

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

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

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Studie pětivozové jednotky pro metro

Autor: **Bc. Pavel SVOBODA**  
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Petr HELLER, CSc.**

Akademický rok 2013/2014

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2013/2014

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel SVOBODA**  
Osobní číslo: **S11N0067P**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Název tématu: **Studie pětivozové jednotky pro metro**  
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:

Celková délka jednotky nesmí překročit 100m. Doporučuje se plně průchozí jednotka.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše současných vozidel metra.
2. Návrh vlastního koncepčního řešení se zaměřením na průchozí jednotku.
3. Celková dispozice vozidla.
4. Výkres sestavení skříně nebo spojovacího kloubu a měchu.
5. Pevnostní výpočet vybraného dílu.

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

**DOSTÁL, J., HELLER, P.** *Kolejová vozidla I.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2007

**HELLER, P., DOSTÁL, J.** *Kolejová vozidla II.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2009

**HELLER, P., DOSTÁL, J.** *Kolejová vozidla III.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2011

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


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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**  
Regionální technologický institut  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Vladimír Pokorný**  
ŠKODA TRANSPORTATION s.r.o.

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

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



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

V Plzni dne 23. září 2013

## **Prohlášení o autorství**

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

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

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Zde bych rád poděkoval panu Doc. Ing. Petru Hellerovi, CSc. za metodické vedení při vytváření této práce, za cenné rady a odborné připomínky. Také bych rád touto cestou poděkoval zástupci Dopravního podniku hl. m. Prahy Ing. Jaroslavu Kristenovi za poskytnuté informace a konzultace z pohledu uživatele. Dále bych chtěl vyjádřit poděkování Aleně Břendové, která provedla gramatickou kontrolu práce.

## ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Bc. Svoboda	Jméno Pavel	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301T001 "Dopravní a manipulační technika"		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Heller, CSc.	Jméno Petr	
<b>PRACOVÍŠTĚ</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Studie pětivozové jednotky pro metro		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

### POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	69	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	55	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	14
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Práce pojednává o studii pětivozové soupravy určené pro pražské metro. Práce se zabývá problematikou při tvorbě návrhové studie plně průchozí jednotky. Práce také obsahuje pomocné výpočty a pro dimenzování a návrh.</p>
<p><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Studie, metro, pražské metro, souprava, integrální konstrukce, průchozí jednotka</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Bc. Svoboda	Name Pavel	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301T001 "Transport and handling machinery"		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Heller, CSc.	Name Petr	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	A study of five car unit for metro		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	KKS	<b>SUBMITTED IN</b>	2014
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	69	<b>TEXT PART</b>	55	<b>GRAPHICAL PART</b>	14
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The work deals with the study five car unit designed for the Prague metro. The work deals with the creation of the design study is full pass unit. The work also includes auxiliary calculations and dimensioning and design.
<b>KEY WORDS</b>	The study, metro, Prague metro, unit, integral structure, full pass unit

## Obsah:

1. Úvod.....	6
1.1 Cíle .....	6
1.2 Metro .....	6
1.2.1 Historie .....	6
1.2.2 Metro v Čechách.....	6
1.3 Druhy metra.....	7
1.3.1 Metro sovětského typu .....	7
1.3.2 Lehké metro.....	7
1.3.3 Městská rychlodráha (S - Bahn).....	8
1.4 Základní části vozu.....	8
1.5 Specifikace zadání.....	8
1.5.1 Plně průchozí jednotka .....	8
1.5.2 Parametry tratě.....	9
2. Rešerše stávajících vozidel metra .....	10
2.1 Siemens M1 pro Prahu .....	10
2.2 81-71M .....	12
2.3 Siemens metro pro Mnichov .....	14
2.4 Siemens Inspiro .....	15
3. Koncepční požadavky .....	16
3.1 Podvozek .....	16
3.1.1 Podvozek běžný.....	16
3.1.2 Podvozek trakční .....	16
3.2 Skříň .....	17
3.2.1 Diferenciální ocelová nebo nerezová stavba .....	17
3.2.2 Hliníková integrální skříň.....	18
3.2.3 Kompozitní skříň.....	18
3.2.4 Hybridní stavba skříně.....	19
3.3 Elektrická výzbroj .....	19
3.3.1 Centralizované rozmístění výzbroje.....	19
3.3.2 Distribuované rozmístění výzbroje.....	19
3.4 Interiér vozidla .....	20
3.4.1 Sedadla .....	20
3.4.2 Prostor pro kočárky a invalidy .....	20
3.4.3 Madla.....	21
3.4.4 Větrání a zařízení pro udržení tepelné pohody .....	21
3.4.5 Osvětlení.....	22
3.5 Okna .....	22
3.6 Dveře .....	22
3.6.1 Dělení dveří dle kinematiky .....	23
3.6.2 Dělení dveří dle použitého pohonu.....	23
3.7 Trakce a pohon .....	24
3.8 Spřáhla, tažné a narážecí ústrojí.....	25
3.8.1 Všeobecné požadavky .....	27
3.8.2 Konstrukce a dimenzování spřáhel.....	27



4.	Výpočty pro návrh .....	28
4.1	Typový výkres jednotky .....	28
4.2	Výpočet kinematického zúžení.....	29
4.2.1	Pól naklápění .....	29
4.2.2	Vlastní výpočet kinematického zúžení .....	30
4.2.3	Vlastní výpočet vnitřního zúžení .....	30
4.2.4	Vlastní výpočet vnějšího zúžení .....	30
4.2.5	Tvar obalové křivky obrysu pro vozidlo .....	31
4.3	Vyšetření průjezdu S - obloukem .....	33
4.4	Výpočet trakce.....	34
4.4.1	Určení potřebného výkonu jednotky .....	34
4.4.2	Ověření maximální možné přenášené síly .....	35
5.	Specifikace požadavků.....	36
5.1.	List požadavků .....	36
5.2	Návrh pracovního transformačního procesu.....	38
5.3	Návrh jednotlivých variant .....	40
5.3.1	Varianta číslo 1 .....	40
5.3.2	Varianta číslo 2.....	40
5.3.3	Varianta číslo 3.....	40
5.3.4	Hodnocení .....	41
6	Vlastní návrh soupravy .....	42
6.1	Průchodnost soupravy .....	42
6.2	Skříň vozu.....	43
6.3	Elektrická výzbroj .....	45
6.4	Interiér vozu .....	46
6.4.1	Sedadla .....	46
6.4.2	Madla.....	47
6.4.3	Prostor pro kočárky, invalidní vozíky a kola.....	49
6.4.4	Větrání a ventilace.....	50
6.4.5	Osvětlení.....	52
6.4.6	Okna .....	53
6.4.7	Dveře .....	54
6.5	Podvozek .....	55
6.6	Spřáhla.....	56
7.	Pevnostní výpočet pomocného vedlejšího příčnicku.....	57
7.1	Uvedení do problematiky .....	57
7.2	Diskretizace modelu .....	58
7.3	Materiál .....	59
7.4	Okrajové podmínky .....	59
7.5	Zatížení silami .....	60
7.6	Výsledky simulace .....	61
7.6.1	Napětí .....	61
7.6.2	Dislokace .....	62
7.6.3	Napětí při běžném provozu .....	64
7.6.4	Dislokace při běžném provozu .....	65
7.7	Zhodnocení výsledků .....	66
8.	Technicko-ekonomické hodnocení .....	67

8.1	Technické hodnocení.....	67
8.2	Ekonomické hodnocení .....	67
9.	Závěr .....	68
10.	Použitá literatura .....	689
10.1	Knižní publikace.....	69
10.2	Publikace na internetu .....	69
10.3	Technické normy .....	69
10.4	Přednášky .....	69

### Seznam příloh:

Příloha č. 1: Celkový pohled na vůz soupravy

Příloha č. 2: Prospekt dispozic soupravy

Výkresy:

Název	Číslo výkresu	Formát výkresu
Typový výkres	DP-2014-01	A2
Sestavení skříně	DP-2014-02	A1
Průjezd S-obloukem	DP-2014-03	A2

### Seznam tabulek:

Tabulka 1: Tabulka výměny vzduchu pro vozidla metra [9].....21

Tabulka 2: Hodnoty zúžení pro vozidlo.....31

Tabulka 3: List požadavků.....38

Tabulka 4: Hodnocení.....41

## Seznam obrázků:

Obrázek 1: Jednotka metra R1 [6].....	10
Obrázek 2: Jednotka metra Siemens M1 [5] .....	11
Obrázek 3: Jednotka metra 81-71 M [6] .....	13
Obrázek 4: Jednotka metra Siemens C2 Mnichov [7].....	14
Obrázek 5: Jednotka metra Siemens Inspiro pro Varšavu [8].....	15
Obrázek 6: Znázornění hybridní stavby skříně [10].....	19
Obrázek 7: Motor Siemens Syntegra [11, překlad vlastní].....	24
Obrázek 8: Mezivozové semipermanentní spřáhlo jednotky Siemens M1 [5] .....	25
Obrázek 9: Hlavové automatické spřáhlo jednotky Siemens M1 [5].....	26
Obrázek 10: Návrhový typový výkres soupravy.....	28
Obrázek 11: Znázornění přesahů skříně při jízdě obloukem.....	29
Obrázek 12: Graf kinematických zúžení .....	31
Obrázek 13: Graf kinematické zúžení - půdorysný pohled pro výšku 1200 mm.....	32
Obrázek 14: Model skříně vozu se znázorněným kinematickým zúžením ve 3D .....	32
Obrázek 15: Ověření průjezdu S - obloukem.....	33
Obrázek 16: Black box .....	38
Obrázek 17: Návrh transformačního procesu.....	38
Obrázek 18: Úplný návrh provozního transformačního procesu .....	39
Obrázek 19: Varianta číslo 1 .....	40
Obrázek 20: Varianta číslo 2 .....	40
Obrázek 21: Varianta číslo 3 .....	40
Obrázek 22: Dveře pro průchod obsluhy .....	42
Obrázek 23: Isometrický pohled na skříň vozu.....	43
Obrázek 24: Pohled na spodek skříně vozu .....	43
Obrázek 25: Detail hlavního a vedlejšího příčnicku .....	44
Obrázek 26: Pohled na rozmístění skříní na elektroinstalaci .....	45
Obrázek 27: Návrh a testování sedadla za použití manekýna .....	46
Obrázek 28: Podstropní soustava tyčí .....	47
Obrázek 29: Vertikální tyče .....	48
Obrázek 30: Madla pro nástup a výstup v místě dveří.....	48
Obrázek 31: Ukázka umístění ventilační jednotky.....	50
Obrázek 32: Rozdělení komor tubusu .....	50
Obrázek 33: Pohled na stropní ventilaci.....	51

Obrázek 34: Odvětrávání prostoru pro cestující .....	51
Obrázek 35: Rozmístění svítidel v interiéru .....	52
Obrázek 36: Detailní pohled na svítidla .....	52
Obrázek 37: Okno s rámem .....	53
Obrázek 38: Ukázka dveří v poloze zavřeno/otevřeno .....	54
Obrázek 39: Návrh podvozku .....	55
Obrázek 40: Detail uchycení spřáhla a ojnice k zachytávání podélných sil .....	56
Obrázek 41: Zjednodušený model pomocného vedlejšího příčnicku .....	57
Obrázek 42: Diskretizace modelu .....	58
Obrázek 43: Detail diskretizace uchycení ojnice .....	59
Obrázek 44: Znázornění okrajových podmínek a působících sil .....	60
Obrázek 45: Průběh napětí v příčnicku - horní pohled .....	61
Obrázek 46: Průběh napětí v příčnicku - spodní pohled .....	61
Obrázek 47: Znázornění průběhu dislokací - horní pohled .....	62
Obrázek 48: Znázornění průběhu dislokací - spodní pohled .....	63
Obrázek 49: Namáhání příčnicku v běžném provozu .....	64
Obrázek 50: Dislokace příčnicku při běžném provozu .....	65

# 1. Úvod

## 1.1 Cíle

Tato práce se zabývá koncepčním návrhem jednotky vozidel metra se zaměřením na vybrané části a jejich detailnější zpracování. Cílem této práce je koncepční návrh pětivozové jednotky podzemní dráhy metra. Tato jednotka má být koncipována jako plně průchozí.

## 1.2 Metro

Název pro podzemní dráhu je odvozen z francouzského jazyka. Označení *chemin de fer métropolitain* volně přeloženo jako železnice hlavního města, v anglickém jazyce Metropolitan railway, se zkrátilo na dnešní podobu mezinárodního slova metro. Pod tímto pojmem je vedena jak samotná stavba, tunely, stanice a ostatní stavební prvky, tak i samotný dopravní prostředek. Za metro je považována taková železnice, jejíž větší část je ukryta pod zemským povrchem. V dnešní době by každá metropole s více jak jedním milionem obyvatel měla zahrnovat v systému veřejné dopravy také metro, které umožňuje rychlý přesun velkého počtu osob izolovaně od povrchové dopravy a jejích vlivů.

### 1.2.1 Historie

První městskou podzemní dráhou, která se řadí do této kategorie, byla spojnice dvou Londýnských nádraží. Tehdy byla použita k pohonu parní trakce, což se ukázalo být pro podzemní dráhu nevhodné. S vývojem a rozšířením elektrifikace se zavedla závislá trakce elektrická. Na starém kontinentu pak nese prvenství metro v Budapešti, které bylo vybudováno v roce 1896. Šlo o hloubený tunel o délce 5 km, který již od začátku využíval elektrické energie.

### 1.2.2 Metro v Čechách

Na území České republiky (tehdejší ČSSR) se historie provozu metra začala psát 9. května 1974, kdy byla zprovozněna trasa z Hlavního nádraží na Pankrác. Původně tato trať měla sloužit jen podpovrchové tramvaji, díky intervenci ze Sovětského svazu se však projekt metra zdál být mnohem výhodnější. Československé a později české metro se původně dle zákona považovalo za městskou rychlodráhu. V roce 1994 změnilo svou kategorii na speciální železniční dráhu, považuje se za jedinou ve své kategorii u nás.

## 1.3 Druhy metra

### 1.3.1 Metro sovětského typu

Jde o podzemní dráhy, které byly stavěny ve velkých městech zemí bývalého Sovětského svazu, mimo Budapešť a Bukurešť, kde bylo metro zbudováno blíže západnímu typu.

První trasy tohoto metra jsou charakteristické tunely jednotlivých linek, které jsou mezi sebou stavebně oddělené. Stanice jsou nejčastěji trojlodní, což znamená, že nástupní ostrůvek je mezi kolejemi. To přináší výhodu zejména v orientaci a jednoduchosti. Cestující dojde na nástupiště a až tam se teprve může rozhodnout, kterým směrem se vydá. Stanice i tunely byly raženy ve velkých hloubkách, tunely byly pak opatřeny ostěním z ocelových odlitků tzv. tybinků. Takto konstruovaná podzemní dráha mohla sloužit nejen k dopravě, ale v případě ohrožení jako protiletectvý nebo atomový kryt. Dalším výrazným prvkem metra sovětského typu je zdobnost stanic. V Moskvě kupříkladu dominují stanicím národní motivy nebo výjevy z nové doby, kterou měla přinést komunistická ideologie. Kyjevské stanice jsou oproti tomu stylizované jako muzeum ukrajinské historie.

Linky byly stavěny tak, aby spojovaly sídlištní části měst s jejich centry. Při stavbě dalších linek se přidávaly přestupní stanice, při dosažení tří linek metra pak tyto vytvořily tzv. přestupní trojúhelník. Při zvyšování kapacit podzemní dráhy se pak vývoj ubírá směrem k okružním linkám. Takto zbudované metro se nachází v Moskvě.

Dráhy metra sovětského typu byly bez výjimek obsluhované stroji sovětské výroby z továrny Metrovagonmaš Mytišči, nejčastěji typem E a jeho nástupci. Tyto soupravy byly posléze modernizovány, nebo nahrazovány jednotkami jiných výrobců, ale i původním Metrovagonmašem.

### 1.3.2 Lehké metro

Jde o menší variantu podzemní dráhy metra co do rozměrů a kapacity vozidel, tak i do příčných rozměrů tunelů. Je samozřejmě úspornější než standardní metro. Využívá se pro obsluhu okrajových částí mnohamilionových měst.

Koncepce vyvinutá firmou MATRA, dnes SIEMENS, složená z dvouvozových jednotek je charakteristická použitím podvozku. Ten je tvořen dvěma jednonápravovými podvozky, které místo tradičních ocelových kol používají pneumatiky. Každý z těchto podvozků má jednak nosná kola, ale také dva páry vodících kol menšího průměru, jejichž osa je svislá. Pro místa, která nejsou opatřena bočním vedením pro svisle upevněná vodící kola s pneumatikami, je podvozek vybaven dvojicí svislých ocelových koleček, která zapadají do žlábkových kolejnic. Primární vypružení je zajištěno na nosných kolech pneumatikami. Každé kolo je poháněno vlastním třífázovým elektromotorem s permanentními magnety, přes homokinetický kloub a planetovou převodovku. Tento způsob umožňuje přenos točivého momentu na levé i pravé kolo v malých obloucích bez použití diferenciálů.

### 1.3.3 Městská rychlodráha (S-Bahn)

Jde o specifickou mutaci městské dráhy, která v některých zemích může přímo navazovat na železniční síť. S-Bahn je zkratkou pocházející z německého "Stadtbahn" (městská dráha) nebo "Stadtschnellbahn" (městská rychlodráha). Většinou je lokalizována jako příměstská dráha a plynule navazuje na systém městské hromadné dopravy. Může být oddělena od zbytku železniční sítě. Jedním z hlavních znaků je také krátký takt spojů. Konstrukce vozidel pak klade důraz na nástupní prostory, které musí umožňovat rychlou obměnu cestujících.

Prvenství ve vybudování tohoto typu městské dopravy patří německému Berlínu. Již v roce 1924 byla v tomto městě uvedena do provozu trať napájená 800 V stejnosměrného napájení. Po vzoru Berlína nepokračovala jen další německá města, kupříkladu Hamburk, ale i ostatní země. Městské dráhy s tímto označením najdeme tedy i ve Švýcarsku a Rakousku.

## 1.4 Základní části vozu

Konstrukci každého vozu nebo vozidla metra je možné stejně jako ostatní kolejová vozidla dělit na tři různé konstrukční celky, kterými jsou skříň vozidla, podvozková část a nezbytné příslušenství.

## 1.5 Specifikace zadání

Úkolem této práce je navrhnout jednotku metra, která by měla být maximálně 100 m dlouhá a složená z pěti vozů jako plně průchozí. Toto zadání je velmi blízko v současné době provozovanému uspořádání vozidel pražského metra. S tím rozdílem, že současná koncepce je založena na neprůchozích soupravách složených ze dvou řídicích hlavových vozů a tří vložených vozů.

### 1.5.1 Plně průchozí jednotka

Za plně průchozí jednotku se považuje vícevozová souprava, která za provozu utváří ucelený prostor pro cestující v celé délce jednotky. Průchodnost mezi jednotlivými vozy zajišťují přechodové měchy, které ke splnění funkce musí být správně řešené. Toto řešení je nákladné, konstrukčně složité a vzhledem k možnosti průjezdu "esíčkem" zabírá více prostoru z konstrukce.

Toto řešení má i svá bezpečnostní rizika v podobě šíření požáru či tlakové vlny z případného výbuchu. Vzniklý komínový efekt by snížil šance pasažérů na přežití na minimum. Při výbuchu by vzniklé tlakové vlny souprava znásobila tak, že by se celá konstrukce stala velkou trubkovou bombou s devastujícími účinky na vše živé i neživé uvnitř vozidla.

Nevýhodou takovéto jednotky je složitější rozpojování a opětovné spojování, ke kterému může dojít v kritických situacích. Mezi nejčastější situace rozhodně patří pád osoby do kolejíště. V tomto případě je nutné tělo vyprostit. Nejčastěji tělo skončí v místech pod vlakem a k jeho snadnému vyproštění je nutné, aby se dala celá souprava snadno rozdělit.

Tato úskalí by bylo nutné konstrukčně ošetřit, čímž by vzrostly náklady na pořízení celé jednotky. Dopravní podnik hlavního města Prahy kupříkladu tuto možnost nezvažuje. Na druhou stranu se tomuto řešení ani nebrání. V dnešní době je plně průchozí jednotka "módním výstřelkem", využití plně průchodnosti cestujícími je kupříkladu v tak vytěžované síti, jako je pražské metro, velmi obtížné. I přes veškerá úskalí však rozšíření plně průchozích

jednotek do pražské sítě není nemožné, avšak se začátkem platnosti nového občanského zákoníku při výběrovém řízení rozhoduje cena.

Z tohoto vyplývá, že v rámci "Life cycle costingu" není možné, aby jednotka s přechodovými měchy mohla při výběrovém řízení porazit konstrukci složenou z oddělených vozů.

### 1.5.2 Parametry tratě

Jako cílového zákazníka jsem si pro tuto práci určil Dopravní podnik hlavního města Prahy. Ten využívá tří linek metra, které se od sebe odlišují kupříkladu použitým zabezpečovacím systémem. Každá z těchto linek má vlastní depo, mnohdy je však potřeba, aby soupravy používané na jedné lince přejížděly přes druhou. V takovémto případě je nutné dbát zvýšené opatrnosti a metro z cizí linky s jiným zabezpečovacím zařízením provozovat za snížené rychlosti. S ohledem na možné přejezdy souprav z jiných linek na jiné a využití depa druhé linky, kupříkladu z důvodů přesoustružení kol, které je výhradně prováděno v depu Kačerov, je nutné brát v potaz jako nejmenší rádius oblouku 80 m pro všechna vozidla. Tratě linek jsou zbudovány jako dvojkolejné s mimoúrovňovým křížením. Jednotlivě jsou tratě propojeny kolejovými spojkami, které se využívají pro servisní a služební jízdy. Na linkách jsou zbudovány obratiště i mimo cílové zastávky pro nouzové případy, jako jsou povodně, nebo delší odstávky úseků. Obraty musí mít minimální délku pro obrat soupravy 170 m. Koleje o rozchodu 1435 mm jsou umístěny většinou v kruhových tunelech s minimálním průměrem 5100 mm a v případě tunelů se svislými stěnami musí být světlá výška stropu minimálně 4000 mm nad temenem kolejnice. V tunelech je nouzová stezka pro evakuaci cestujících vždy umístěná na protilehlé straně přívodní kolejnice. Přívodní kolejnice je napájena napětím 750 V.

Celková délka kolejí:	154,6 km
Počet stanic:	57
Minimální použitý poloměr na tratích:	150 m
Minimální použitý poloměr v depu:	70 m
Průměr traťových tunelů:	5,1 m
Průměr staničních tunelů:	7,8 m
Minimální délka nástupiště:	100 m
Maximální stoupání:	40 ‰ (60‰)
Nejkratší vzdálenost mezi stanicemi:	425 m
Nejdelší vzdálenost mezi stanicemi:	2748 m
Předpokládaný adhezní součinitel:	0,3 ÷ 0,35
Střední doba užití metra:	15 minut



## 2. Rešerše stávajících vozidel metra

### 2.1 Siemens M1 pro Prahu

Souprava pěti vozů, která je provozována na lince C pražského metra ze stanice Háje do stanice Letňany. V současné době jde o nejvytíženější linku pražského metra, která je na délce 22,4 km osazena 20 stanicemi a obsluhována v intervalech až 1minuty a 55 vteřin. Tuto linku zvládne souprava M1 urazit za 36 minut. Na této lince se o bezpečný provoz stará zabezpečovací zařízení Matra PA135.

Jde o ucelenou vlakovou jednotku složenou ze dvou hlavových vozů označovaných M1.1, dvou vložených vozů M1.2 a jednoho vloženého vozu M1.3. Vozy M1.1 obsahují stanoviště strojvedoucího a jsou vybaveny měniči palubních sítí a akumulátorovými bateriemi. Vozy M1.2 mají nainstalován zdroj tlakového vzduchu pro pneumatické zařízení jednotky a vůz M1.3 je v soupravě jako jediný umístěný uprostřed soupravy a nese na své palubě centrální řídicí počítač.

