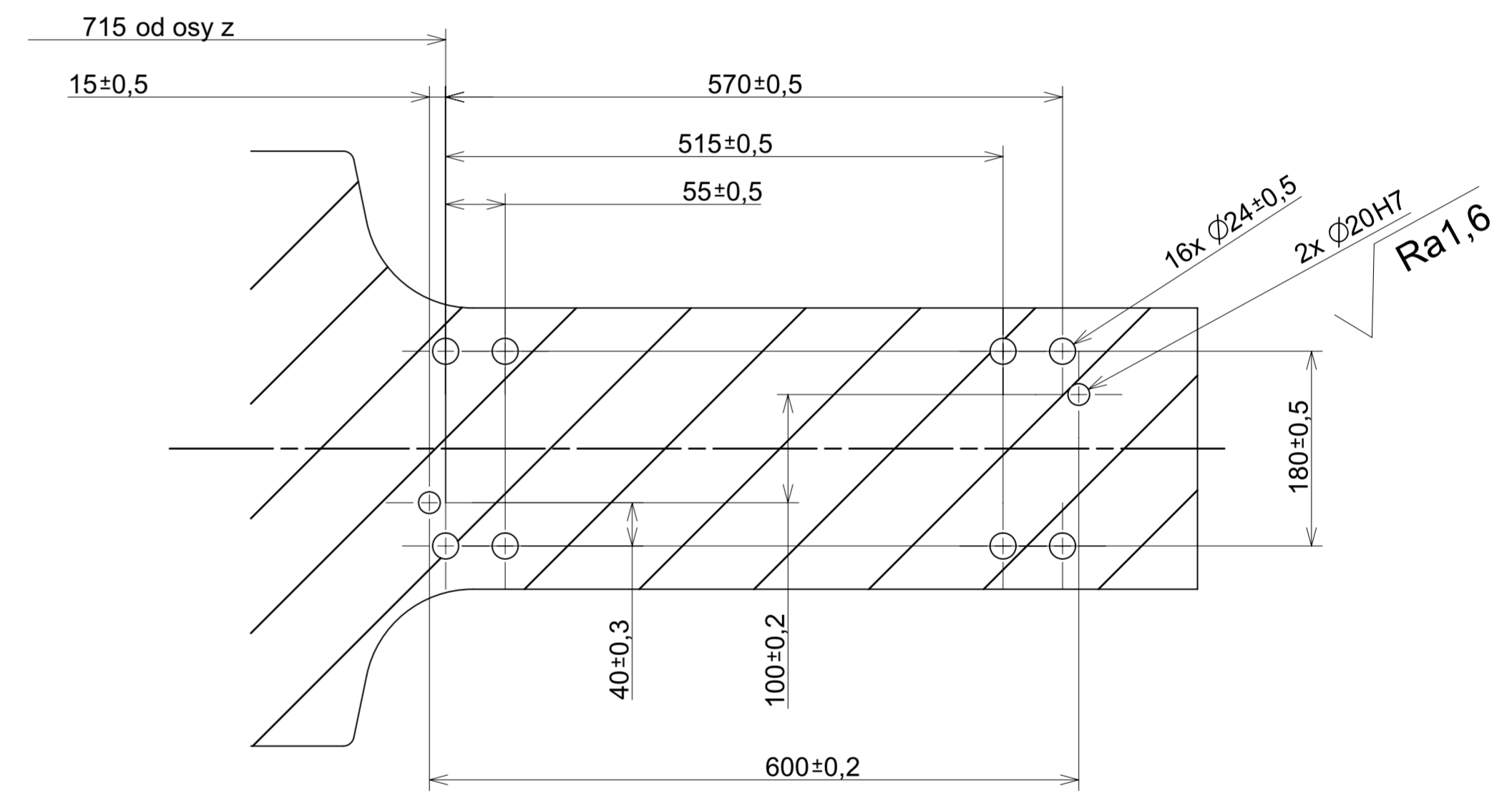
DETAIL C  
1:5




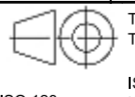
DETAIL D  
1:5

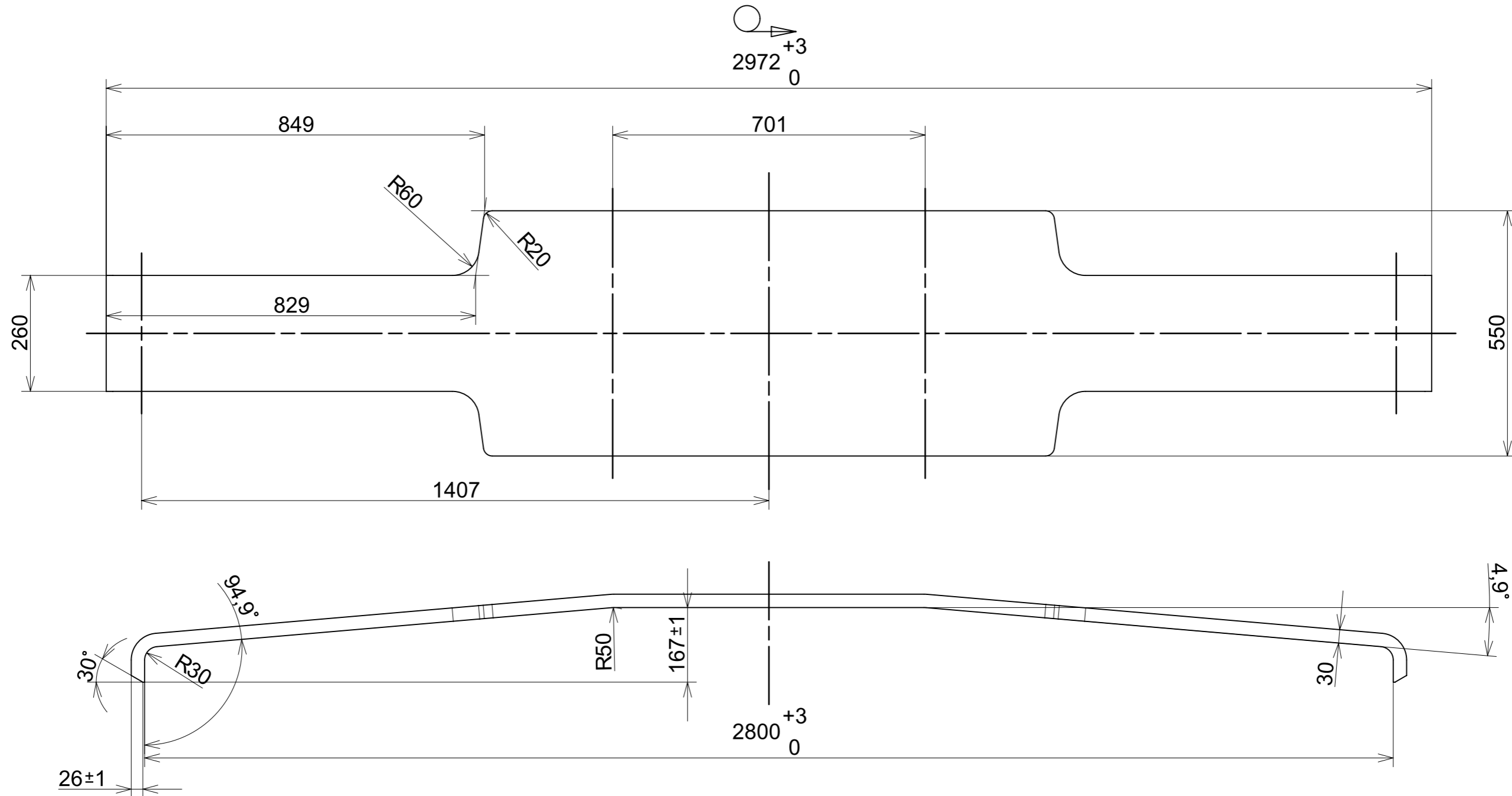




ŘEZ A-A 1:5



ŘEZ B-B 1:5

CAD 1		Datum / Date		Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNÍ ZAPADOCESKÉ UNIVERZITY V PLZNI <small>Všechna práva vyhrazena / All rights reserved</small>	
Kreslil / Drawn by		11.5.2018		Lukáš Kožíšek			
Prezkoušel / Checked by							
Schválil / Approved by							
Index změny	Popis změny / change description	Schvál. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:		
					Obráběcí výkres		
 Tolerance / Tolerování ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		Hmotnost / Mass:	1439kg	Meritko / Scale		
	Soubor-vykres / DRW-file		C.sestavy / Assembly No.	BP KKS 18-01	1:10		
Nazev / Title <b>Podélník</b>				Rev.	Císlo vykresu / Drawing No.	Format	
				0	<b>BP KKS 18-01o</b>	A2	
List / sheet no.		1		Počet listů / sheets		1	



CAD 1	Datum / Date		Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>	
Kreslil / Drawn by	11.5.2018		Lukáš Kožíšek			
Prezkoušel / Checked by						
Schválil / Approved by						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:	
 ISO 128	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file			Hmotnost / Mass: 270kg	Meritko / Scale 1:10
	ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-vykres / DRW-file			C.sestavy / Assembly No. BP KKS 18-01	
Nazev / Title					Rev.	Format
Horní pásnice					0	BP KKS 18-01/006
					Cislo vykresu / Drawing No.	
		1		1		A3