Skříň vozidla je postavena jako diferenciální stavba svařovaná z hliníkových profilů, díky čemuž se povedlo snížit váhu oproti původně provozovaným soupravám. Vzhledově se podobá původní podobě metra R1 určeného pro Prahu navržené ČKD Tatra Smíchov ve spolupráci s ČKD Trakce a VÚKV Praha. Na vozidle M1 se podílel při vývoji také vedoucí konstruktér z projektu R1 Ing. Antonín Honzík.



Obrázek 1: Jednotka metra R1 [6]



Obrázek 2: Jednotka metra Siemens M1 [5]

Šířka vozu:	2712 mm
Výška vozu:	3670 mm
Rozvor podvozků:	2100 mm
Vzdálenost otočných čepů:	12600 mm
Průměr dvojkolí:	850 mm
Počet dveří pro cestující na jeden vůz:	2x4
Šířka dveří:	1300 mm
Výška podlahy nad TK:	1150 mm
Délka soupravy přes spřáhla:	96660 mm
Max. rychlost:	80 km/h
Max. zrychlení (0-30km/h):	1,2 m/s <sup>2</sup>
Největší dovolený sklon:	40 ‰
Délka vozu M1.1:	19521 mm
Délka vozu M1.2, M1.3:	19206 mm
Hmotnost vozu M1.1:	27,9 t
Hmotnost vozu M1.2:	25,9 t
Hmotnost vozu M1.3:	25,6 t
Hmotnost maximálně obsazené soupravy:	243 t
Počet míst k sezení v soupravě:	224 osob
Počet míst k stání v soupravě:	1240 osob
Trakční napětí:	750 V
Primární vypružení:	Vinuté pružiny
Sekundární vypružení:	Vzduchové měchy

## 2.2 81-71M

Souprava, která vznikla modernizací původního vlaku 81-71 vyrobeném v tehdejším SSSR nedaleko od Moskvy firmou Mytiščinskij mašinostrojtelnij zavod. V roce 1994 z původní soupravy 81-71 konsorcium firem Škoda DT a ČKD Praha začalo s modernizací první soupravy, která zabrala dva roky. Cílem této modernizace bylo prodloužit životnost vozidel, zlepšit hospodárnost a spolehlivost a v neposlední řadě také komfort cestujících.

Celá souprava je složena ze dvou čelních vozů označovaných 2Mt, které obsahovaly mimo pracoviště strojvedoucího také traťové zabezpečovací zařízení a akumulátorové baterie. Dále obsahuje vůz s označením 3Mt, který nese taktéž akumulátorovou výzbroj. Jako druhý a čtvrtý vůz v soupravě je řazen vůz nesoucí označení 4Mt, který nese kompresorovou techniku pro zdroj tlakového vzduchu. Vozy v soupravě jsou spojovány mezi sebou spřáhly firmy Dellner. Na koncích vlaku zůstala původní poloautomatická spřáhla s drobnými úpravami jako například nový tlumící segment.



Obrázek 3: Jednotka metra 81-71 M [6]

Šířka vozu:	2712 mm
Výška vozu:	3662 mm
Rozvor podvozků:	2100 mm
Vzdálenost otočných čepů:	12600 mm
Průměr dvojkolí:	780 mm
Počet dveří pro cestující na jeden vůz:	2x4
Šířka dveří:	1300 mm
Výška podlahy nad TK:	1280 mm
Délka soupravy přes spřáhla:	96426 mm
Max. rychlost (konstrukční):	90 km/h
Max. zrychlení (0-30km/h):	1,3 m/s <sup>2</sup>
Největší dovolený sklon:	40 ‰
Délka vozu 2Mt:	19398 mm
Délka vozu 3Mt, 4Mt:	19210 mm
Hmotnost vozu 2Mt:	32 t
Hmotnost vozu 3Mt, 4Mt:	31 t
Hmotnost maximálně obsazené soupravy:	243 t
Počet míst k sezení v soupravě:	220 osob + 8 míst pro vozíčky nebo kočárky
Počet míst k stání v soupravě:	1086 osob
Trakční napětí:	750 V
Primární vypružení:	Vinuté pružiny
Sekundární vypružení:	Vinuté pružiny

## 2.3 Siemens metro pro Mnichov

Tato jednotka je vyráběna pro mnichovský U-Bahn, firmou Siemens ve Vídni. Stala se tak třetí generací vozidel mnichovského metra pod označením C2.

Jde o nedělitelnou šestivozovou jednotku, která je plně průchozí. Skříň vozů je vyrobena jako integrální hliníková konstrukce.



Obrázek 4: Jednotka metra Siemens C2 Mnichov [7]

Šířka vozu:	2900 mm
Výška vozu:	3650 mm
Rozvor podvozků:	2100 mm
Vzdálenost otočných čepů:	12000 mm
Průměr dvojkolí nové/opotřebované:	850/770 mm
Počet dveří pro cestující na jeden vůz:	2x3
Šířka dveří:	1400 mm
Výška podlahy nad TK:	1100 mm
Délka soupravy přes spřáhla:	114800 mm
Max. rychlost (konstrukční):	90 km/h
Max. zrychlení:	1,33 m/s <sup>2</sup>
Hmotnost maximálně obsazené soupravy:	168 t
Počet míst k sezení v soupravě:	220 osob
Počet míst k stání v soupravě:	940 osob
Trakční napětí:	750 V
Primární vypružení:	gumo-kovové pružiny
Sekundární vypružení:	pneumatické měchy

## 2.4 Siemens Inspiro

Jednotka metra určená pro polskou Varšavu. Má neobvyklý design čela čelních vozů z dílny BMW. Jeho výhodou může být i to, že v případě skoku člověka do kolejiště se sklo neroztříští a drobné úlomky nezasáhnou řidiče.



Obrázek 5: Jednotka metra Siemens Inspiro pro Varšavu [8]

Šířka vozu:	2740 mm
Výška vozu:	3660 mm
Rozvor podvozků:	2100 mm
Vzdálenost otočných čepů:	12600 mm
Průměr dvojkolí nové/opotřebované:	850/770 mm
Počet dveří pro cestující na jeden vůz:	2x4
Šířka dveří:	1400 mm
Výška podlahy nad TK:	1130 mm
Délka soupravy přes spřáhla:	117800 mm
Max. rychlost (konstrukční):	90 km/h
Max. zrychlení:	1,2 m/s <sup>2</sup>
Hmotnost maximálně obsazené soupravy:	265 t (prázdná 163 t)
Počet míst k sezení v soupravě:	256 osob
Počet míst k stání v soupravě:	1450 osob
Trakční napětí:	750 V
Primární vypružení:	gumo-kovové pružiny
Sekundární vypružení:	pneumatické měchy
Minimální rádius servisní linky/depa:	300 m/60 m
Maximální stoupání:	4,5 %

### **3. Koncepční požadavky**

#### **3.1 Podvozek**

U vozidel metra mají podvozky stejnou funkci jako u kolejových vozidel. Musí umožnit přenos silových účinků tratě a skříně vůči sobě. Konstrukčně se však od kolejových vozidel odlišují zejména z důvodu odlišných provozních podmínek.

Podmínky, které jsou v tunelech metra, mají, na rozdíl od povrchové železniční dopravy, blíže k ideálním. Zejména součinitel adheze je vyšší, což přináší výhodu při jízdě po rovné trati ve formě odpadnutí pískovačů, které nejsou potřeba vzhledem ke konstantním podmínkám. Negativem těchto vlivů je jízda v oblouku nebo přes výhybku, kdy dochází vlivem tření k vyššímu opotřebení kol i kolejí. Toto se z konstrukčního hlediska řeší pomocí mazání okolků stejně jako u tramvají.

Dalšími požadavky na konstrukční řešení podvozku vozidel metra je udržení konstantní výšky podlahy nad temenem kolejnice. Tato bývá 1150 mm od temene kolejnice. Vozidlo metra by mělo být schopno udržet tuto hodnotu i při různé obsazenosti. Toto kritérium velmi dobře splňuje vypružení pneumatickými měchy.

Jedním z hlavních znaků podvozků podzemní dráhy, zvláště v evropských podmínkách, je umístění napájení elektrickým proudem. Vozidla se většinou napájí z takzvané třetí koleje, která kopíruje kolejiště tunelu. Z tohoto důvodu musí být sběrač proudu umístěn na podvozku. Jedině tak může být dosaženo shodné kinematiky kol a sběrače.

##### **3.1.1 Podvozek běžný**

Podvozek běžné konstrukce je složen z rámu, primárního a sekundárního vypružení, náprav a také obsahuje veškeré výše zmíněné konstrukční prvky. Pomocí mechanických brzd se také účastní zpomalení, nikoliv však zrychlení.

##### **3.1.2 Podvozek trakční**

Trakční podvozek se od běžného liší tím, že je osazen agregáty zajišťujícími trakci. Většinou se trakční agregát skládá z elektromotoru a převodovky. Jsou i výjimky, kdy je motor umístěn přímo na nápravě tak, že motor je statorem a náprava rotorem. Tento princip je také znám jako Syntegra od firmy Siemens.

Řízení elektromotorů se u jednotek metra používá většinou sdruženého pro jeden podvozek nebo pro celý vůz.

## 3.2 Skříň

Je hlavním prvkem celé konstrukce vozidla, musí přenášet podélné i svislé síly od vnějších a vnitřních zatížení. Koncepčně jde o nosník na dvou podpěrách, jejichž funkci zastávají podvozky. Vozidla metra jsou zařazena do kategorie P-III, kde požadavek na podélné zatížení je 800 kN. Pro lehká metra spadající do kategorie P-IV je požadavek na podélné zatížení skříně 400 kN. Tyto údaje jsou dané normou ČSN EN 12 663-1. Důležitou roli zastává hmotnost skříně vozidla, jelikož se od celkové hmotnosti vozidla přímo odvíjí náklady na provoz soupravy. Hmotnost skříně tvoří z 12 – 20 % celkovou hmotnost vozidla. Skříně vozidel metra se vyznačují větším počtem dveří, které se pohybují mezi 3 a 5 páry.

Hrubou stavbu skříně vozidla metra lze jako u ostatních kolejových vozidel rozdělit do několika částí. Spodek skříně s podlahou slouží jako hlavní nosný prvek svislých i podélných sil, který je vyztužen bočnicemi, na kterých sedí střecha, která celý celek uzavírá. Takto vzniklá trubka je na svých čelech opatřena čelnicemi, popřípadě kabinou strojvedoucího. V případě plně průchozích jednotek se čelnice zmenší pouze na výztužný lem.

Provedení skříně může být stejně jako u ostatních kolejových vozidel více druhů v závislosti na použitých materiálech. Materiály nejčastěji používané jsou černé nebo nerezové oceli a hliníkové slitiny. V některých případech je možné použít kombinaci těchto materiálů, nebo v poslední době s oblibou užívané kompozitní materiály.

Podle normy ČSN 28 1310 musí být skříň vozidla metra konstruována jako samonosná a zajišťovat bezpečí pro cestující i personál v co největší míře. Skříň musí být navržena tak, aby do konstrukce nezatékalo a nevnikal do ní prach. Pomocí záślepek musí být zabráněno srážení kondenzátů v dutinách skeletu.

Dopravní podnik hlavního města Prahy požaduje z důvodů požární bezpečnosti neprůchodnou podlahu. Jedním z požadavků je také co nejhladší povrch skříně z důvodu tlakového mytí souprav od běžných nečistot a při odstraňování graffiti. Tyto jsou odstraňovány za pomoci silných přípravků, které jsou při delší době expozice schopny narušit vrstvu ochranného laku skříně. V místě nerovností se přípravek odstraňuje hůře.

### 3.2.1 Diferenciální ocelová nebo nerezová stavba

Diferenciální stavba je svařovaná, nebo svařovaná a částečně lepenou konstrukcí z jednotlivých ocelových profilů jako jsou nosníky, stojiny, příčnický, podélníky, výztuhy a jiné. Skládá se z nosné části tvořené profilovanými nosníky a z části obalového opláštění tvořící vnější povrch vozu. Povrch skříně je tvořen ocelovým plechem, ale může být použito i různých typů laminátů.

Je jedním z nejdéle používaných typů skříní. Oceli obvyklých jakostí jsou co do nákladů na materiál cenově výhodnější, ale výroba skříně je pracnější. Za výhodu se dá považovat to, že tímto způsobem můžeme vyrobit celou skříň i v případě, že by byly kladeny nároky na nárazovou odolnost kabiny.

Takto provedená konstrukce vyniká především svou schopností akumulovat velkou deformační energii nárazu. Daleko lépe než hliníkové konstrukce odolává požáru, i když v případech metra je nutné uvažovat komínový efekt v tunelech, díky kterému je dosahováno při hoření daleko vyšších teplot než v otevřeném prostoru. Nespornou výhodou diferenciální konstrukce je případná oprava skeletu skříně v případě poškození, ale vzhledem k izolovanosti podzemní dráhy není potřeba předpokládat větší poškození skříně. Nevýhodou



může pak být nízká odolnost skříně proti korozi, což se řeší použitím nerezové oceli nebo antikoročních nátěrů.

### 3.2.2 Hliníková integrální skříň

V tuzemsku není zatím provozováno vozidlo metra s čistě hliníkovou integrální stavbou. Nejmodernější soupravy metra M1 provozované v Praze jsou kombinací integrální a diferenciální hliníkové stavby, kdy podlaha a strop jsou zhotoveny jako integrální a bočnice jsou skládané z různě orientovaných profilů. V době konstrukce a výroby soupravy Siemens M1 v tuzemsku nebyly zkušenosti s čistě integrální konstrukcí s ohledem na fakt, že čistě integrální hliníková skříň pro soupravu pražského metra je velmi problémová, vzhledem k počtu a velikosti dveří a oken. S ohledem na současné trendy a tuzemské výrobce je vhodné předpokládat čistě integrální stavbu, se kterou má největší český výrobce kolejových vozidel ŠKODA Transportation už své zkušenosti.

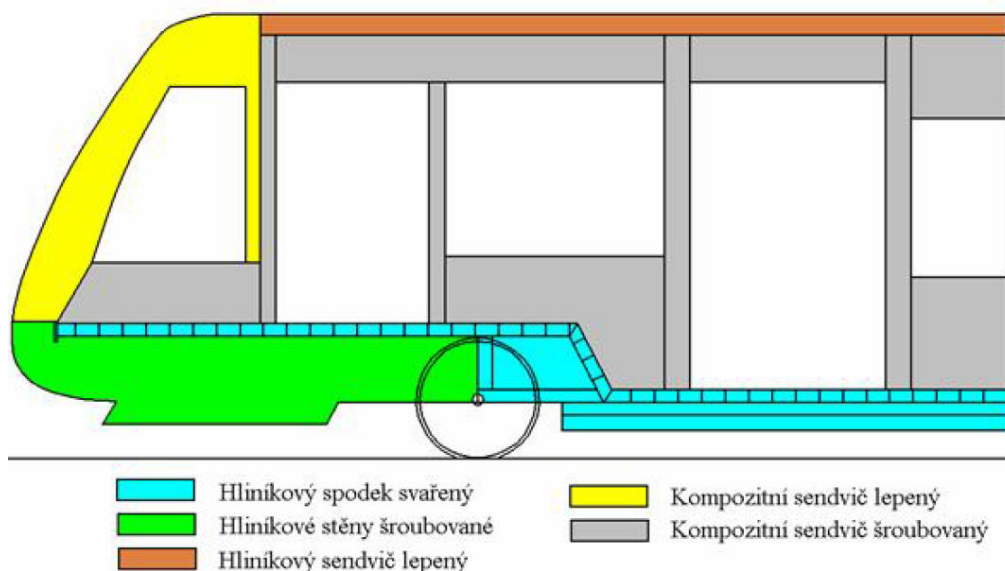
Za integrální skříň se označuje taková konstrukce, která je tvořena svařenými hliníkovými taženými profily. V těchto profilech je zakomponována drážka pro budoucí uchycení dalšího vybavení. Výsledkem použití hliníku by mohla být úspora hmotnosti. Nevýhodou tohoto typu konstrukce je prakticky nemožná opravitelnost skříně po nehodě, kdy dojde k její deformaci či destrukci. Je také dobré zdůraznit, že hliník má nižší teplotu tavení než ocel a v případě závad na elektrickém zařízení, které by způsobily lokální zvýšení teplot, by mohlo dojít k nenávratnému poškození skříně. Také hrozba teroristických útoků hovoří proti použití této konstrukce. Je samozřejmě otázkou zda zohlednit tyto katastrofické scénáře včetně možného střetu soupravy a využívat crashově odolné kabiny strojvedoucího na úkor hmotnosti, kterou bude vozidlo celou dobu své životnosti převážet a provozovatel tento převoz platit.

### 3.2.3 Kompozitní skříň

Jedna z možností pro výrobu kompozitní skříně je použití metody vinutí. Jde o sendvičový kompozit, složený z laminátů, mezi kterými je umístěna pěna. Tato konstrukce má oproti běžným konstrukcím výhodu ve 20-25% úspoře hmotnosti. Navíc má tato konstrukce lepší izolační vlastnosti a je odolná proti korozi. Nevýhodou této konstrukce je velká prostorová náročnost při výrobě, použití speciálního zařízení a formy nebo kopyta. Při narušení takovéto konstrukce je pak nutná výměna celé skříně.

### 3.2.4 Hybridní stavba skříně

Kombinuje již zmíněné způsoby stavby skříně do jedné varianty. Kupříkladu integrální a diferenciální hliníkovou stavbu s lepenými laminátovými díly.



Obrázek 6: Znázornění hybridní stavby skříně [10]

## 3.3 Elektrická výzbroj

Rozložení nejen elektrické výzbroje, ale i dalších pomocných modulů se může uskutečnit podle dvou různých směrů. Norma ČSN 28 1310 udává, že napájecí soustava je 750 V s odchylkou 33%, což znamená od 500 V do 900 V.

### 3.3.1 Centralizované rozmístění výzbroje

Za centralizované rozmístění elektrické výzbroje považují takové rozmístění, kdy každý jednotlivý vůz je vybaven veškerým elektrickým a pneumatickým vybavením potřebným pro svůj provoz. Z čehož vyplývá, že jeden každý vůz je samostatně schopen funkce. Toto řešení by umožnilo v případě potřeby jednotku prodloužit přidáním dalších vložených vozů při zachování funkce a trakčních parametrů.

### 3.3.2 Distribuované rozmístění výzbroje

Rozmístění, při kterém jsou jednotlivé součásti výzbroje rozmístěné po celé jednotce tak, aby byla co nejlépe rozložena hmotnost a splněna požadovaná funkce celku. Toto řešení se používá nejčastěji a je tak možné ve chvíli, kdy jeden z vozů nebude mít vlastní trakci, vložit do jeho výzbroje součásti potřebné pro chod ostatních vozů. Problémem zde je, že takovéto řešení znemožňuje dělení jednotky v provozu a používání částí jednotky odděleně.

### 3.4 Interiér vozidla

Obsahuje různé prvky navržené pro osobní přepravu, jako jsou madla, tyče, sedadla, svítidla, obklady, podlahové krytiny a kotevní prvky pro kočárky nebo invalidní vozíky. Materiály, ze kterých jsou tyto prvky vyrobené, musí být nehořlavé (stupeň hořlavosti A dle normy ČSN 73 0862) a dobře omyvatelné.

Norma ČSN 28 1310 navíc nařizuje při obkládání interiéru použití takových materiálů, které se mimo dobré omyvatelnosti a nehořlavosti, vyznačují odolností proti stárnutí. Dále nařizuje, aby povrchy obkladů nezpůsobovaly nežádoucí zrcadlení a reflexy. V dnešní době je také zohledněn akt vandalství na interiéru vozidla, proto použité materiály musí úmyslnému ničení co nejvíce odolávat.

#### 3.4.1 Sedadla

Sedadla jsou hlavním funkčním prvkem interiéru a jejich počet ovlivňuje přepravní komfort a kapacitu. Jejich počet a rozmístění je přímo závislý na způsobu provozu soupravy. Vzhledem k parametrům pražské tratě metra, kde je střední doba užití metra okolo 15 minut, je možné počítat s více stojícími cestujícími.

Rozdílem v konstrukci jednotlivých sedadel je způsob uchycení k tubusu skříně. V dnešní době se využívá dvou způsobů. Prvním způsobem je způsob uchycení sedadel na pomocný rám v podobě písmene "L", jehož jedno rameno je uchycené v bočnici a druhé je opřeno o podlahu. Druhým způsobem je v dnešní době používanější uchycení pomocí nosníku vetknutého do bočnice, tento způsob se v praxi nazývá "cantilever". Nedá se s jistotou určit, který z těchto způsobů je lepší, ale z hlediska hygienické údržby vozidla je výhodnější využívat uchycení "cantilever". Vzhledem k použití integrální konstrukce je volba tohoto uchycení na místě, jelikož bočnice v takovém případě již obsahují profil ve tvaru písmene "C", který umožňuje jednoduchou montáž přímo ke skříni vozidla.

Norma ČSN 28 1310 ukládá, aby sedáky sedadel měly minimální šířku 410 mm. Uspořádání sedadel ve vozidle musí umožnit bezproblémovou výměnu cestujících. Dále také musí tvar a použitý materiál zaručit cestujícím pohodlné cestování za takových podmínek, aby byla zaručena dostatečná ergonomie a hygiena.

#### 3.4.2 Prostor pro kočárky a invalidy

V městské hromadné dopravě je v dnešní době nutné počítat i s přepravou osob s omezenou pohyblivostí a jejich kompenzačními pomůckami. Pro tyto cestující je dobré mít vyhrazeny určité prostory v soupravě, které svými rozměry umožní těmto osobám snadnou manipulaci a bezpečné cestování.

Problémem dosti často bývá chaotické chování lidí v davu a neznalost přepravních podmínek. Takže invalidé nebo rodiče s kočárky využívají všechna možná místa v soupravách metra. Proto je vhodné co nejvíce otevřít přepravní prostory a dopředu počítat s faktem, že se invalida nebo kočárek budou přepravovat za stejných podmínek v celé soupravě.

### 3.4.3 Madla

V městské hromadné dopravě odpadá nutnost zajišťování cestujících k sedadlům, vzhledem k časté obměně cestujících by zde nebylo vhodné vybavovat tato bezpečnostními pásy. Vzhledem k častým rozjezdům a brzdění vozidel, mnohdy i s velkým zrychlením, je nutné zajistit stabilitu přepravovaných osob. K tomuto účelu slouží svislé i vodorovné tyče, kterých je povinen se cestující za jízdy držet tak, aby nezpůsobil zranění sobě ani ostatním cestujícím.

Madla v interiéru vozidla by měla být koncipována s ohledem na antropometrii dané lokality a měla by umožňovat různé možnosti úchopů. Podle normy ČSN 28 1310 by vodorovné tyče měly být umístěné minimálně ve výšce 1900 mm nad podlahou vozu, jejich povrchová úprava musí zaručit omyvatelnost a dlouhou životnost. Tato norma navíc poukazuje na nutnost vybavit nástupní místa tyčemi pro usnadnění nástupu a výstupu cestujících.

### 3.4.4 Větrání a zařízení pro udržení tepelné pohody

Je jedním z důležitých a velmi diskutovaných prvků moderních vozidel metra. V našich podnebných podmínkách, není potřeba vytápění ani klimatizace. Co je však jedním z důležitých prvků, je způsob výměny vzduchu ve vozidlech.

Jednou z možností větrání vozidla je použití samovolné výměny vzduchu při jízdě soupravy, která byla použita na vozidlech 81-71. Tento systém funguje za běžných podmínek velmi dobře, výjimkou jsou přejezdy po povrchu za nepříznivých povětrnostních podmínek, kdy se stávalo, že do souprav hojně zatékalo. Dále je tento systém nevyhovující v případě, kdy se souprava musí zastavit mezi stanicemi.

Z bezpečnostního hlediska je v dnešní době samozřejmostí, že se o výměnu vzduchu ve vozidle stará ventilační jednotka. Větrání ve vozidle musí být koncipováno tak, aby i v přeplněném stojícím vozidle cirkuloval čerstvý vzduch. Tento se musí dostat ke všem cestujícím bez ohledu na jejich pozici v přepravním prostoru. S tímto problémem se potýká souprava Siemens M1, kdy nevhodné umístění vstupu a výstupu ventilace zkracuje cestu vzduchu tak, že čerstvý vzduch vstoupí pod stropem a po chvíli v půlce vozu opět vystoupí z vozidla, aniž by se dostal k pasažérům obsazujícím nižší polohy vozu.

Norma ČSN 28 1310 zcela jasně určuje použití nuceného větrání s minimálně dvoustupňovou regulací závislou na okolní teplotě a počtu cestujících ve vozidle způsobem, který svou konstrukcí a provozem zaručí, že nedojde k ohrožení zdraví a života cestujících. Regulace teplot průtokovým vzduchem a jeho maximální hodnota je dána tabulkou.

Venkovní teplota	Prostor pro cestující	Kabina strojvedoucího
<0°C	8 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	10 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
0° ÷ 26°C	10 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	20 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
>26°C	25 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	50 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>

Tabulka 1: Tabulka výměny vzduchu pro vozidla metra [9]

Mimo jiné tato norma stanovuje hodnoty proudění vzduchu při nouzových režimech a nízkých teplotách s ohledem na víření prachu a na cestující.

### 3.4.5 Osvětlení

Vzhledem k faktu, že na velké procento populace působí cestování v uzavřeném prostoru v tunelu klaustrofobicky, je nutné dbát při návrhu jednotky na velmi dobré osvětlení interiéru. Norma ČSN 28 1310 proto udává použití rovnoměrného osvětlení interiéru v intenzitě 300 lx ve výšce 0,8 m nad úrovní podlahy a v místech, kde nedochází k pohybu cestujících, čímž se myslí místa sedadel, která mohou být osvětlena minimální intenzitou 250 lx. Pro ostatní případy stanovuje osvětlení norma ČSN 36 0450.

Při použití zářivek ve vozidle, je nutné dbát na jejich stejnou teplotu chromatičnosti tak, aby ve vozidle byla všude stejná, a to v rozsahu 2900 až 4300 K.

Osvětlovací soustava musí být zapojena tak, aby ve výjimečných případech mohla být přepnuta na nouzové osvětlení, pro které je určující osvětlení nástupních prostorů intenzitou minimálně 10 lx po dobu jedné hodiny.

### 3.5 Okna

Ve vozech pražského metra plní okna ve vozech spíše psychologickou funkci, vzhledem k faktu, že je 99% tratě vedeno pod povrchem. Jejich hlavní účel je v tom, že si cestující mohou ověřit stanici, ve které se nacházejí, i vizuálně.

Z konstrukčního hlediska je možno rozdělit okna na otevíratelná a neotevíratelná, a z hlediska montáže na okna v rámu nebo upevněná jiným vhodným způsobem. Dopravní podnik hlavního města Prahy se z důvodu údržby kloní spíše k oknům v rámech.

Norma ČSN 28 1310 nařizuje v případě použití otevíracích oken zamezení vyklánění cestujících, vystrkování končetin nebo vyhazování předmětů at' z jedoucí nebo stojící soupravy.

Vzhledem k jejich účelnosti a faktu, že velká okna značně oslabují konstrukci vozidlové skříně, je nutné volit vhodný kompromis.

### 3.6 Dveře

Nejdůležitější součástí z provozního hlediska jsou u vozidel hromadné dopravy dveře, které svou velikostí a počtem rozhodují o rychlosti výměny cestujících. Ta je důležitá z hlediska plnění grafikonu. Podobně jako okna jejich velikost a počet silně ovlivňují pevnost konstrukce.

Jejich funkce musí být pokud možno bezchybná a údržba co nejjednodušší tak, aby jednotka nemusela být stažena kvůli závadám dveří. Velmi velkou roli hraje také volba jejich konstrukce a způsobu otevírání.

Důležitým parametrem dveří je zavírací síla, která by neměla překročit 147 N, výjimečně u některých přepravních i 115 N. Tato síla nesmí být překročena ani při nájezdu na překážku, kdy dojde k deformaci skříně. Dveře musí být vybaveny systémem, který zabrání sevření cestujícího. Pokud dojde k sevření, musí systém umožnit trojnásobné opakované zavření. V zavřeném stavu musí být dveře zajištěny proti otevření, což neplatí v krizových situacích. Častým požadavkem zadavatelů bývá nezávislé otevírání dveří, nutností pak možnost ručního otevírání. Dveřní systémy se obvykle testují na jeden milión cyklů.

Na dveřní systém jsou podle normy ČSN 28 1310 kladeny velmi specifické požadavky. Co do počtu dveří ukládá norma u vozů delších než 18 m čtyři dvoukřídlé dveře na každé straně vozidla, v případě vozů kratších 18 m včetně je počet dveří snížen na tři. Minimální šířku dveřního prostoru ukládá 1300 mm. Mimo dveří určených pro výměnu cestujících musí být podle této normy vozidla vybavena dveřmi v čelech vozidla o minimálních rozměrech 600 mm šířky a 1700 mm světlé výšky pro potřeby průchodu jednotkou popřípadě evakuace. V evakuačních plánech se počítá spíše s bočními dveřmi. Minimálně dvoje dveře na každé straně vozidla na jeho obou koncích by měly být vybaveny nouzovým otevíráním.

### 3.6.1 Dělení dveří dle kinematiky

Z hlediska kinematiky je možné dveřní systémy rozdělovat na dveře výkyvné, posuvné a předsvuné. Dveře posuvné se dále dělí na posuvné kapsové a posuvné po bočnici.

Složitost kinematického pohybu dveří přímo ovlivňuje výslednou cenu technického celku, ale také jeho životnost. Také vhodné umístění dveří hraje roli, kupříkladu u dveří posuvných kapsových, je nutné řešit zatékání do prostoru kapes. Použití těchto kapes také omezuje velikost dveřních a okenních otvorů v bočnici. Dveře s výkyvnou kinematikou, mají velmi vhodný tvar z hlediska pohonu, ale jejich konstrukce značně omezí prostor pro cestující. Dveře předsvuné, které používá jednotka Siemens M1 mají složitou kinematiku a jsou většinou poháněny lineárními aktuátory. Tento systém je jedním z nejčastějších zdrojů závad, které vedou k odstavení celé soupravy pražského metra. Dveře posuvné po bočnici mají jednoduchou kinematiku, ale jejich nevýhodou je narušení hladkosti povrchu bočnice, což napomáhá usazování prachu. Také těsnost se u dveří posuvných po bočnici zaručuje hůře.

### 3.6.2 Dělení dveří dle použitého pohonu

Pro pohon dveřních systémů se v dnešní době používají výhradně dva zdroje. Více používaná elektrická energie nebo pneumaticky ovládané aktuátory.

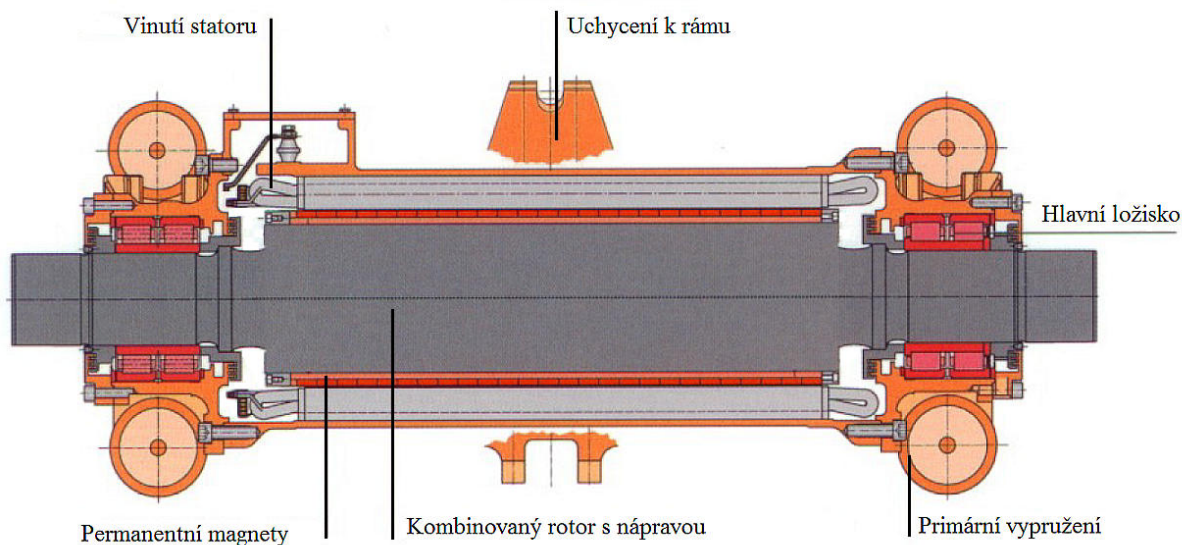
Při výběru vhodné varianty je nutné respektovat fakt, že cestující se ne vždy chovají podle předpisů a velmi často překonávají odpory zavírajících se dveří. Zde nastává při použití elektromotorů problém, protože dojde ke skokové změně, kdy se motor octne v generátorové fázi. Toto je pro Dopravní podnik hlavního města Prahy další z velmi častých závad.

### 3.7 Trakce a pohon

Jedním z hlavních úkolů při návrhu soupravy metra je nadefinovat trakci jednotlivých vozů soupravy. Při použití plné trakce všech vozů soupravy je možné snížit instalovaný výkon na nápravu a rovnoměrně rozdělit váhu trakčních členů. Také je možnost v případě poruchy, ve smyslu vynechání trakce na jednom z vozů, pokračovat v jízdě a bez problémů plnit grafikon. Při použití jednoho či více vozů netrakčních vlečených, je nutné ekvivalentně navýšit instalovaný výkon na nápravu. To nám umožňuje na netrakční vozy instalovat jiné zařízení a podstatně zlevnit konstrukci celé soupravy. Problém nastává v případě vynechání trakce na vozidle, jelikož ve většině případů se používá jedna řídicí elektronika trakce na celý jeden vůz. V takovém okamžiku by vynechání dalšího vozu mohlo způsobit nedostatek trakčního výkonu a tudíž znehybnit celou soupravu.

V kolejových vozidlech se doposud rozšířilo několik možných způsobů pohonu dvojkolí. Pohon tlakovým motorem, přímým motorem, závěskovým motorem a pohon pomocí duté hřídele umístěné okolo nápravy. Revolučním pohonem se v této době stává pohon synchronním motorem umístěným přímo na nápravě. Jeho princip je založen na konstrukci nápravnice. Ta také zastává funkci rotoru motoru. Jedním z hlavních představitelů výrobců motorů tohoto typu je Siemens se svým modelem Syntegra.

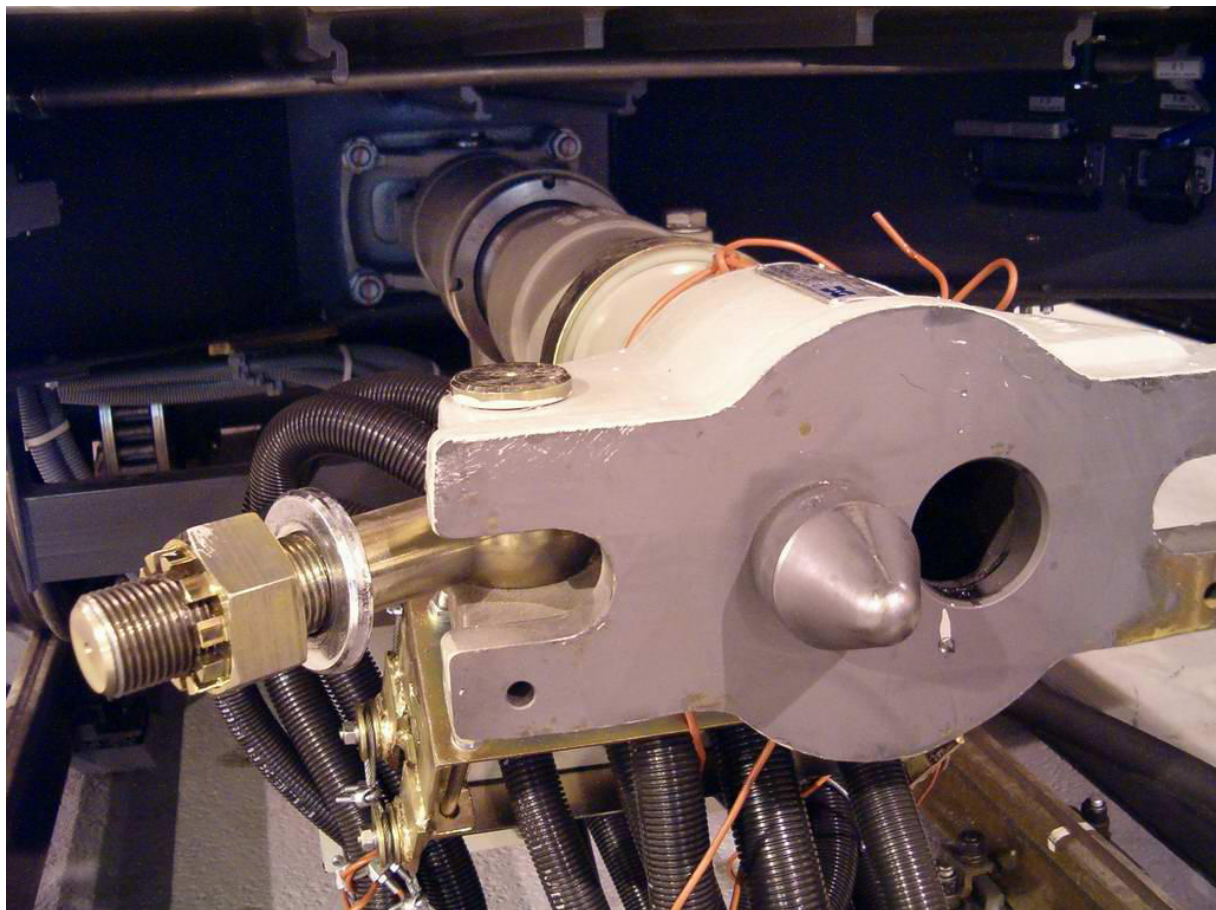
Výhoda synchronního motoru na nápravě je v zjednodušení přenosu energie odpadnutím převodovky a zmenšením zástavbových rozměrů. Což má za následek snížení váhy pohonu, která může být využita jinde. Konstrukce motoru synchronního rotoru nese rotorové plechy, na kterých jsou uchyceny permanentní magnety. Integrace u tohoto typu motoru tkví ve sjednocení ložisek motoru a nápravových ložisek. Každý z těchto motorů musí mít vlastní frekvenční měnič, což zvýší cenu výrobku. Odvod ztrátového tepla z motoru se provádí pomocí vodní smyčky ze statoru a vedením tepla přes nápravu u rotoru. Tento způsob chlazení předurčuje tento pohon pro použití v prašných tunelech metra. Vzduchem chlazené elektromotory totiž při chlazení mohou nasát i částičky prachu do rotoru, kde dojde k usazeninám, které způsobí dynamický nevyvážek. Tento jev byl zjištěn na konstrukci vozidel Siemens M1, kde způsoboval dodatečné rozkmitání rámu podvozku a následné defekty.



### 3.8 Spřáhla, tažné a nárazecí ústrojí

Tažné a nárazecí ústrojí má za úkol přenášet veškeré podélné mezivozové síly vznikající mezi skříněmi hnacích a hnaných vozů, které vznikají v pohonech a brzdách jednotlivých vozidel. Pro tahové síly slouží na kolejových vozidlech především táhlové ústrojí – spřáhla. K přenosu tlakových sil se u kolejových vozidel používá nárazecího ústrojí neboli nárazníků. To musí být schopno mezivozové podélné síly přenášet pružně a být schopno tlumit případné dynamické účinky. Jednotlivá ústrojí musí být schopna přenášet vznikající síly bez vlastního porušení. Styk vozidel by měl být umožněn bez nebezpečí vykolejení. A součásti by měly být demontovatelné a vyměnitelné.

Tažné a nárazecí zařízení je v případě vozidel metra zakomponováno do mechanismu spřáhla. Jednotky souprav pražského metra mají na svých čelech automatická spřáhla pro možné spojování více souprav, nebo pro případ odtažení nepohyblivé soupravy. Jednotlivé vozy soupravy jsou spojeny semipermanentními spřáhly.



Obrázek 8: Mezivozové semipermanentní spřáhlo jednotky Siemens M1 [5]



U automatických spřáhel čelních vozů i semipermanentních vložených vozů se s výhodou používají plynokapalinové tlumiče nárazů. Zvláště když je skříň vozidla tvořená jako hliníková integrální stavba. V případě nájezdu vozidla na pevnou překážku, je tlumící zařízení spřáhel schopno vyčerpát energii nárazu a zachránit tak vozidla a skříň vozů samotné. Pro vozidla pražského metra se využívá spřáhel firmy Dellner Coupler.



Obrázek 9: Hlavové automatické spřáhlo jednotky Siemens M1 [5]

Príslušná norma [9] udává pro tažné a narážecí ústrojí následující pravidla.

### 3.8.1 Všeobecné požadavky

Všechny vozy musí mít na obou koncích spřáhla a narážecí ústrojí schváleného typu podle technických podmínek vozu. [9]

Konce vlakové soupravy musí být vybaveny spřáhlem umožňujícím minimálně její mechanické spřažení s jinou vlakovou soupravou. Spřáhlo může také umožňovat propojení elektrických a pneumatických obvodů spřahovaných vlakových souprav. Pro spojení mezi vozy ve vlakové soupravě je možno použít spřáhla odlišná. [9]

Propojení elektrických a pneumatických obvodů je možno mezi vlakovými soupravami i mezi jednotlivými vozy vlakové soupravy provádět pomocí speciálních oddělených propojek. [9]

V případě použití elektrických svorkovnic spřáhel pro spojení trakčních obvodů dvou elektrických vozů se smí trakční napětí připojit na kontakty spřáhla až po bezpečném spojení spřáhla. Před rozepnutím spřáhla musí být trakční napětí z jeho kontaktů odpojeno. Na rozpojené kontakty spojeného spřáhla nesmí být umožněno připojit trakční napětí. Kontakty musí splňovat ochranu před nebezpečným dotykem osob, a to nejméně nahodilým dotykem dle ČNS 33 2000-4-41. [9]

### 3.8.2 Konstrukce a dimenzování spřáhel

Spřáhla vozů musí být dimenzována tak, aby bez deformací vydržela tažné a tlačné síly, které se mohou vyskytnout v provozu při sunutí nebo vlečení dalšího vozu nebo vlakové soupravy. [9]

Poloautomatické spřáhlo v čele vlakové soupravy musí být dimenzováno na tlačnou sílu minimálně 800kN a tažnou sílu minimálně 400kN. Výpočtová rychlost spřahování musí být minimálně  $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ . [9]

Upevnění spřáhel ve vozové skříni a jeho délka musí zajišťovat plynulé pojíždění vozů po trati metra včetně oblouků o nejmenším poloměru. [9]

Čelní spřáhla vlakové soupravy musí být vybavena zařízením zajišťujícím spřáhlo v předepsané poloze a umožňujícím spřažení dvou vlakových souprav v nepříznivých podmínkách, např. v oblouku o malém poloměru. [9]

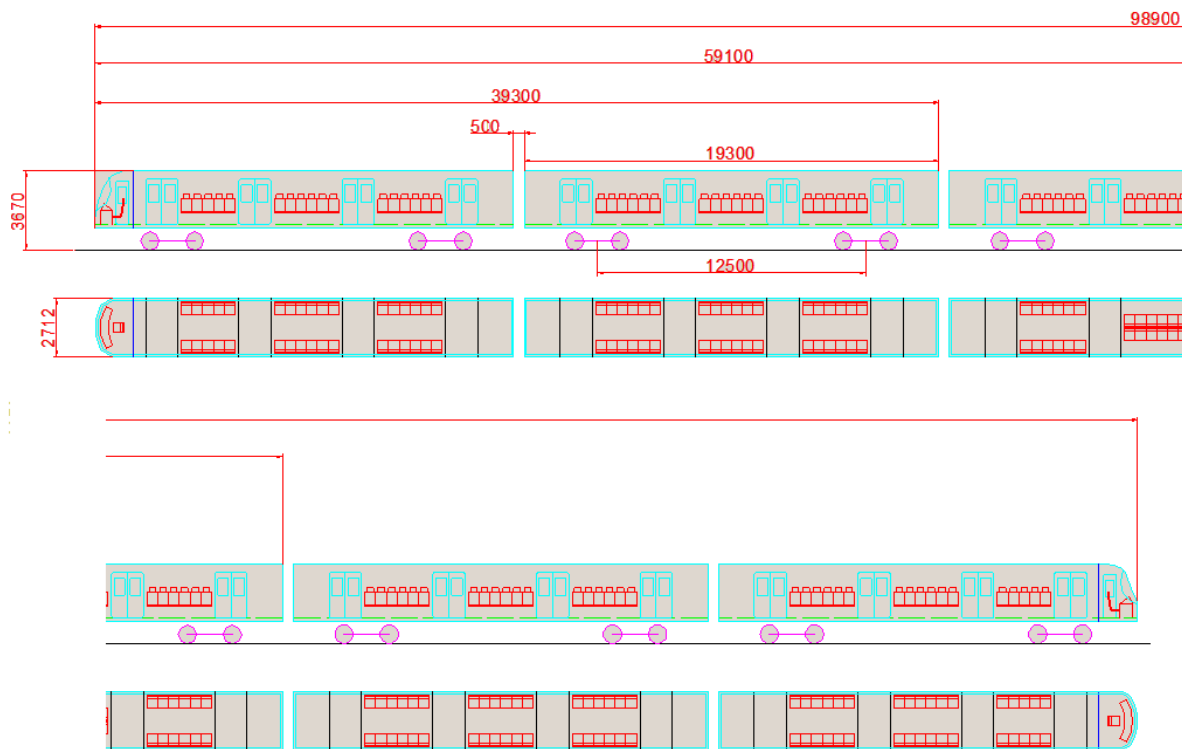
Spřáhla musí být zajištěna proti samovolnému rozpojení. [9]

Všechna spřáhla musí být vypružena a opatřena tlumiči. [9]

## 4. Výpočty pro návrh

### 4.1 Typový výkres jednotky

V tomto kroku jsou nastíněny základní rozměry, tvar a uspořádání jednotky, ze kterých se bude dále vycházet při návrhu a výpočtech.



Obrázek 10: Návrhový typový výkres soupravy

## 4.2 Výpočet kinematického zúžení

Poté, co získáme bližší rozměry vozidla z typového výkresu, můžeme přistoupit k výpočtu kinematického zúžení vozu. To nám zaručí, že se jednotka v provozu nestretne s vozidly na jiných kolejích, pevnými stavbami či zařízeními a návěstidly v blízkosti koleje.

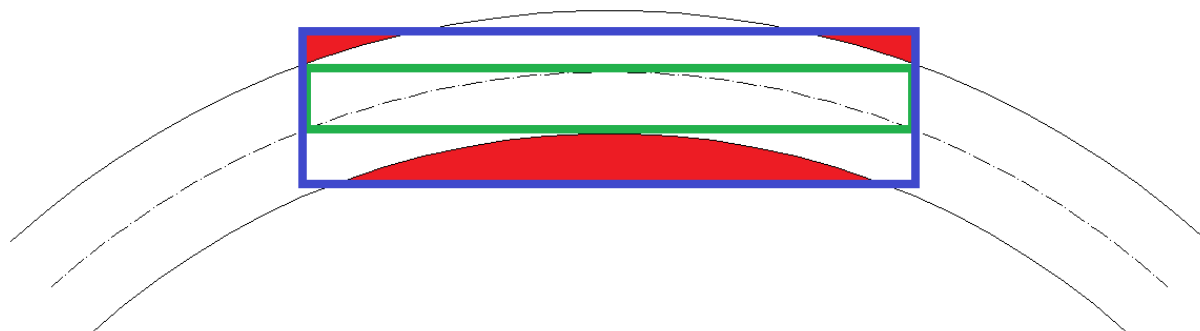
Při vyšetřování šířkových a výškových příčných rozměrů vycházíme z normy dané pro typ kolejového vozidla a zemi, v níž se vozidlo provozuje. Norma rozlišuje tři základní obrysy, které se při stavbě kolejových vozidel a dopravních cest dodržují a tím znemožní vzájemnou kolizi.

Průjezdni průřez je obrys pro stavby, návěstidla a ostatní zařízení, který ohraničuje prostor, do kterého nesmí zasahovat žádná stavba.

Vztažná linie obrysu pro vozidla je obrys, který leží uvnitř průjezdního průřezu. Vymezuje nám obalovou křivku průřezu vozidla tak, aby mezi ní a průjezdním průřezem zůstal volný bezpečný prostor. Žádná z částí vozidla, nesmí vztažnou linii obrysu přesáhnout.

Obrys pro vozidlo udává maximální možnou obalovou křivku pro dané vozidlo. Získává se výpočtem a odečítá se od vztažné linie obrysu pro vozidla.

Prostor mezi vztažnou linií obrysu a obrysu pro vozidlo se nazývá jednostranným zúžením vozidla. Získává se výpočtem, který zahrnuje hlavní konstrukční rozměry vozidla.



Obrázek 11: Znázornění přesahů skříně při jízdě obloukem

Jednostranné zúžení vozidla oproti vztažné linii obrysu je nutné počítat pro dva mezní průřezy, vnitřní průřez nacházející se v polovině vzdálenosti otočných čepů a vnější průřez na krajích vozidla. Jak je patrné z postavení vozidla, při průjezdu obloukem dochází k vychýlení krajních částí vozu a obvykle středu vozidla, mimo bezpečný průřez. To je způsobené kinematikou podvozkových vozidel.

### 4.2.1 Pól naklápění

Jde o pomyslný bod, okolo kterého se skříň vozu naklápí v závislosti na působících vnějších silách. Toto naklápění je zapříčiněno vypružením skříně. Jde o kontroverzní parametr, jelikož je potřeba znát ho relativně přesně ještě před zhotovením celého vozidla, a jeho zjištění se provádí až na hotovém vozidle měřeními. Tuto hodnotu pólu naklápění jsem uvažoval 900 mm nad temenem kolejnice vzhledem k nemožnosti zjištění nebo změření na již hotovém vozidle, byla tato hodnota odvozena z jiných výpočtů.

#### 4.2.2 Vlastní výpočet kinematického zúžení

Jako první musíme vypočítat kinematické zúžení ze vzorce

$$z = \frac{S_z}{30} \cdot |h - h_c|$$

Jde o zjednodušený vzorec pro případ vozidla běžné konstrukce.

#### 4.2.3 Vlastní výpočet vnitřního zúžení

Při výpočtu vnitřního zúžení je potřeba nejdříve zjistit platnost podmínky

$$an - n^2 + \frac{p^2}{4} - 500 \cdot (w_\infty - w_{i(250)}) \leq 7,5$$

Pokud je platná tato podmínka použije se vzorec pro výpočet vnitřního zúžení ve tvaru

$$E_i = \frac{1,465 - d}{2} + q + w_\infty + z - 0,015$$

Při neplatnosti podmínky, což v mém případě nastává, použijí vzorec ve tvaru

$$E_i = \frac{an - n^2 + \frac{p^2}{4}}{500} + \frac{1,465 - d}{2} + q + w_{i(250)} + [x_i]_{>0} - 0,030$$

$$x_i = \frac{1}{750} \left( an - n^2 + \frac{p^2}{4} - 100 \right) + w_{i(150)} - w_{i(250)}$$

#### 4.2.4 Vlastní výpočet vnějšího zúžení

Jako v případě vnitřního zúžení i při výpočtu vnějšího zúžení je potřeba nejdříve zjistit platnost podobné podmínky

$$an + n^2 - \frac{p^2}{4} - 500 \cdot \left[ (w_\infty - w_{i(250)}) \frac{n}{a} + (w_\infty - w_{a(250)}) \frac{n+a}{a} \right] \leq 7,5$$

Pokud je platná tato podmínka použije se vzorec pro výpočet vnějšího zúžení ve tvaru

$$E_a = \left( \frac{1,465 - d}{2} + q + w_\infty \right) \frac{2n+a}{a} + z - 0,015$$

Při neplatnosti podmínky, což v mém případě nastává, použijí vzorec ve tvaru

$$E_a = \frac{an + n^2 - \frac{p^2}{4}}{500} - \frac{1,465 - d}{2} \cdot \frac{2n+a}{a} + w_{i(250)} \frac{n}{a} + w_{a(250)} \frac{n+a}{a} + z + [x_a]_{>0} - 0,030$$

$$x_a = \frac{1}{750} \left( an - n^2 + \frac{p^2}{4} - 120 \right) + (w_{i(150)} - w_{i(250)}) \frac{n}{a} + (w_{a(150)} - w_{a(250)}) \frac{n+a}{a}$$

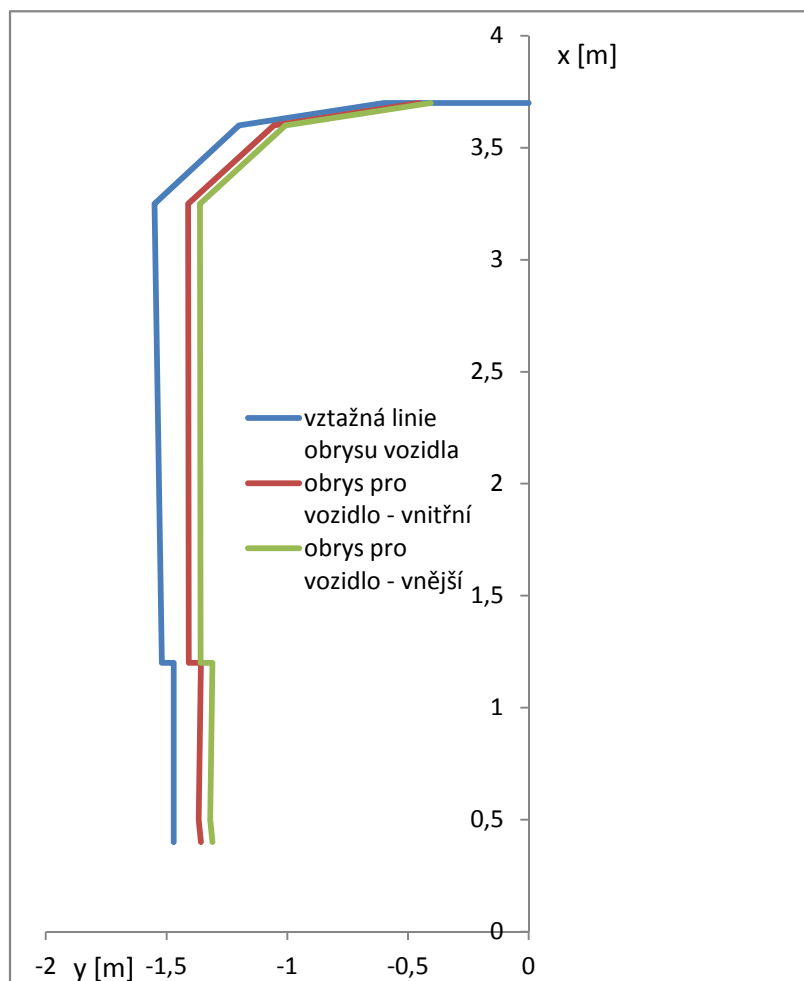
#### 4.2.5 Tvar obalové křivky obrysu pro vozidlo

Pro výpočet a vykreslení obrysu pro vozidlo jsem využil tabulkového procesoru. Tento soubor je součástí přílohy na CD. Výsledky jsou shrnuty do tabulky.

h	z	xi	Ei	xa	Ea
0,4	0,009333	-0,08478	0,112163	-0,12111	0,160558
0,9	0	-0,08478	0,10283	-0,12111	0,151225
1,2	0,009333	-0,08478	0,112163	-0,12111	0,160558
3,25	0,036667	-0,08478	0,139497	-0,12111	0,187892
3,6	0,041333	-0,08478	0,144163	-0,12111	0,192558
3,7	0,042667	-0,08478	0,145497	-0,12111	0,193892

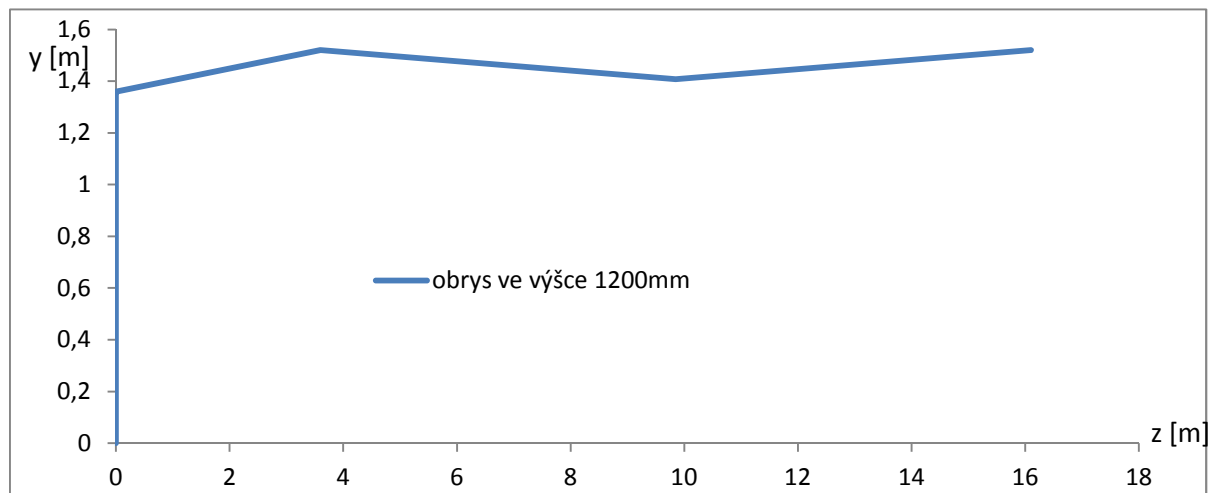
Tabulka 2: Hodnoty zúžení pro vozidlo

Díky získaným hodnotám je možné vykreslit křivku jednotlivých obrysů a porovnat se vztažným obrysem pro vozidlo.



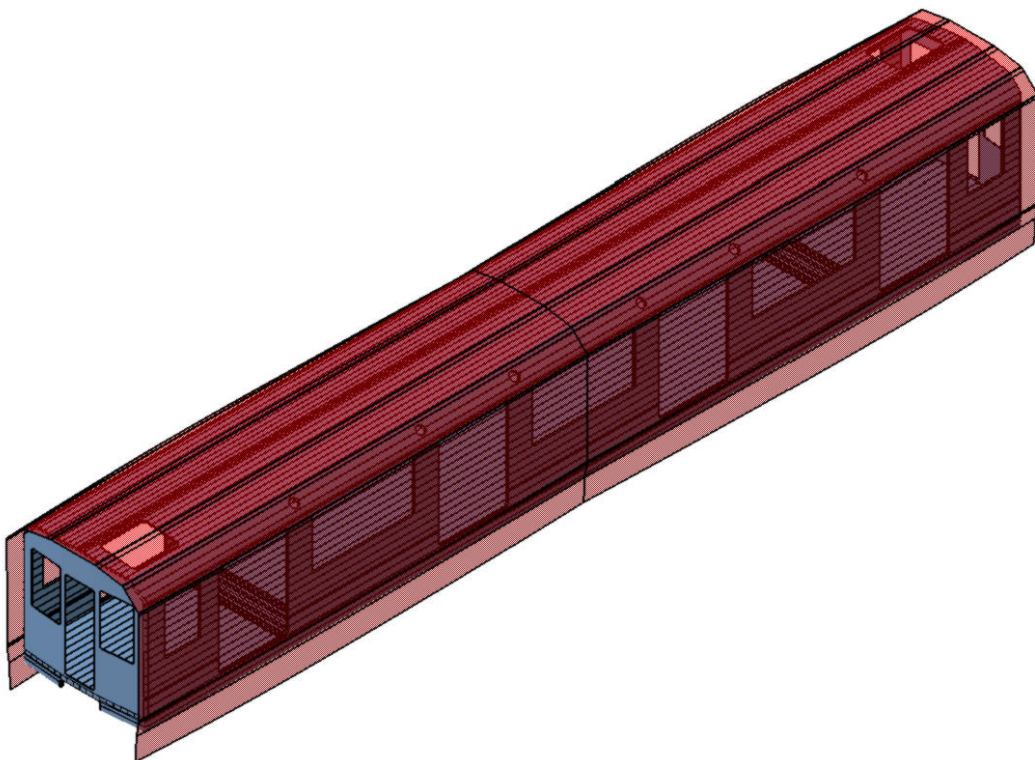
Obrázek 12: Graf kinematických zúžení

V dalším grafu je vidět řez obrysem pro vozidlo ve výšce 1200 mm nad temenem kolejnice.



Obrázek 13: Graf kinematické zúžení - půdorysný pohled pro výšku 1200 mm

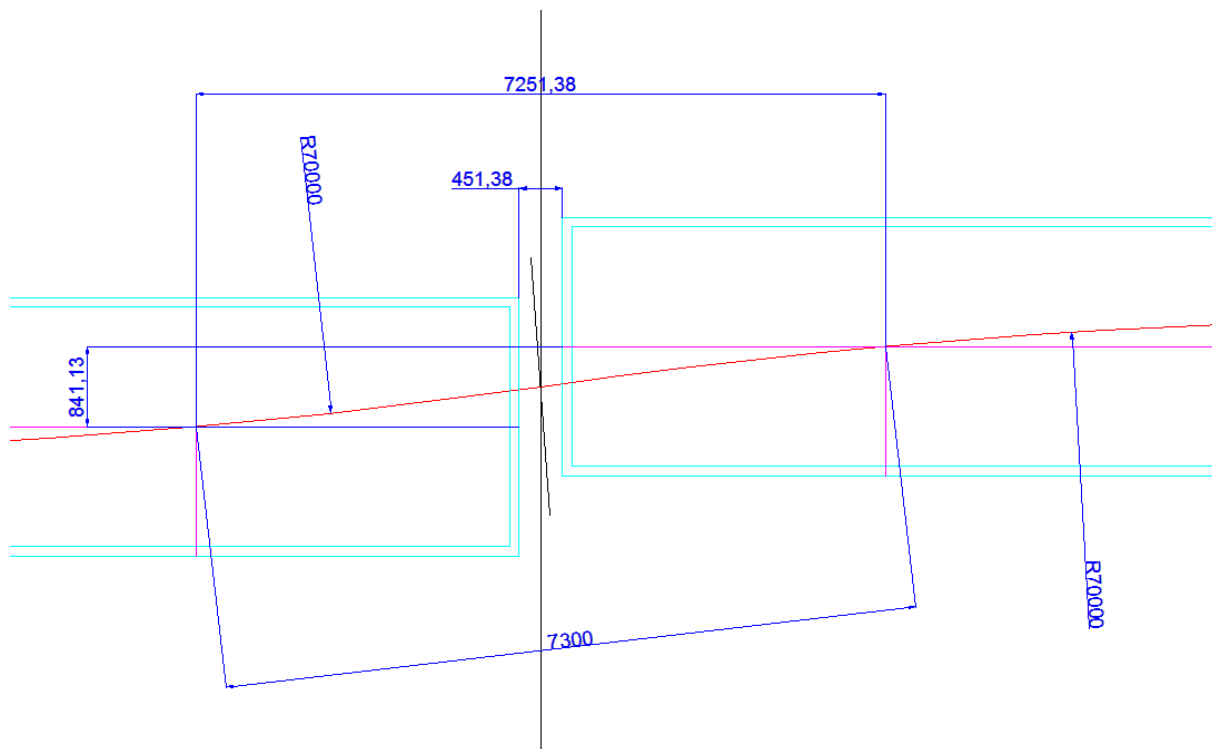
Z vypočtených hodnot bylo možné sestavit plochu obrysu a ozkoušet ji přímo na modelu skříňe.



Obrázek 14: Model skříňe vozu se znázorněným kinematickým zúžením ve 3D

### 4.3 Vyšetření průjezdu S - obloukem

Toto vyšetření posloužilo ke geometrickému ověření chování navržené soupravy, přesněji sousedních vozů při průjezdu dvěma navazujícími oblouky, které mají opačný směr otáčení. Pro modelovou situaci byl vybrán oblouk o poloměru  $R = 70$  m, nacházející se v pražském depu Kačerov.



Obrázek 15: Ověření průjezdu S – obloukem

Z obrázku je patrné překrytí podélných os sousedních vozů o velikosti 841 mm. Je patrné, že v případě koncepce plně průchozí jednotky s přechodovými měchy, by docházelo k jejich namáhání na střiž při zachování současných proporcí.

Pro použití přechodových měchů by se musela mezera mezi vozy zvětšit podle zástupců dopravního podniku na 1500 mm. Tento zásah do konstrukce by způsobil zmenšení jednotlivých vozů. Vzhledem k omezení celkové délky soupravy na 100 m by evidentně došlo k úbytku prostoru pro cestující. Tento výpočet tak podporuje ostatní argumenty proti použití plně průchozí soupravy.



## 4.4 Výpočet trakce

Pro soupravu metra je dobré stanovit také minimální potřebný instalovaný výkon na nápravu pro danou trať. Z počátečních návrhů soupravy a parametrů tratě je možné získat potřebné hodnoty pro výpočet. Při výpočtu vycházím ze zjednodušené základní pohybové rovnice, vyjadřující silovou rovnováhu při jízdě. Výsledkem je síla potřebná k překonání jízdních odporů. Z této síly se určí potřebný výkon.

### 4.4.1 Určení potřebného výkonu jednotky

*Známé nebo předpokládané hodnoty:*

hmotnost prázdné soupravy:	$m_{prazdne} = 135 \text{ t}$
celkový počet cestujících:	$n_{cest} = 1450$
hmotnost jedné osoby:	$m_{osoby} = 70 \text{ kg}$
maximální stoupání:	$s_{\alpha} = 40 \text{ ‰}$
ekvivalentní odpor tunelu:	$o_{tunelu} = 2 \text{ N/kN}$
uvažované zrychlení:	$a = 1,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$
uvažovaná rychlost:	$v = 30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
počet hnacích náprav:	$n_m = 20$
součinitel rotačních hmot:	$\rho_d = 0,15$

*Vypočtené hodnoty:*

Hmotnost cestujících:

$$m_{cest} = m_{osoby} \cdot n_{cest} = 70 \cdot 1450 = 101\,500 \text{ kg}$$

Celková hmotnost obsazené soupravy:

$$M_v = M_{cest} + M_{prazdne} = 135 + 101,5 = 236,5 \text{ t}$$

Odpor setrvačných sil:

$$O_a = m_v \cdot (1 + \rho_d) \cdot a = 236500 \cdot (1 + 0,15) \cdot 1,1 = 299172,5 \text{ N}$$

Měrný vozidlový odpor:

$$o_v = 1,35 + 0,0008 \cdot v + 0,00033 \cdot v^2 = 1,35 + 0,0008 \cdot 30 + 0,00033 \cdot 30^2 = 1,671 \text{ N/kN}$$

Odpor z jízdy vozidla:

$$O_v = o_v \cdot (M_v \cdot g) = 1,671 \cdot (236,5 \cdot 9,81) = 3876,9 \text{ N}$$

Redukovaný sklon trati:

$$s_r = s + o_{tunelu} = 40 + 2 = 42$$

Odpor trati:

$$O_T = s_r \cdot (M_v \cdot g) = 42 \cdot (236,5 \cdot 9,81) = 97442,73 \text{ N}$$

Výsledný silový součet odporů:

$$F_s = O_v + O_T + O_a = 3876,9 + 97442,73 + 299172,5 = 400492,13 \text{ N}$$

Celkový potřebný instalovaný výkon:

$$P_C = F_S \cdot v = 400492,13 \cdot \frac{30}{3,6} = 3337434,417 \text{ W} = 3337,5 \text{ kW}$$

Výkon jednoho motoru umístěném na nápravě:

$$P_m = \frac{P_C}{n_m} = \frac{3337,5}{20} = 166,9 \text{ kW}$$

Z těchto výpočtů vyplývá maximální potřebný výkon soupravy, případně motoru pro extrémní situaci, kdy se plně naložená souprava rozjíždí s maximálním zrychlením do nejvyššího stoupání do rychlosti 30 km.h<sup>-1</sup>. Vzhledem k možnosti krátkodobého přetížení elektromotorů a jejich součástí, je možné počítat s nižším instalovaným výkonem. Výkon jednoho elektromotoru tak může činit 150 kW.

#### 4.4.2 Ověření maximální možné přenášené síly

K ověření předchozího výpočtu je nutné zkontrolovat, zda je souprava schopna přenosu sil adhezí mezi kolem a kolejnicí. Norma pro nová metra dovoluje nápravové tlaky 15 t na jednu nápravu. Navržená jednotka by podle předpokladů měla dosahovat tlaku 11,825 t na nápravu. K výpočtu síly použiji výpočet pro výpočet adhezní síly.

Zadané hodnoty:

Adhezní součinitel  $\mu=0,4$

Adhezní síla:

$$T = G \cdot \mu = \frac{m_v \cdot g \cdot \mu}{n_m} = \frac{236500 \cdot 9,81 \cdot 0,4}{20} = 46401,3 \text{ N}$$

Sílu potřebnou k překonání celkových jízdních odporů získám ze silového součtu odporů. Tato síla musí být nižší než vypočtená adhezní síla, kterou je schopno dvojkolí přenést.

Síla k překonání odporů působící od jedné nápravy:

$$F = \frac{F_S}{n_m} = \frac{400492,13}{20} = 20024,6 \text{ N}$$

Při zjišťování, zda bude schopna jednotka překonat maximální výkon z hlediska trakce, musí platit následující nerovnost.

$$T \geq F$$

Dosazení do vzorce:

$$46401,3 \geq 20024,6$$

Z výše uvedeného vztahu zjišťujeme, že nápravy budou schopné bezpečně přenášet výkon potřebný k překonání jízdních odporů.

## 5. Specifikace požadavků

### 5.1. List požadavků

V tomto momentu se stanovují vlastnosti požadované od technického systému, kterým je myšlena souprava metra.

Požadavky k vnějším vlastnostem TS vztažené k transform. procesům životních etap TS			
a) Požadavky k hlavním i asistujícím funkcím	Požadovaná hodn.	Podm.	Přání
Přepravní kapacita	Proměnná	X	
Počet cestujících sedících	200-225	X	
Počet cestujících stojících	1200-1300	X	
Počet článků soupravy	5-6	X	
Prostor pro přepravu	Handicapovaných	X	
	kočárků	X	
	jízdních kol	X	
b) Požadavky na ostatní provozní vlastnosti			
Větrání	Automat + regulace		X
Průchodnost pro cestující	Plně průchozí		X
Průchodnost pro posádku	Plně průchozí	X	
Sedadla orientována	ve směru jízdy		X
	Kolmo na směr jízdy		X
Audiovizuální informační systém		X	
Náklady na provoz	Minimální		X
Kontrolní prohlídka	Nenáročná		X
Střední oprava	Nenáročná		X
Interval velkých oprav	1000000 km		X
c) Požadavky k vlastnostem pro plánování			
Konkurence vzhledem k ostatním produktům na trhu	Maximální		X
Plánovaná inovace	Střední		X
d) Požadavky k vlastnostem pro konst., tech. a org. přípr. výroby a výrobu			
Kvalita výroby	Maximální	X	
Konstrukční jednoduchost	Vysoká	X	
Výrobní a montážní náklady	Nízké	X	
Využití normalizovaných součástek	Maximální		X
Využití automatizované výroby	Velké		X
Využití subdodavatelů	Velké	X	
Náročnost na výrobu	Nízká		X
e) Požadavky k vlastnostem pro distribuci			
Skladování	Minimální		X
Doprava	Podvalník		X
f) Požadavky k vlastnostem pro likvidaci			
Recyklovatelnost	Jednoduchá		X
Demontovatelnost	Jednoduchá		X

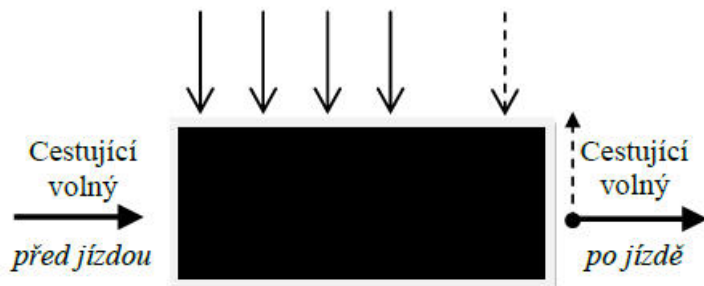
Požadavky k vnějším vlast. TS vztažené k operátorům transf. systému v životních etapách TS			
a) Požadavky k vlastnostem k člověku	Požadovaná hodnota	Podm.	Přání
Bezpečnost cestujících	Vysoká	X	
Pohodlí a komfort	Vysoké	X	
Hluk vozidla	Nízký		X
Vibrace vozidla	Žádné		X
Přizpůsobení ergonomii člověka	Maximální	X	
Tepelná pohoda	Střední		X
Materiály interiéru	Odolné	X	
Prostor pro invalidy, kola a kočárky	5% užité plochy	X	
Design	Příjemný	X	
b) Požadavky k vlastnostem k materiálovému a energetickému okolí			
Nehořlavé materiály		X	
Netoxické materiály		X	
Barevná stálost		X	
Snadná údržba		X	
Odolnost proti opotřebení	Vysoká	X	
c) Požadavky k vlastnostem informačnímu okolí			
Využití zabezpečovacích zařízení	Nutné	X	
Palubní diagnostika	Nutná	X	
Porušování patentových a licenčních práv	Žádné	X	
d) Požadavky k vlastnostem k ostatním TS			
Opotřebení kolejnic	Minimální		X
Jízdní odpory	Minimální		X
Náročnost na technické prostředky v životních etapách	Minimální		X
e) Požadavky k vlastnostem k informacím			
Výrobní a montážní dokumentace		X	
Návod k obsluze		X	
Návod na údržbu a opravy		X	
f) Požadavky k vlastnostem k časovému řízení			
Čas na vývoj a výrobu	12-36 měsíců		X
Čas na homologaci a uvedení do provozu	6-12 měsíců		X
g) Požadavky k vlastnostem k ekonom. řízení (managementu) procesů			
Cena konkurenčního výrobku	Vyšší		X
Náklady na práci a provoz	Minimální		X

Požadavky k vnitřním vlastnostem TS			
a) Požadavky ke konstrukčním znakům	Požadovaná hodnota	Podm.	Přání
Funkční princip	S obsluhou	X	
Druh ovládání a pohonu	elektromechanicky	X	
Odolnost vůči dynamickému zatížení	Vysoká	X	
b) Požadavky k elementárním konstrukčním vlastnostem			
Ovládací prvky	Subdodavatelé	X	
Materiál	Subdodavatelé	X	
Standardní spojovací díly	Normalizované		X
Podvozky	Subdodavatelé	X	
Pneumatické součástky	Subdodavatelé	X	
Elektrické součástky	Subdodavatelé	X	
c) Požadavky k obecným konstrukčním vlastnostem			
Odolnost proti poškození	Vysoká		X
Konstrukce	Pevná		X
Manipulace	Snadná		X

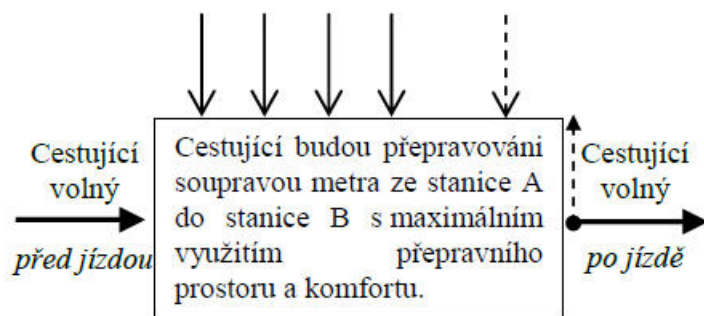
Tabulka 3: List požadavků

## 5.2 Návrh pracovního transformačního procesu

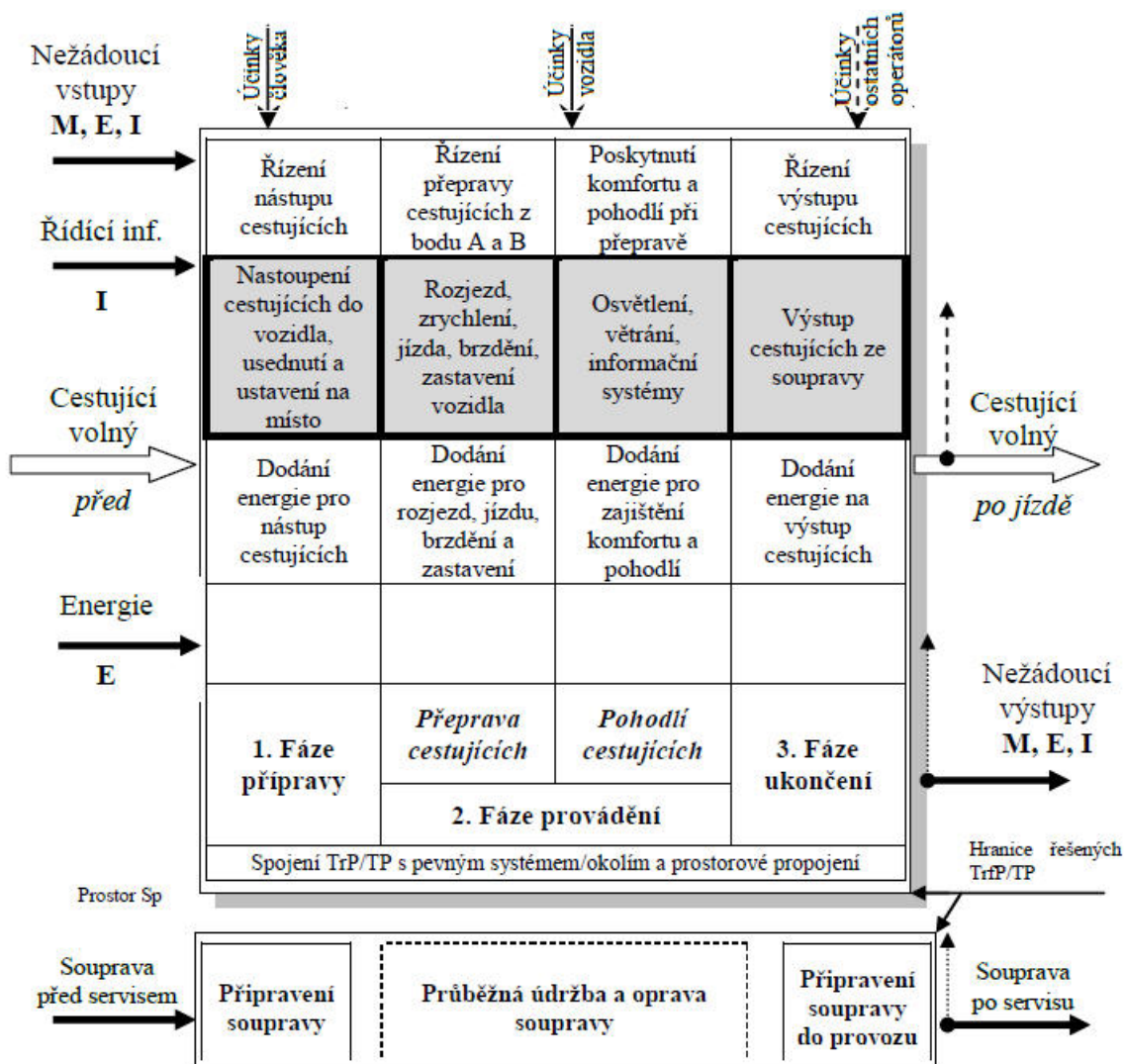
K vytvoření postupu pro tvorbu soupravy metra slouží návrh transformačního procesu. Zahrnuje vlastnosti, které působí na soupravu metra během provozu a vstupy do transformačního procesu.



Obrázek 16: Black box



Obrázek 17: Návrh transformačního procesu

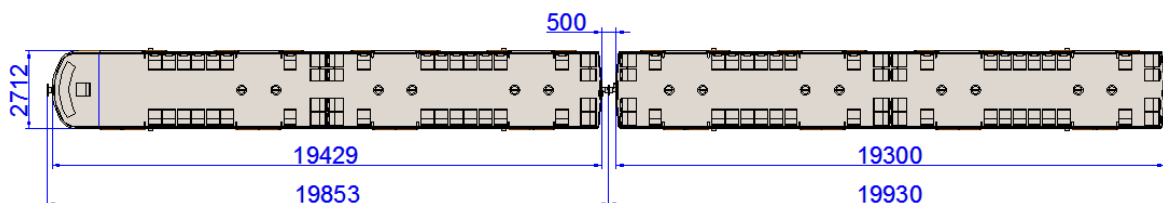


Obrázek 18: Úplný návrh provozního transformačního procesu

## 5.3 Návrh jednotlivých variant

### 5.3.1 Varianta číslo 1

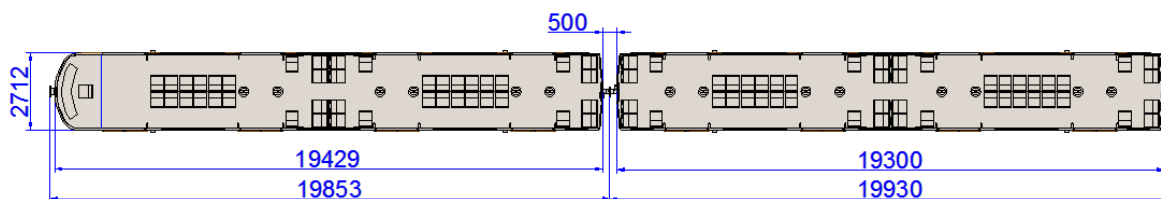
První varianta představuje tradiční již uskupení soupravy, která je průchozí pouze pro obsluhu. Průchozí pro cestující jsou pouze jednotlivé vozy soupravy, a to jednou středovou uličkou. Sedadla jsou umístěná po bočnicích tak, že opticky dělí každý vůz na dva prostory.



Obrázek 19: Varianta číslo 1

### 5.3.2 Varianta číslo 2

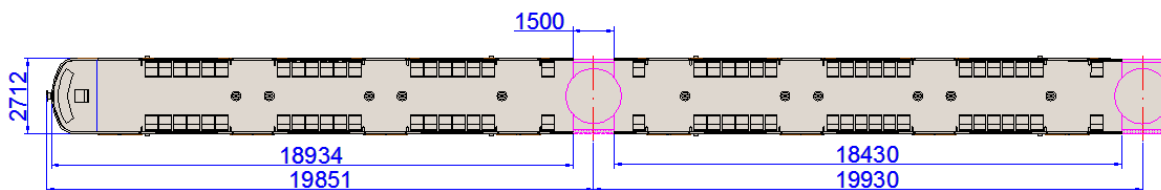
Druhá varianta je také průchozí pouze pro obsluhu. Použité rozdělení sedadel také rozděluje vůz na dva prostory, ale každý z prostorů má dvě uličky. Sedadla v prostorech jsou umístěná proti oknům, což dává možnost cestujícím pozorovat venkovní prostory. Toto řešení bych spíše doporučoval u nadzemních tras, jelikož v tunelech není mimo kabeláže a ostění vidět nic. Tato varianta by mohla počítat s možností jednoho vozu jen s hnanými podvozků.



Obrázek 20: Varianta číslo 2

### 5.3.3 Varianta číslo 3

Třetí varianta odpovídá plně průchozí jednotce, s orientací sedadel s ohledem na plnou průchodnost soupravy. Toto řešení nedává moc na výběr cestujícím, kteří preferují jinou orientaci sedadel. Dle kótování je vidět, že čelní vůz je o 750 mm menší na úkor přechodového měchu. Vložené vozy jsou pak o 1500 mm menší ze stejného důvodu. Vzhledem k tomu, že při jízdě není nejpříjemnější stát v přechodovém měchu, je v této variantě ubráno místo pro stojící pasažéry. Z důvodů průchodnosti prostoru je nutné prostory pro invalidní vozíky, kočárky a kola přesunout jen na krajní mezidveřní prostory za kabinu strojvedoucího.



Obrázek 21: Varianta číslo 3

### 5.3.4 Hodnocení

Z těchto variant teď musím vybrat jednu, která bude dále řešena detailněji. Pro celkové hodnocení jsou stanoveny požadavky, které co nejlépe charakterizují požadované vlastnosti soupravy metra. Jednotlivé varianty splňují tyto kritéria jinak, a proto je vhodným řešením bodově ohodnotit míru splnění kritéria. Součtem a porovnáním jednotlivých hodnocení získáme nejlepší vhodnou variantu s největším bodovým hodnocením.

Požadavky na soupravu metra	Varianta			
	1	2	3	max
Počet sedadel	3	3	1	3
Velikost prostoru pro cestující	3	3	2	3
Počet prostorů pro invalidní vozíky a kočárky	3	3	1	3
Průchodnost soupravy	1	1	3	3
Průchodnost prostoru	2	1	3	3
Variabilita prostoru	2	2	1	3
Pracnost oprav	3	3	1	3
Náročnost úklidu	3	2	1	3
Celková cena	3	2	1	3
Odolnost vůči šíření ohně	3	3	1	3
Jednoduchost konstrukce	3	2	1	3
Pohyblivost v případě poruchy jednoho z pohonů	3	1	3	3
Součet bodů	32	26	19	36
Hodnocení	0,89	0,72	0,53	1

Tabulka 4: Hodnocení

Z tabulky je patrné, která z variant je nejbližší ideální situaci. Ideální situaci ukazuje poslední sloupec. Nejlepší varianta má pak nejvyšší součet bodů a hodnocení je nejbližší k 1.

Jako nejlepší tedy vychází varianta číslo 1. Varianta neprůchozí jednotky se sedadly ukotvených po bočnicích s vozy, rozdělenými středními sedačkami orientovanými ve směru jízdy, na dva prostory. Hlavní devizou této varianty je přepravní kapacita stojících, sedících a invalidních cestujících. Navíc řešení vnitřního prostoru oplývá jednoduchostí a celkové náklady na soupravu budou nižší. Proto je tato varianta v této práci dále řešena.

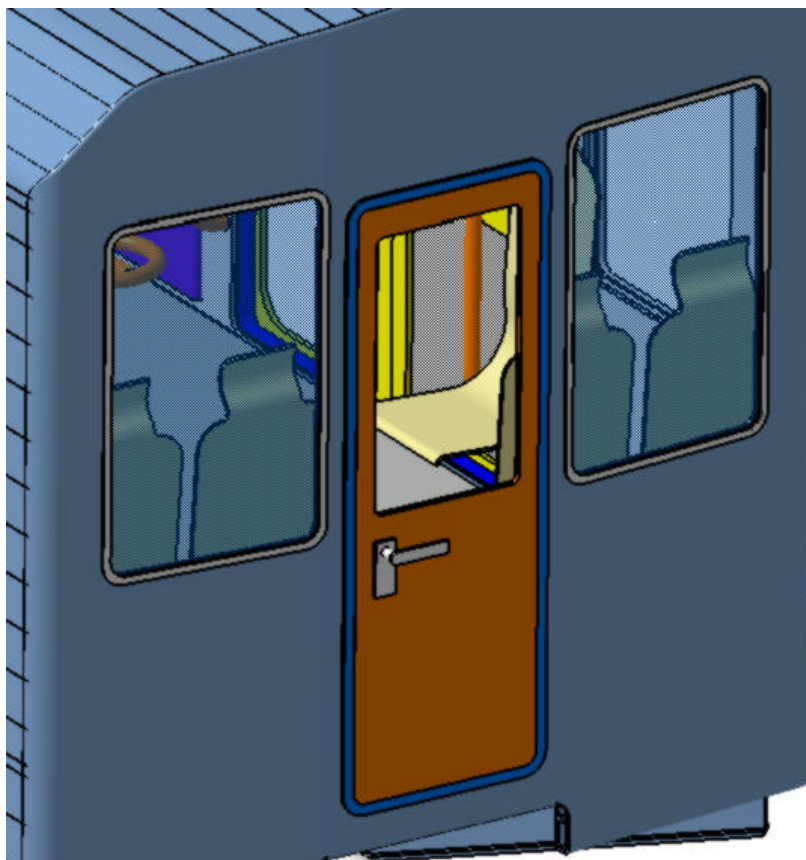


## 6. Vlastní návrh soupravy

Můj návrh bude řešen jako pětivozová souprava metra, která nebude za běžného provozu dělitelná. Skříňe vozů jsou navrženy jako hliníkové integrální konstrukce. Neseny budou podvozky s primárním vypružením vinutými pružinami a sekundárními vzduchovými měchy.

### 6.1 Průchodnost soupravy

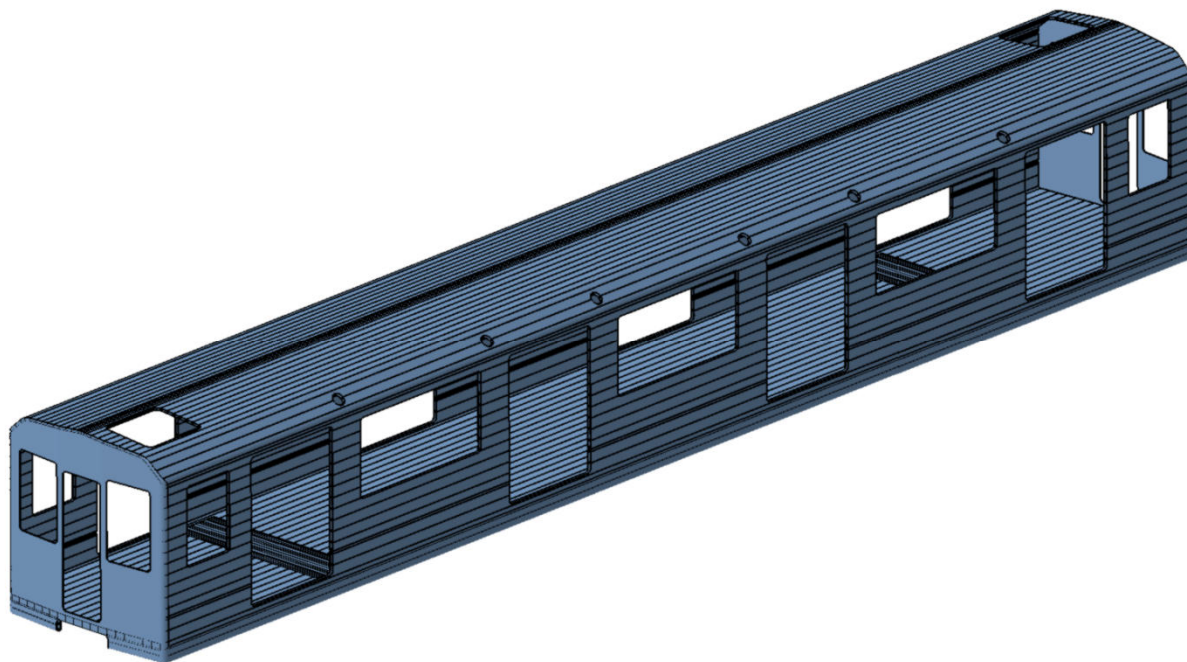
Při porovnání výhod a nevýhod plně průchozí soupravy s přechodovými měchy je výsledné provedení řešeno jako neprůchozí souprava. Výjimkou je průchodnost pro posádku, údržbu a v případě nouze. Tu zajišťují za běžného provozu zamčené dveře.



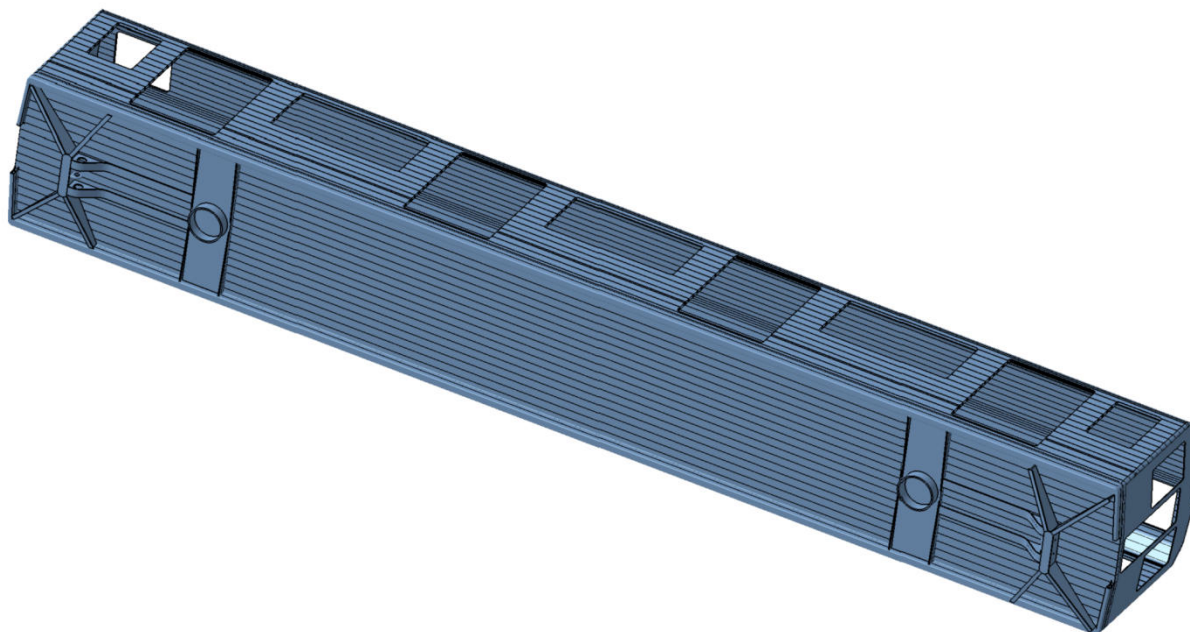
Obrázek 22: Dveře pro průchod obsluhy

## 6.2 Skříň vozu

Skříň vozu je navržena jako hliníková integrální stavba. U vozidel metra se však velmi obtížně dosahuje plně integrální skříně. Problémem je bočnice, která má příliš mnoho otvorů, které jsou způsobeny okny a počtem dveří. Takto perforovaná bočnice je oslabena a celá skříň ztrácí tuhost. Vzhledem ke způsobu, kterým se otvory do bočnice vyrábí, vzniká také velké množství odpadu. Přesto je možné přivážit do konstrukce výztuhy v závislosti na výsledném průběhu napětí.

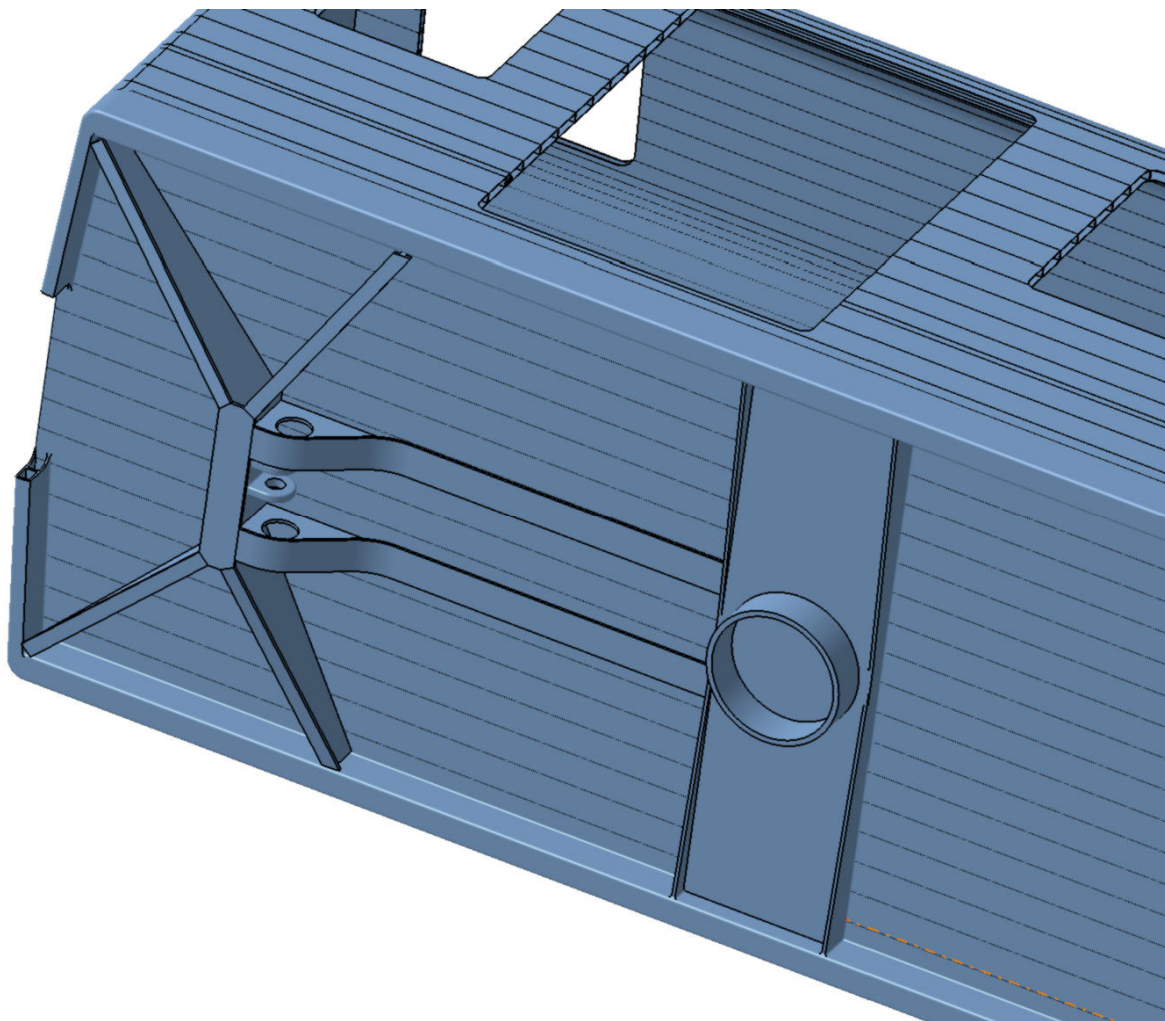


Obrázek 23: Isometrický pohled na skříň vozu



Obrázek 24: Pohled na spodek skříně vozu

Jedním z dovažovaných dílů je hlavní příčnick, pro který se nejdříve v podlaze vyfrézuje kapsa, do které bude následně přivařen. Vedlejší příčnick, který ponese spřáhlo a bude přenášet také podélné síly mezi podvozkem a skříňí vozu, bude spolu s pomocnými podélníky přivařen na spodek podlahy skříně. Tento menší diferenciální konstrukční zásah je pro jinak integrální skříň nutným zásahem, který však umožní přenos náležitých trakčních sil.

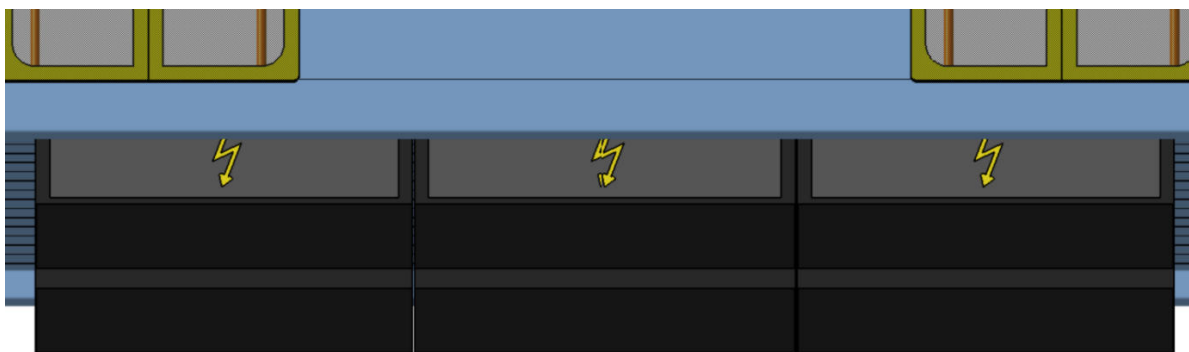


Obrázek 25: Detail hlavního a vedlejšího příčnicku

### 6.3 Elektrická výzbroj

Vzhledem k nízkému bodu tání materiálu použitému na stavbu vozidlové skříně jsem umístil veškerou elektrickou výzbroj na spodek skříně mezi podvozky do ocelových kontejnerů. Vzhledem k místu provozu se dá předpokládat, že se do míst s vysokým napětím dostane prach z tunelů, který následně vzplane. Toto řešení zabrání poničení integrální hliníkové skříně.

Svazky kabelů a pneumatického vedení by mohly být jako modul montovány u externího výrobce a následně instalovány jako celek na spodek skříně.



Obrázek 26: Pohled na rozmístění skříní na elektroinstalaci

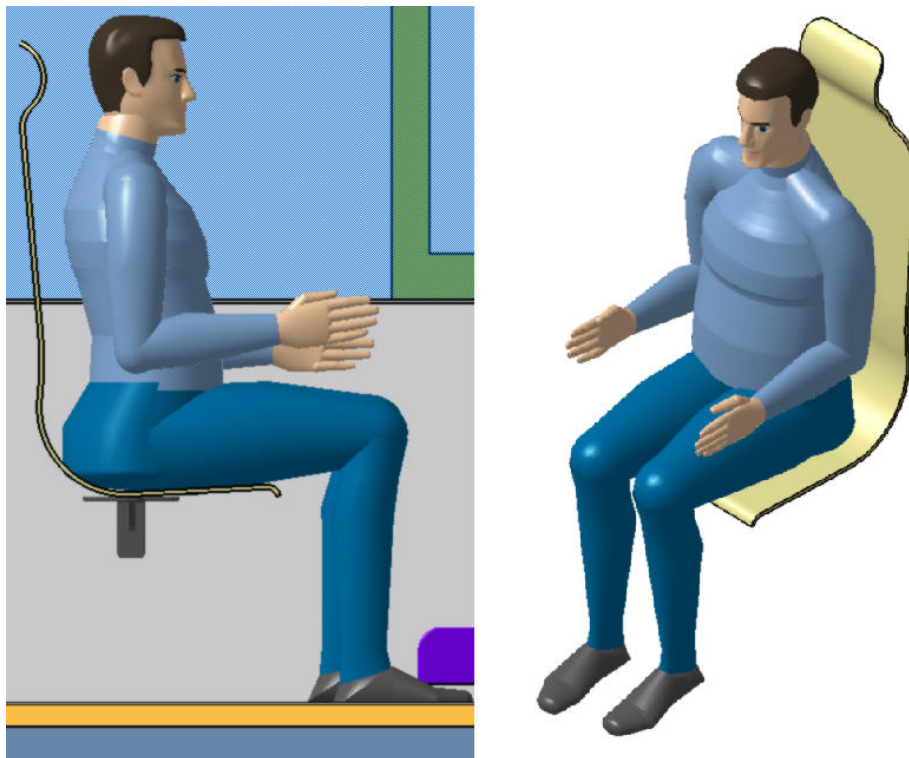
## 6.4 Interiér vozu

Při návrhu celkového uspořádání interiéru jsem kladl důraz na otevřenost prostoru a možnost co nejlepšího čištění.

### 6.4.1 Sedadla

Původně bylo pro materiál sedadel zamýšleno využít sendvičově vrstveného lepeného dřeva. Tento materiál pro sedadla je v současné době nejvíce uvažován pro všechna sedadla používaná Dopravním podnikem hlavního města Prahy. V případě návrhu této jednotky metra byl tento materiál zástupci dopravního podniku kritizován vzhledem k hořlavosti, i přes možnost využití speciálních úprav znemožňující hoření materiálu. Koncepce byla tedy změněna na skořepinovou konstrukci využívající požárně odolných plastů.

Tvar a rozměry sedadla byly navrženy s využitím manekýna, který svými antropometrickými rozměry simuloval většinu tuzemského obyvatelstva. Navržená sedadla jsou lehká a jejich zástavba je poměrně skladná, což při demontáži, skladování a přepravě umožní skladování pomocí stohování. Také nižší váha umožní jednodušší montáž.

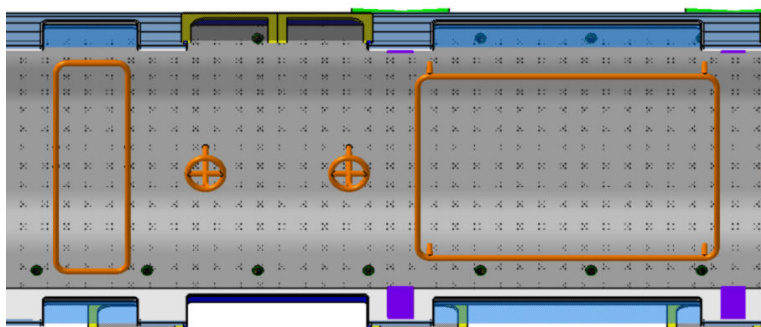


Obrázek 27: Návrh a testování sedadla za použití manekýna

## 6.4.2 Madla

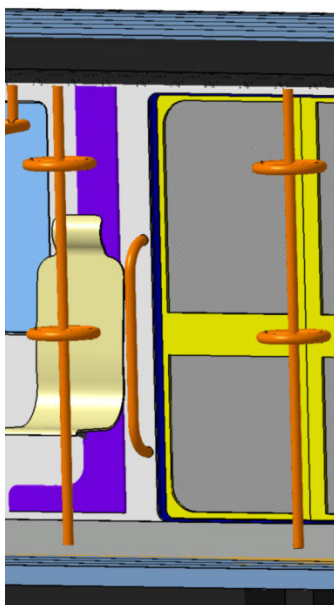
Vzhledem k tomu, že jde o prvek pasivní bezpečnosti pro stojící cestující, je nutné, aby co nejvíce pokryla interiér vozidla. Také je ale důležité, aby neohrožovala cestující nevhodným tvarem, například ostrými hranami. Z hlediska umístění ve vozidle je možné rozdělit použité tyčové madla na tři typy.

Podstropní horizontální madla dle normy umožňují úchop podhmatem ve výšce 1900 mm nad úrovní podlahy. Takto splňují výšku danou normou ČSN 28 1310. V případě přání zákazníka je možné osadit tyto tyče závěsnými madly, které by pokryly i nižší úrovně. Jsou umístěná v prostoru nad sedadly tak, aby se jich mohli zachytit ze sedadel vstávající cestující.



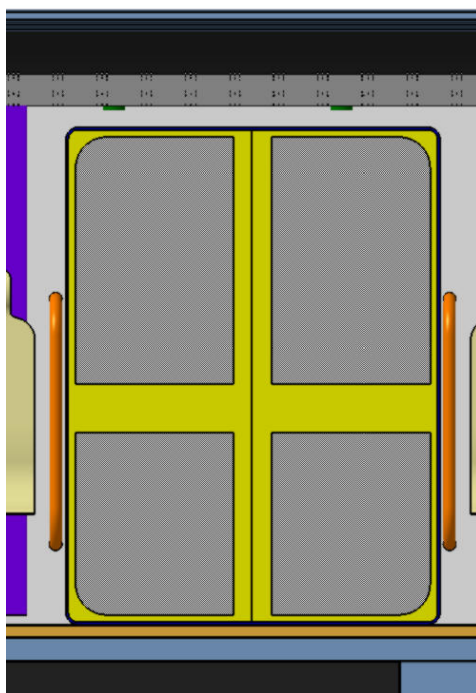
Obrázek 28: Podstropní soustava tyčí

Vertikální madla jsou umístěná v podélné ose vozidla v místě nástupního prostoru dveří. Jsou umístěná po dvou na každém nástupním prostoru mezi dveřmi, osová vzdálenost je 1200 mm. Mezi tímto tyčovým předpokládám mimo stojících pasažérů vymezený prostor pro osoby se sníženou pohyblivostí na invalidních vozících, nebo kočárků. Na tato madla by bylo možné namontovat zajišťovací zařízení pro kočárky i invalidní vozíky. Okolo vertikální tyče jsou soustředně umístěné tyče anuloidového tvaru ve dvou úrovních. Jedno madlo je umístěno v úrovni 1000 mm a druhé většího průměru ve výši 1900 mm nad úrovní podlahy. Toto rozmístění umožňuje jak chytání nadhmatem tak podhmatem, nebo úchop dětí. Také dává jistou variabilitu pro úchop různě vysokých osob.



Obrázek 29: Vertikální tyče

Dveřní madla umístěná na stranách dveřní zárubně umožňují cestujícím při nástupu a výstupu bezpečnější pohyb a také umožňují úchop cestujícím, kteří stojí u dveří. Jejich další využití tkví v oddělovací funkci, kdy chrání sedícího cestujícího tak, aby nebyl zasažen ostatními cestujícími, kteří opouští nebo nastupují do vozidla. V případě přání a potřeby mohou být opatřena tvrzeným sklem, které by plnilo funkci přepážky ve větším rozsahu než samotné madlo. V tomto návrhu se tomuto řešení vyhýbám, jelikož na vozidle Siemens M1 vidím v řešení bezpečnostní riziko pro malé děti, které mohou mezi sklo a tyč strčit ruku a v případě vystupování davu z vozidla by mohly být davem strženy. To by způsobilo poranění ruky dítěte.



Obrázek 30: Madla pro nástup a výstup v místě dveří

### 6.4.3 Prostor pro kočárky, invalidní vozíky a kola

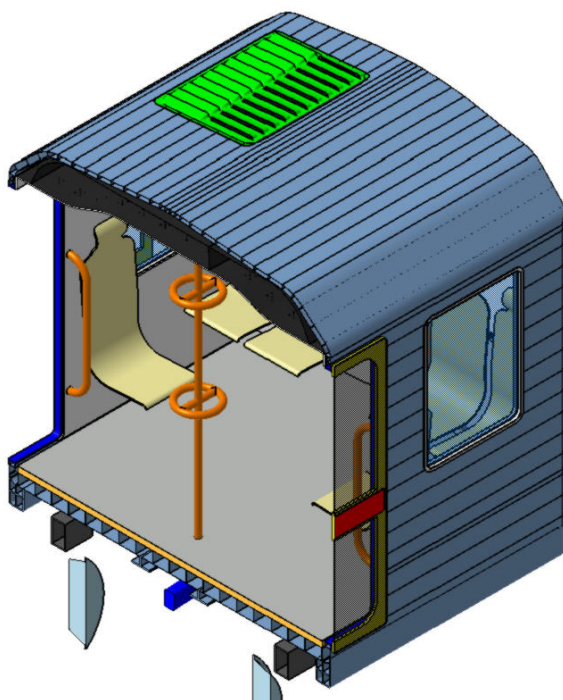
Vzhledem k tomu, že je pražské metro koncipováno jako bezbariérové, musí i soupravy umožnit bezbariérovou přepravu. Jak již bylo výše zmíněno s kočárky a invalidními vozíky se počítá ve všech vozech v prostorech mezi tyčemi v ose vozidla. Toto umístění počítá vždy s jedním kočárkem nebo invalidním vozíkem na nástupní prostor, což ve výsledku dává počet 4 míst na vagon. V soupravě by tak mělo být možno přepravit 20 kočárků nebo invalidních vozíků. Toto rozvržení by zvýšilo kapacitu na přepravu těchto pomůcek oproti stávající kapacitě, navíc dává možnost využití celé délky soupravy, což současný přepravní řád neumožňuje. Tyto kompenzační pomůcky by neměly ani omezovat výměnu cestujících ve stanicích.

Přepravování cyklistických kol však způsobuje problém, jelikož je problematické jejich umístění a zajištění proti pohybu. Co do rozměrů kol je nutné podotknout, že jsou velice neskladná, nabízí se možnost jejich přepravy na výšku. Tuto možnost však není možno z bezpečnostního hlediska při manipulaci připustit. Pro kola je tedy nutné vyhradit místa na koncích soupravy, za kabinou strojvedoucího. V těchto místech je možné zajistit alespoň částečné zabezpečení proti jejich samovolnému pohybu pomocí zapření o stěnu.



#### 6.4.4 Větrání a ventilace

Jde o hlavní systém, který zajišťuje pohodlí cestujících. Kompletní výpadek větracího systému soupravy nesmí v provozu nastat, jelikož je to jediný zdroj čerstvého vzduchu za jízdy. V případě delšího stání soupravy v tunelu se potřeba výměny vzduchu umocňuje. Z těchto důvodů je každé z vozidel soupravy opatřeno párem nezávislých ventilačních jednotek umístěných diagonálně na každé straně jednotky. I klínové dělení větrací šachty je uspořádáno tak, aby každá z jednotek provětrávala v celé délce vozidla. Díky postupnému zužování každé ze dvou šachet směrem od vstupního místa je zajištěno rovnoměrného prostupu vzduchu do prostor pro cestující. Materiálem větracího tubusu je vyztužené plátno, které vyniká nízkou vahou a možností přizpůsobení se tvaru zástavbovému prostoru.

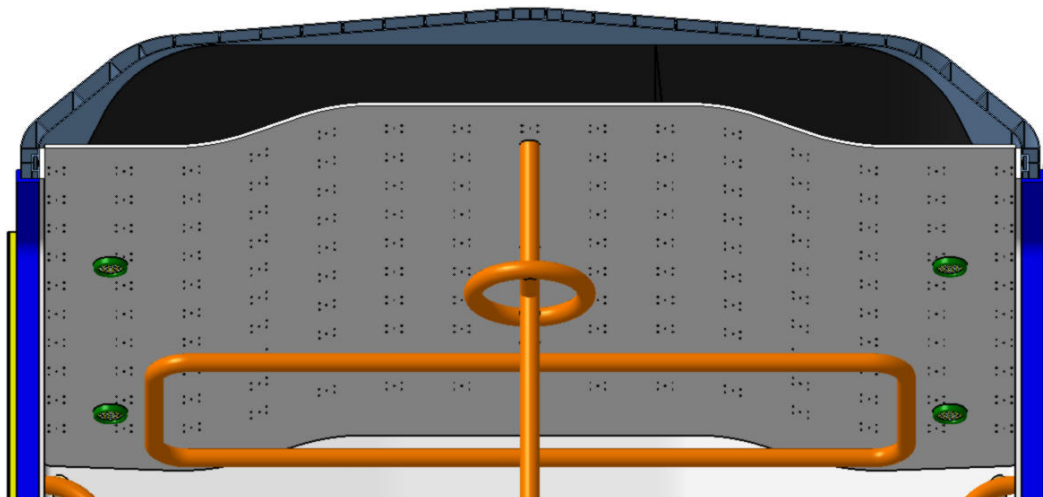


Obrázek 31: Ukázka umístění ventilační jednotky



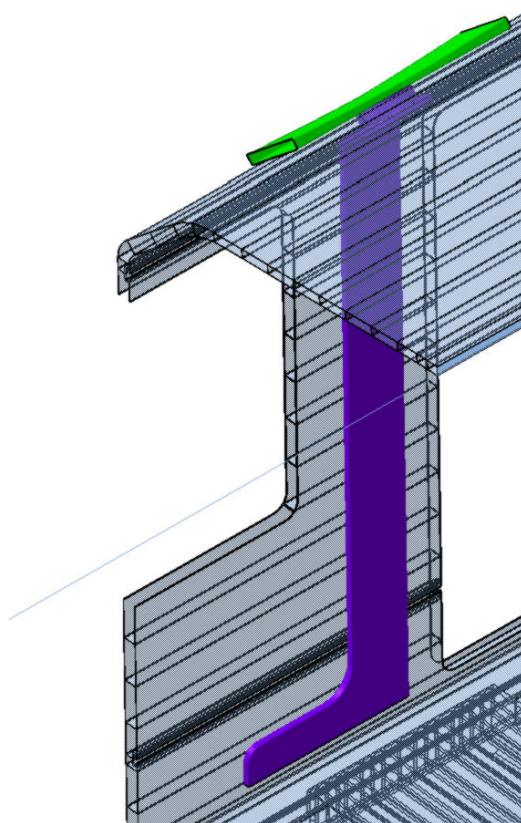
Obrázek 32: Rozdělení komor tubusu

Čerstvý vzduch vstupuje do prostoru pro cestující přes perforovaný strop. Spolu s tvarem tubusu je tak zajištěno rovnoměrné provětrání s takovou rychlostí, aby nedocházelo k víření prachu a nepříjemnému proudění vzduchu.



Obrázek 33: Pohled na stropní ventilaci

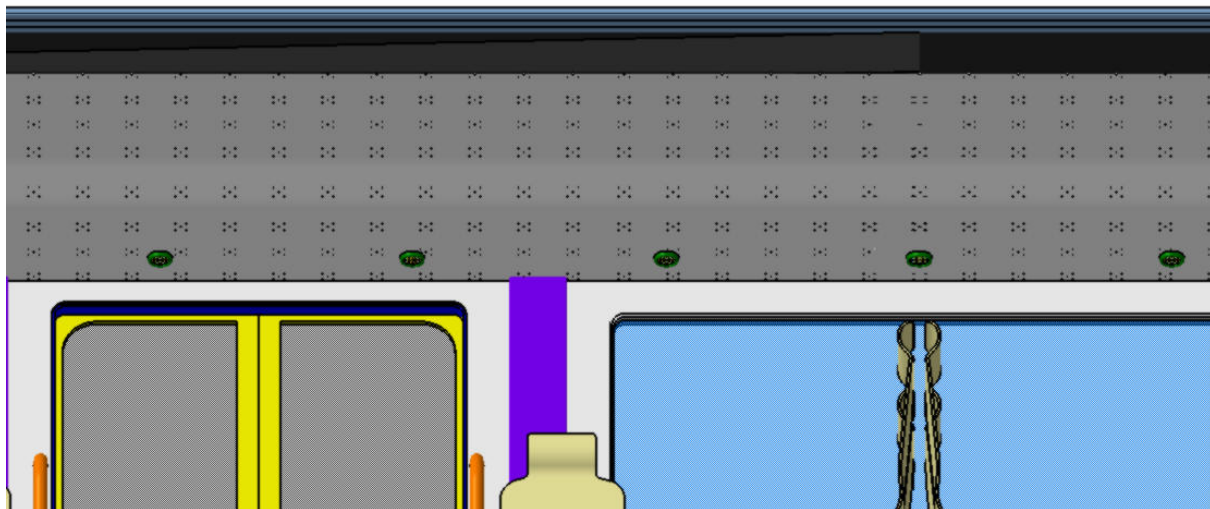
Odvětrání soupravy musí být navrženo tak, aby co nejméně kladlo odpor a zabraňovalo vzniku protitlaku ve voze, které by ubíralo účinnost ventilačních jednotek. Tunel je tvarem připodobněn komínu s nasáváním v místě podlahy, takto bude zajištěno provětrání celého prostoru pro cestující. Ústí komínu je umístěno ve střeše vozu a zakončeno difuzorem, který bude při jízdě napomáhat odvodu vzduchu z vozu. Toto umístění mělo být původně na bočnici vozu, ale vzhledem k mytí vozidla a nepořádným cestujícím ve stanici, kteří by toto ústí mohli využít k odkládání odpadků, bylo zvoleno vyústění nad střechu vozu. Vzhledem k vnikání prachu, vody a sněhu při provozu jednotky je vhodné konstrukčně vyzbrojit vtoky a výtoky vzduchu přepážkami.



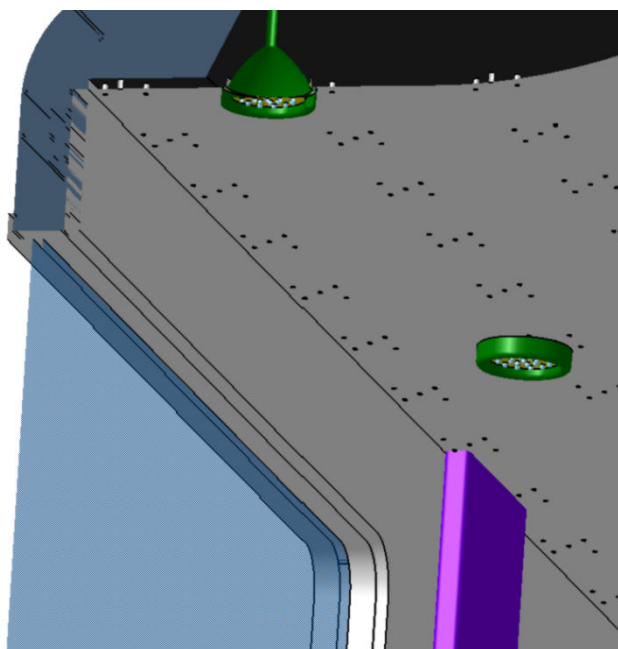
Obrázek 34: Odvětrávání prostoru pro cestující

### 6.4.5 Osvětlení

Osvětlení prostoru pro cestující jsou realizována pomocí bodově umístěných LED svítidel s dostatečnou intenzitou a teplotou barvy. Svítidla jsou umístěná po stranách vozidla blíže k bočnicím tak, aby osvětlením pokryla co největší prostor ve vozidle. Kabelové svazky, které mimo jiné napájejí i osvětlení, povedou tubusem vzduchotechniky. Tento tubus by měl být za provozu bezprašný. Díky tomuto řešení mohou být kabely a instalované elektrické zařízení úspěšně chlazeny.



Obrázek 35: Rozmístění svítidel v interiéru



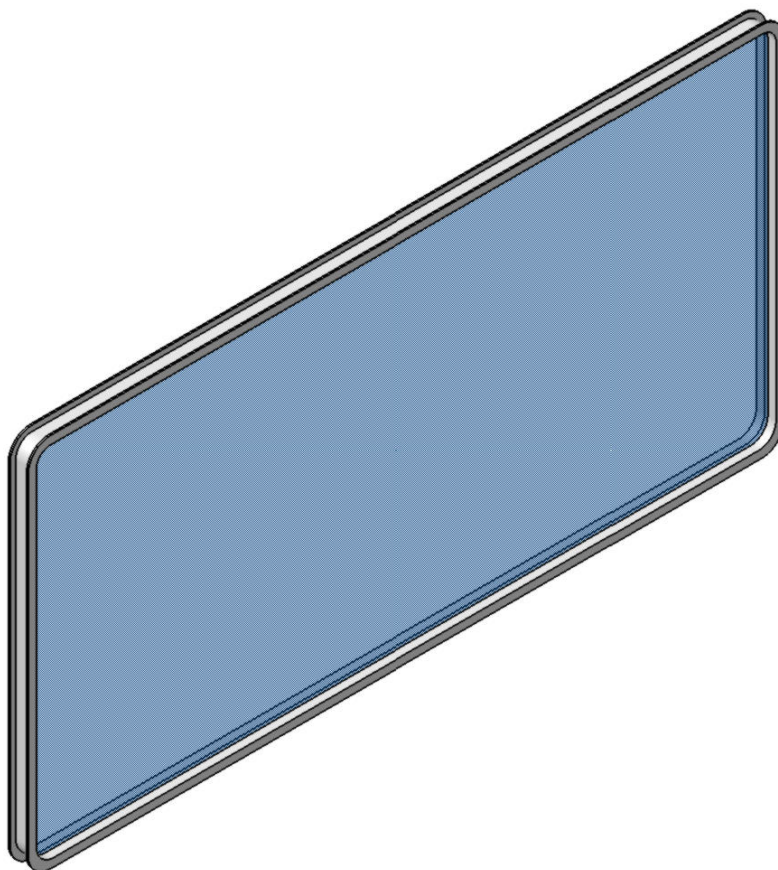
Obrázek 36: Detailní pohled na svítidla

#### 6.4.6 Okna

Při návrhu soupravy metra jsem se vyhnul dnes již modernímu lepení skleněných tabulí přímo na skříň vozidla pomocí tmelu. Lepení tabulí totiž zanáší do výměny skel problematiku s manipulací a přesnou montáží, ve formě potřeby více člověkohodin a speciálních přípravků na montáž. Tento návrh proto počítá s okny v rámu s gumovým těsněním, podobným jako je na soupravách 81-71M. Takto provedené jako montážní celek se dá jednoduše montovat do skříně pomocí běžných spojovacích součástí.

Vzhledem k tomu, že se souprava bude pohybovat sítí pražského metra, která je skoro celá pod povrchem, nemusí být rozměr oken nastaven tak, aby využívaly přírodního světla k osvětlení interiéru vozidla. Proto jsem při návrhu rozměru oken zohlednil spíše výslednou tuhost skříně, před potřebou co nejvíce omezit cestujícím klaustrofobický zážitek ve vozidle.

Okna jsou na vozidle použita mimo dveří ve třech variantách. Na čelech vozu jsou použita okna rozměrů 684 na 1084 mm. Na bočnicích mezi dveřmi 2234 na 1084 mm a na koncích bočnice 784 na 1084 mm.



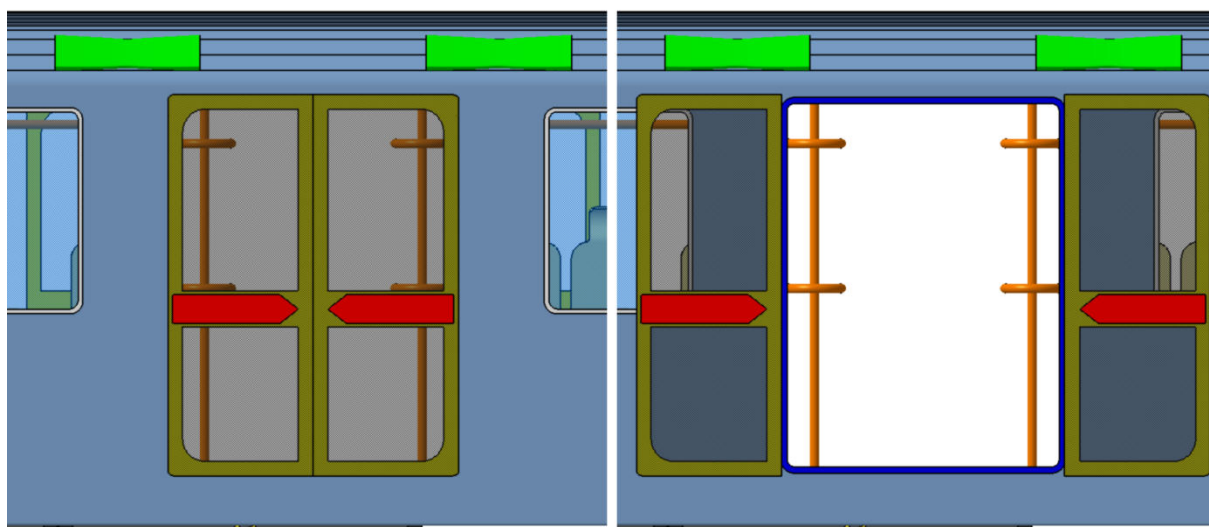
Obrázek 37: Okno s rámem

### 6.4.7 Dveře

Jejich rozměr považuji pro jakýkoliv dopravní prostředek, jehož jízdní řád je taktový a pro splnění grafikonu je rozhodující výměna cestujících ve stanicích, za důležitý. Po vlastních zkušenostech z pražského metra, kde jsou v současné době provozovány jednotky Metrovagonmaše 81-71M a Siemens M1 se shodným rozměrem šířky dveří 1300 mm, jsem se rozhodl ve svém návrhu pro šířku dveří 1500 mm.

Po konzultaci se zástupci pražského dopravního podniku odpovědnými za technickou stránku provozu jsem zvažil všechny varianty kinematiky dveřních systémů a pohonů. Jako nejlepší variantu jsem zvolil dveře posuvné po bočnici. Vzhledem k faktu, že souprava metra je osazena i zdrojem a vedením tlakového vzduchu, je možné k pohonu dveří využít pneumatické lineární motory jako u prvních souprav Ečs. Tento pohon bude odolnější vůči špatnému zacházení ze stran cestujících nerespektujících výstražné zvukové a vizuální signály zavírajících se dveří.

Dveře samotné jsou konstruovány jako jednoduchý rám osazený tónovaným sklem. Takto navržené jsou schopny částečně vykompenzovat menší velikost oken z hlediska psychologických dopadů na cestující. Rámy dveří by v případě zájmu ze strany uživatele mohly být opatřeny světelnými trubicemi. Toto řešení by přineslo lepší informovanost cestujících při varovném zvukovém signálu zavírajících se dveří, nebo v případě nenadálé události by při nouzovém opuštění soupravy mohly pomoci při orientaci.



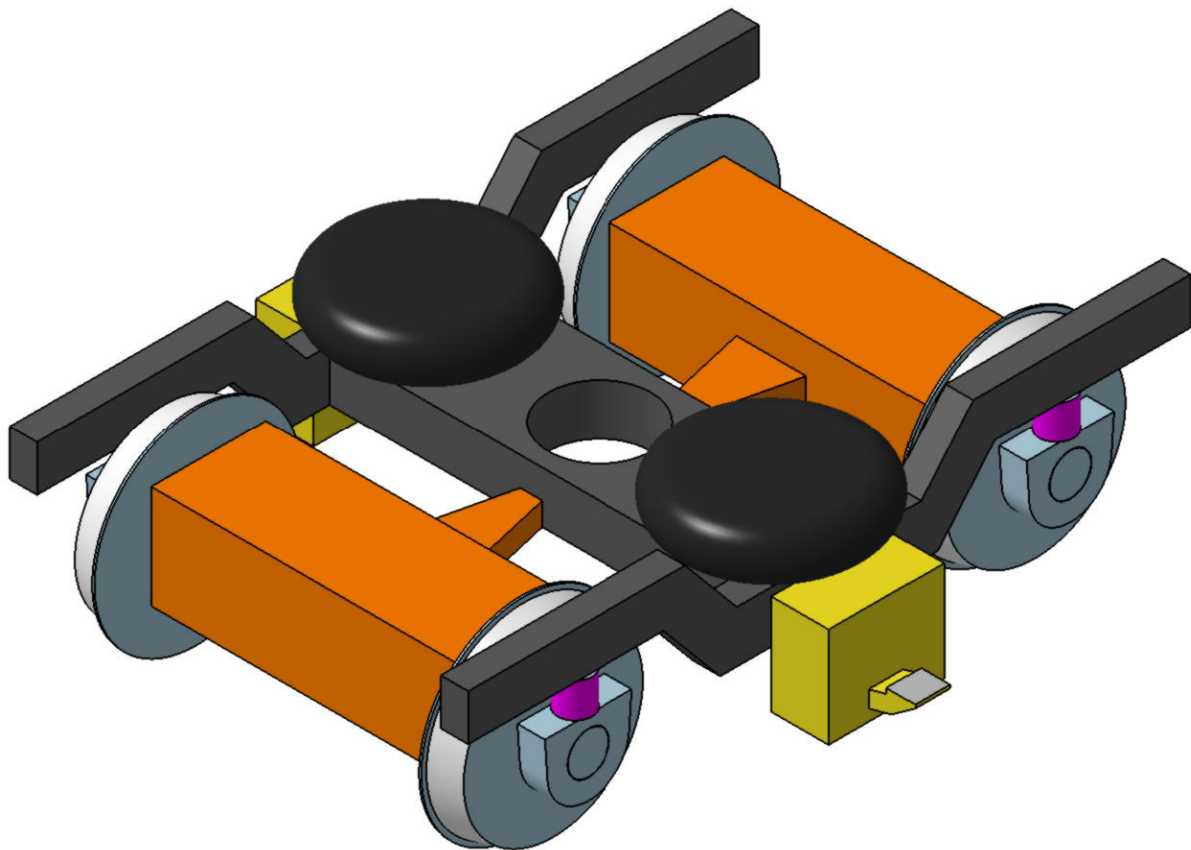
Obrázek 38: Ukázka dveří v poloze zavřeno/otevřeno

## 6.5 Podvozek

Vzhledem k tomu, že návrh samotného podvozku pro kolejové vozidlo je co do obsahu tématem závěrečných prací, je v této práci zabývající se celou jednotkou, navržen pouze předběžně. Rám podvozku předpokládám otevřený nebo z jedné strany uzavřený tak, aby byla možnost k přenosu podélných sil využít ojnicí uchycenou do vedlejšího příčnicku nesoucího taktěž spřáhlo.

Primární vypružení předpokládám vinutou pružinou, znázorněnou na obrázku fialovou barvou. Sekundární vypružení obstarávají pneumatické měchy, které mohou být regulovány pomocí tlaku. Rám podvozku by pak mohl sloužit jako vzdušník pro zásobu stlačeného vzduchu.

O pohon dvojkolí se vzhledem ke způsobu chlazení a způsobu přenosu kroutícího momentu stará motor Syntegra firmy Siemens umístěný okolo náprav.

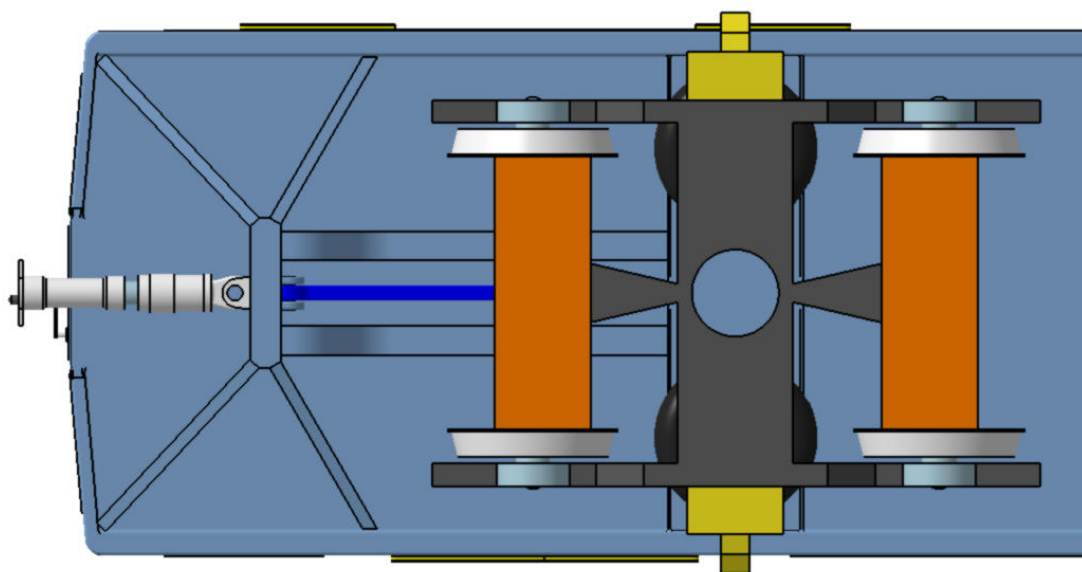


Obrázek 39: Návrh podvozku

## 6.6 Spřáhla

Nedílnou součástí soupravy metra jsou spřáhla přenášející podélné mezivozové síly. Vzhledem k využití plné trakce na celé soupravě bude sníženo jejich výsledné namáhání. Spřáhla budou další z montážních celků dodávaných subdodavateli. Jednotka bude na čelech vozu opatřena automatickými spřáhly a jednotlivé vozy spojeny spřáhly semipermanentními.

Oba typy spřáhel musí být opatřeny plyno-kapalinovými tlumiči, ve kterých se případná deformační energie vyčerpá škrcením kapaliny v tryskách.



Obrázek 40: Detail uchycení spřáhla a ojnice k zachytávání podélných sil

Pro uchycení spřáhel je na koncích vozu pomocný vedlejší příčník, přivařený na spodek skříně vozu. Vedlejší příčník je podélníky spojen s hlavním příčníkem, který má za úkol přenášet jak podélné, tak příčné síly na skřín vozu. Upravený tvar nepravidelného písmene X by měl zajistit lepší rozložení reakčních sil působících od spřáhla. Na obrázku je také vidět ojnice spojující spřáhlo napřímo s podvozkem. Pomocný vedlejší příčník se svou deskou je vybraným dílem, který bude níže podroben pevnostnímu výpočtu pomocí metody konečných prvků.

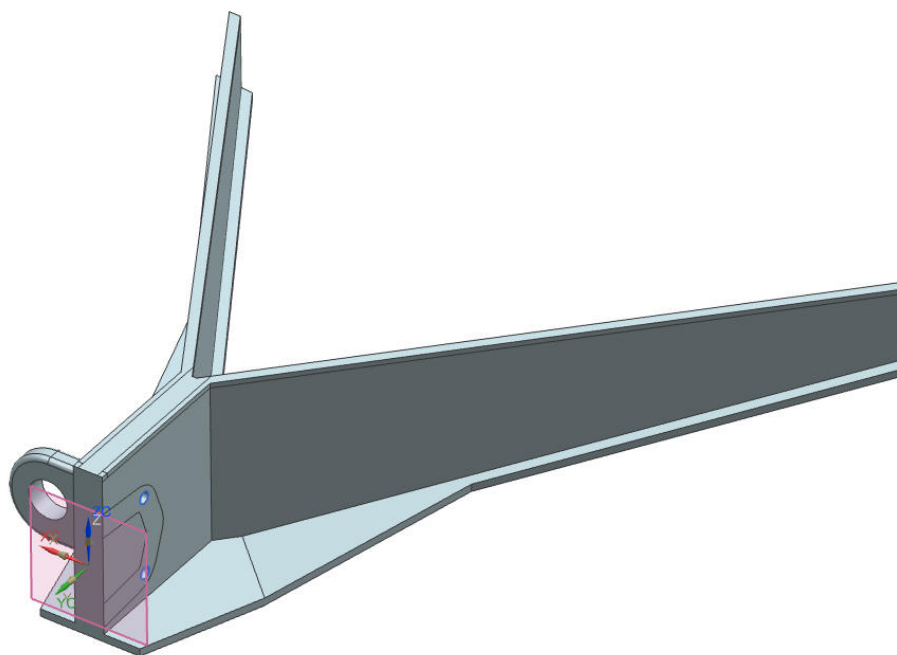
## 7. Pevnostní výpočet pomocného vedlejšího příčnicku

### 7.1 Uvedení do problematiky

Analýza za pomoci metody konečných prvků má za úkol na daném dílu zjistit průběhy a velikost napětí a deformace pomocí výpočtového programu. Nejprve je nutné určit si namáhání, které na tento příčník působí. Hlavní působící silou je tlaková síla působící na skříň v místě spřáhla, jejíž velikost definuje norma ČSN EN 12 663-1 pro kategorii P-III na hodnotu 800 kN. Další silou je síla od podvozku, který je pro tento výpočet simulován proti působení hlavní působící síly velikostí 86 kN. Tato velikost odpovídá silovému působení podvozku, které bylo vypočteno dříve jako adhezní síla.

Pro výpočet pomocí konečných prvků je použito programu NX 8.5 s řešičem Nastran.

Vzhledem k tvaru pomocného vedlejšího příčnicku, lze definovat rovinu symetrie. Díky tomu je možné model pro výpočet zjednodušit tak, že počítána bude pouze polovina modelu. Toto zjednodušení pomůže redukovat výpočetní čas, jelikož se sníží počet rovnic, které musí program řešit. Sníží se vznik nepřesností. Okrajové podmínky zůstávají téměř shodné, jen je nutné redukovat působící síly. V tomto případě také na polovinu. Zjednodušený model a původní model by měly mít v ideálním případě shodné výsledky.



Obrázek 41: Zjednodušený model pomocného vedlejšího příčnicku



## 7.2 Diskretizace modelu

Jde o vytvoření sítě prvků, které by měly co nejlépe kopírovat původní tvar modelu. Lze toho dosáhnout například zahuštěním sítě v exponovaných místech a volbou přiměřené velikosti jednotlivých prvků. S počtem prvků roste také počet rovnic, které budou muset být řešeny. Je vhodné zahustit místa, kde předpokládáme koncentrace napětí s rozvahou, aby nenarostl počet rovnic víc, než by bylo potřeba pro zpřesnění výpočtu.

Pro zlepšení a zahuštění sítě jsem místa, kde je upevněno táhlo, zahustil pomocí řízení sítě. Vzhledem k podobné tloušťce použitého materiálu bylo k diskretizaci použito pro celý model následujících parametrů sítě:

### Hlavní síť:

Typ prvku: CTETRA (10) - čtyřstěn s meziuzly

Velikost prvku: 20 mm

Maximální Jakobián: 10

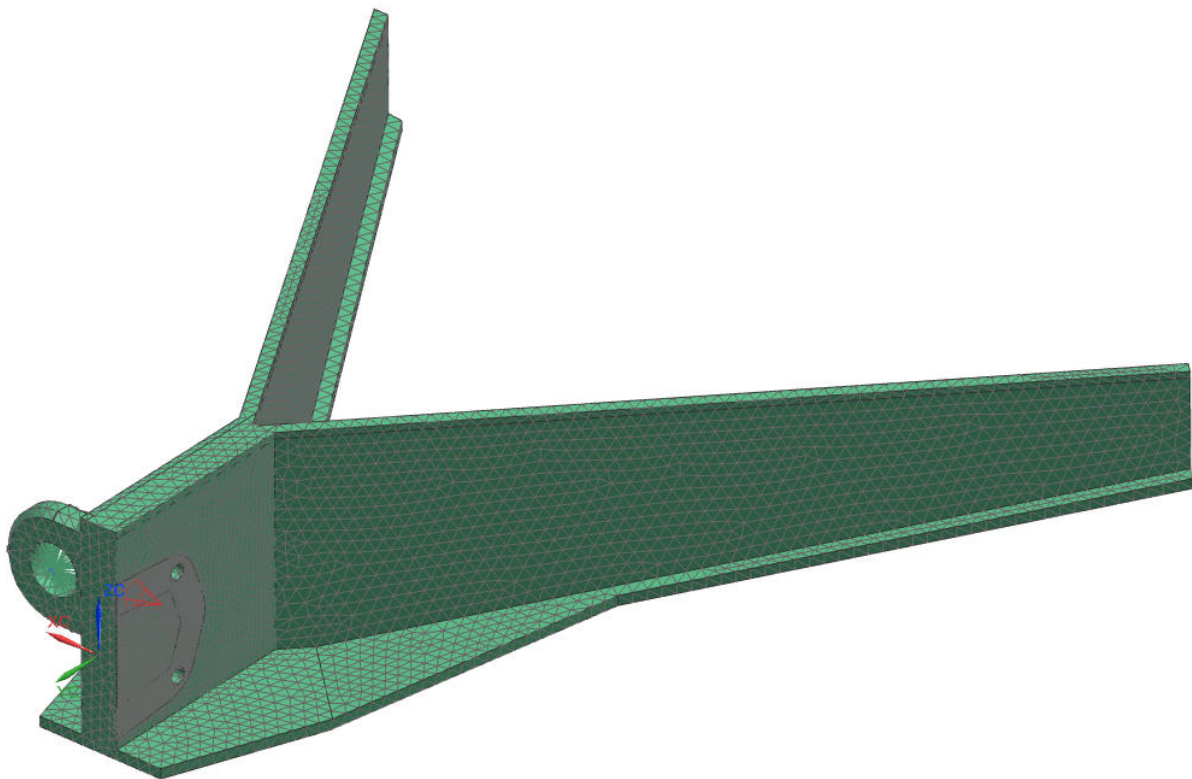
Povrchové zakřivení založené na změně velikosti: 0

Míra růstu elementu skrz objem: 0

Tolerance malých prvků (% z velikosti elementu): 0

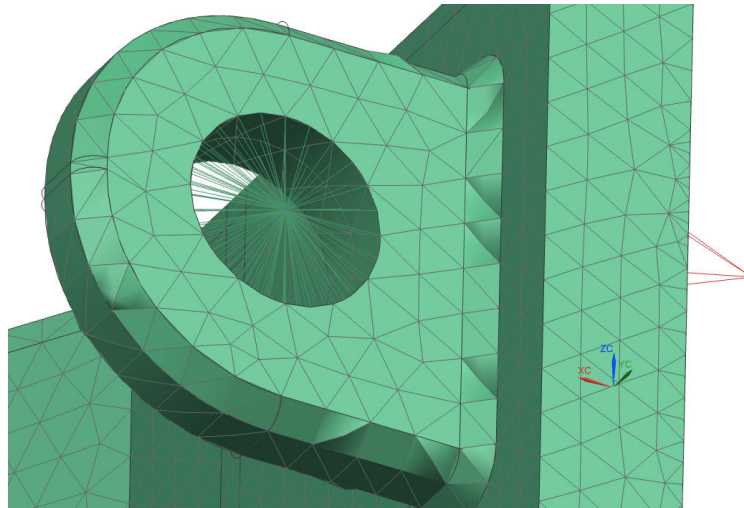
### Zhuštění sítě:

Velikost prvku: 5 mm



Obrázek 42: Diskretizace modelu

Pro lepší simulaci působící síly od ojnice přenášející podélné síly od podvozku je tato síla umístěná do jednoho bodu ve středu otvoru konzole. Tento bod je pak následně spojen virtuálními prvky s konstrukcí. Takto je nasimulováno uložení ojnice. Virtuálním prvkem k tomuto přenosu je absolutně tuhý prvek RBE3 s povolenými všemi stupni volnosti.



Obrázek 43: Detail diskretizace uchycení ojnice

### 7.3 Materiál

Materiálem pro příčnick je hliníková slitina AlMg1SiCu (AA 6061/T6), která má následující parametry:

$$R_e = 290 \text{ MPa}$$

$$R_{p0,2} = 240 \text{ MPa}$$

$$\text{Modul pružnosti } E = 68,9 \text{ GPa}$$

$$\text{Poissonovo číslo } \nu = 0,33$$

$$\text{Hustota } \rho = 2711 \text{ kg.m}^{-3}$$

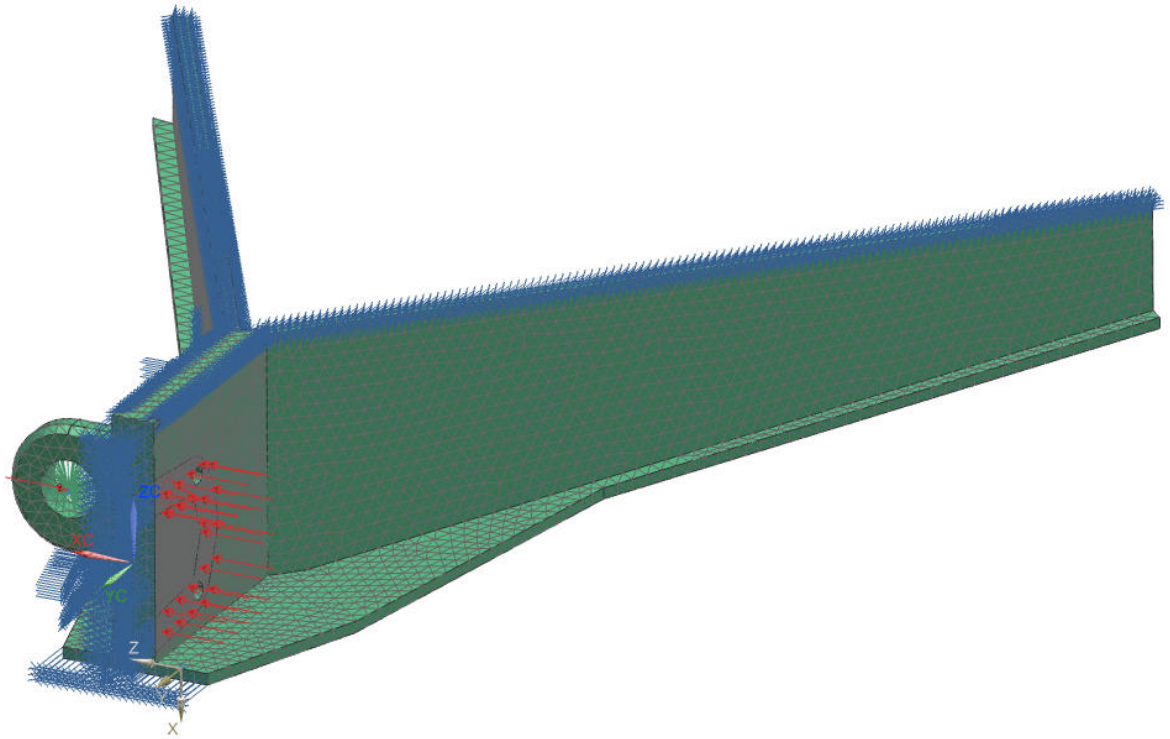
### 7.4 Okrajové podmínky

Okrajovými podmínkami se rozumí ukotvení součásti v prostoru. Vzhledem k provedenému zjednodušení modelu je nutné přidat doplňující okrajové podmínky, které nahradí druhou půlku modelu. Symetrickou druhou část modelu lze nahradit vazbou, která v dělicí rovině má odebrán jeden stupeň volnosti ve směru kolmém k rovině.

Ostatní okrajové podmínky jsou nastaveny tak, aby co nejlépe kopírovaly místa přivaření koutovým svarem o výšce  $a = 10 \text{ mm}$ . V těchto místech jsou modelu odebrány všechny stupně volnosti.

## 7.5 Zatížení silami

Zjednodušený model je zatížený polovičními silami oproti nezjednodušenému. Toto zjednodušení si mohou dovolit také proto, jelikož podélné síly od podvozku a spřáhla působí v rovině symetrie. Zadávané zatížení od spřáhla činí 400 kN a od trakčních sil podvozku 43 kN.

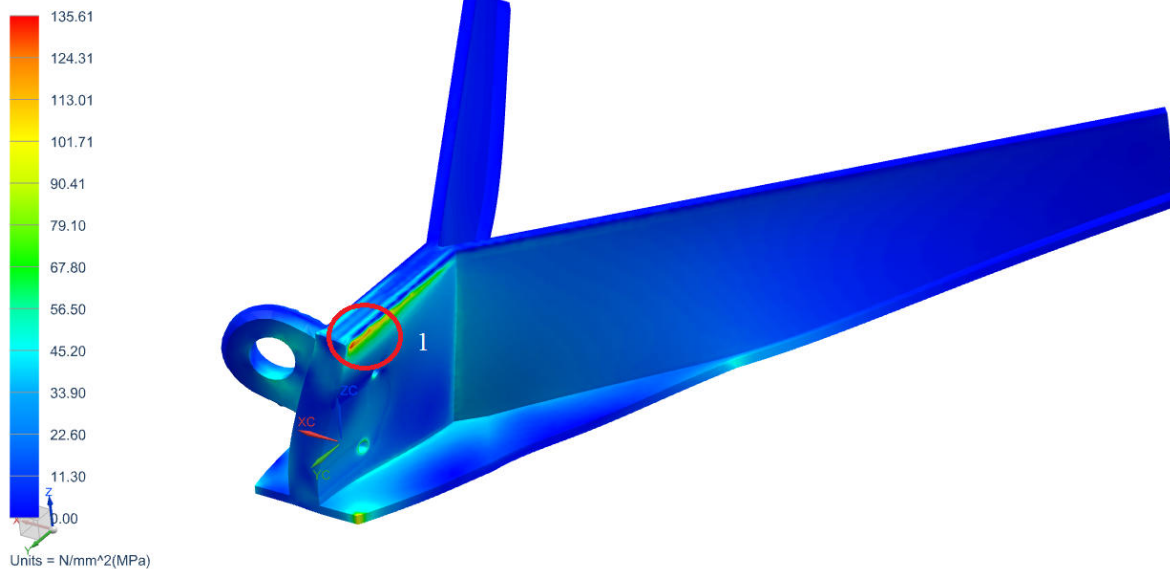


Obrázek 44: Znázornění okrajových podmínek a působících sil

## 7.6 Výsledky simulace

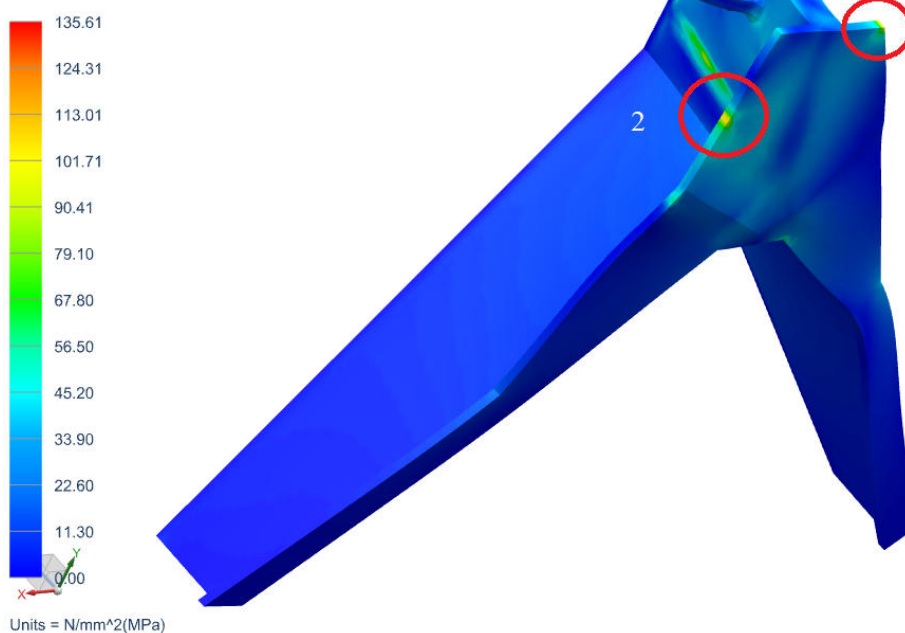
### 7.6.1 Napětí

deska\_sprahla\_svarenc\_stp\_sim1 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 135.61, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 45: Průběh napětí v příčníku - horní pohled

deska\_sprahla\_svarenc\_stp\_sim1 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises  
Min : 0.00, Max : 135.61, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

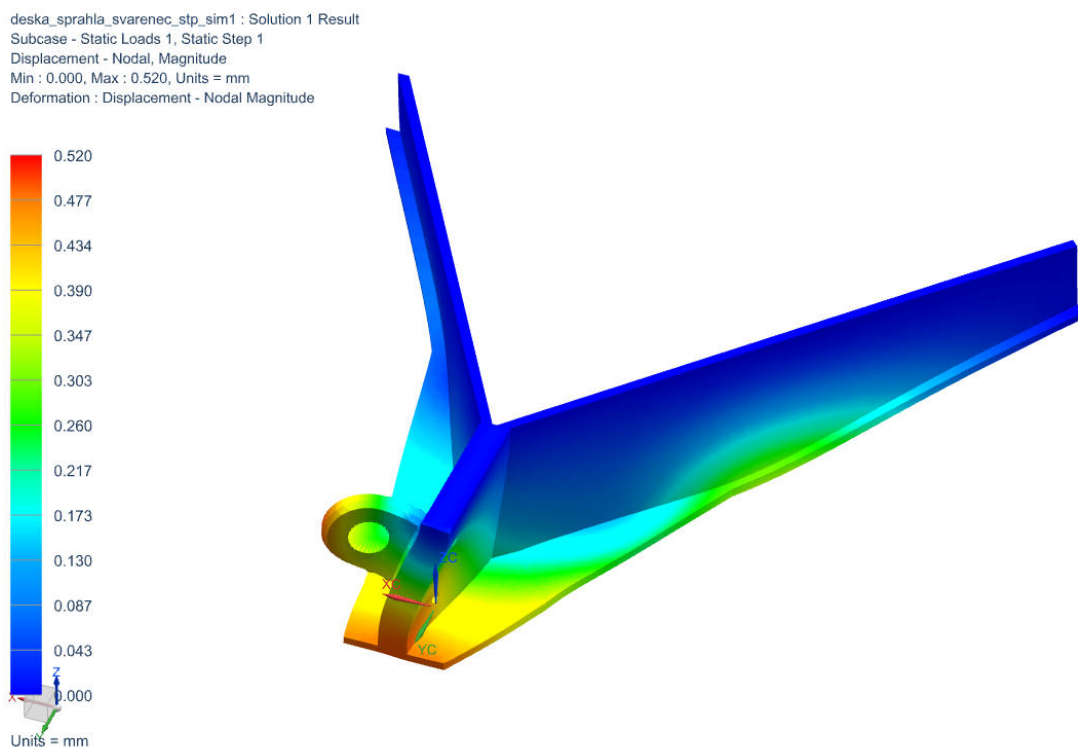


Obrázek 46: Průběh napětí v příčníku - spodní pohled

Z výše uvedených obrázků je patrný průběh napětí v součásti. Největší napětí nalezneme v místě vedle svaru nad uchycením spřáhla (1). Další zvýšené napětí je v místech blízkých styku příčnicku (2) s podélníkem a ve vrubu na spodní pásnici (3). Největšího napětí o velikosti 135,61 MPa je dosaženo v bodě (1). Dochází zde ke kombinovanému namáhání tahem a ohybem.

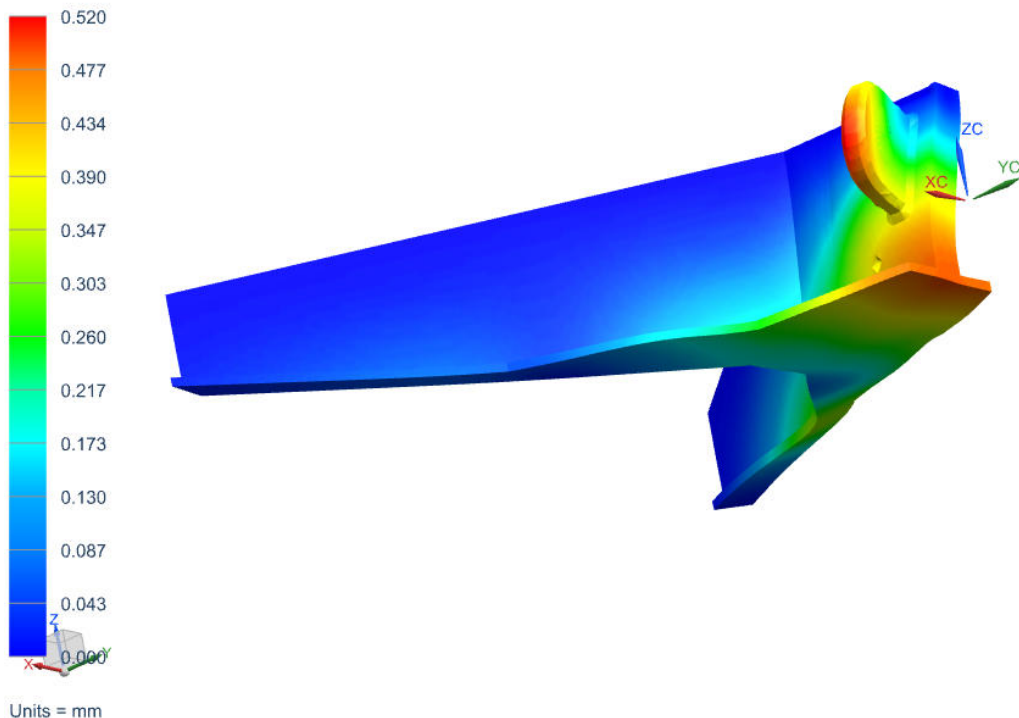
K tak velkému nárůstu napětí dochází, protože okrajová podmínka v místě svaru má odebrány všechny stupně volnosti. Ve skutečnosti bude místo přivaření poddajnější, jelikož ani skříň vozu, respektive její podlaha, nebude absolutně tuhá. Ve skutečnosti se zde dá očekávat menší napětí.

## 7.6.2 Dislokace



Obrázek 47: Znáznornění průběhu dislokací - horní pohled

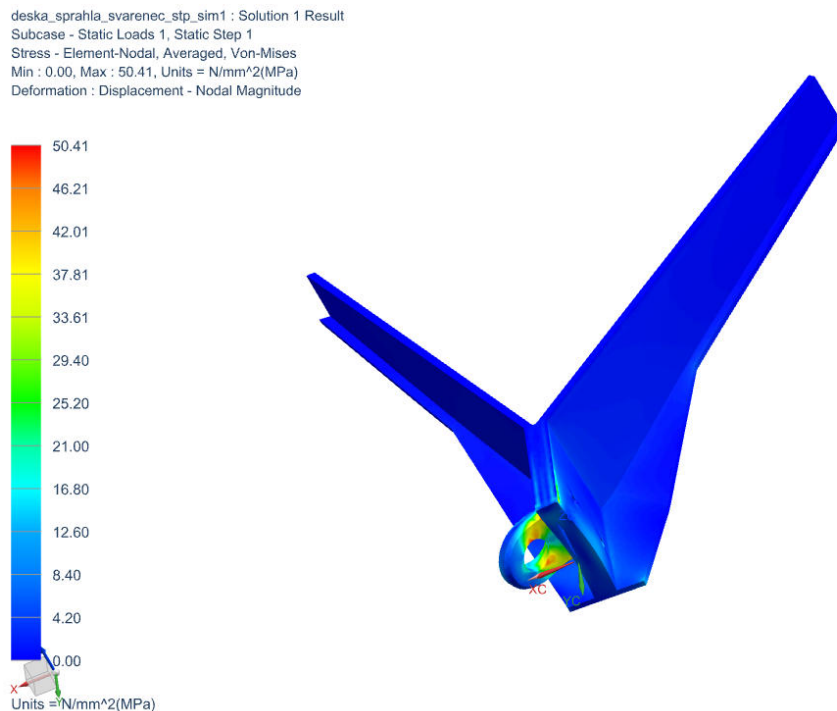
deska\_sprahla\_svarenc\_stp\_sim1 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.000, Max : 0.520, Units = mm  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



Obrázek 48: Znáznornění průběhu dislokací - spodní pohled

Z výše uvedených obrázků je patrná dislokace (posun bodů) pomocného příčnicku. K největším dislokacím dochází v konzolích, jejich velikost dosahuje hodnot 0,52 mm. Další velmi patrné dislokace dosahuje spodní část pásnice pod spřáhlem, zde se hodnoty pohybují okolo 0,47 mm. Vzhledem k zatížení a funkci pomocného vedlejšího příčnicku jsou tyto dislokace velmi uspokojivé.

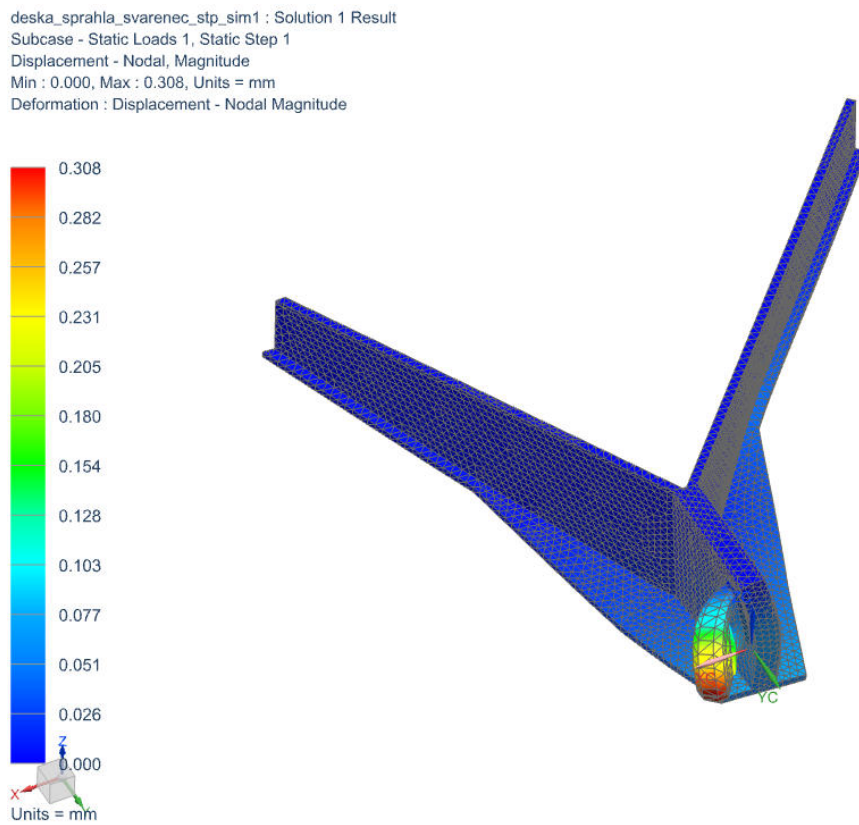
### 7.6.3 Napětí při běžném provozu



Obrázek 49: Namáhání příčnicku v běžném provozu

Při namáhání v běžném provozu díky plné trakci soupravy odpadá mezivozové namáhání, výsledné napětí se proto koncentruje jen do oblasti uchycení ojnice pro přenos podélných sil. Zde je dosahováno maximálního napětí 50,41 MPa.

### 7.6.4 Dislokace při běžném provozu



Obrázek 50: Dislokace příčnicku při běžném provozu

Z výše uvedeného obrázku je patrná dislokace v místě, kde je uchycená ojnice. Velikost největší dislokace je 0,308 mm.



## 7.7 Zhodnocení výsledků

Z výsledků simulace je patrné, že součást zvýšené namáhání vydrží a je schopna dobře roznést případné zatížení na větší plochu podlahy skříně a dále do podélníků. To platí i pro případ zatížení silou vyplývající z normy ČSN EN 12 663 i pro případ běžného provozu.

Při maximálním možném zatížení dochází v dílu k napětí 135,61 MPa, což splňuje pevnostní podmínku s koeficientem bezpečnosti 1,76, při smluvní mezi kluzu 240 MPa.

Při běžném zatížení, které vychází z podvozku a jeho maximálně možných vyvinutých sil dochází v součásti k maximálnímu napětí 50,41 MPa. Toto napětí také splňuje pevnostní podmínku. Koeficient bezpečnosti pro tento případ je 4,76. Smluvní mez kluzu je opět 240 MPa.

Z těchto výsledků je patrné, že pevnostní podmínka byla splněna v obou případech s velkou mírou bezpečnosti. Také je nutné dodat, že k maximálnímu možnému zatížení pomocného vedlejšího příčnicku v běžném provozu nemůže dojít, vzhledem k faktu, že souprava bude mít hnané všechny nápravy. V ideálním případě by souprava mohla být provozována i bez zajištění spřáhel, pouze elektricky a pneumaticky propojená. Směrodatnějším je proto výsledek simulace běžného zatížení. Dá se konstatovat, že je příčnick předimenzovaný a jeho váha by mohla být nižší, ale vzhledem k co nejvyšší životnosti celé skříně zde není více materiálu na škodu.

## 8. Technicko-ekonomické hodnocení

Dnešní doba a napjatá ekonomická situace na světových trzích přidávají do návrhů různých komerčních konstrukcí nutnost dbát na celkovou cenu výrobku po celou dobu jeho životnosti. Od fáze návrhu, přes výrobu až po konec životnosti konstrukce. Tento způsob hodnocení se v praxi nazývá "Life cycle costing". V případě tak nákladných a na realizaci složitých konstrukcí, jakou jednotka metra bezesporu je, se cena stává základním prvkem návrhu. Dále je nutné zohlednit postavení výrobku na trhu a jeho konkurenceschopnost. Při návrhu soupravy metra je proto vhodné zohlednit nové trendy, ale i staré osvědčené konstrukce. Přínos může být ve snížení nároků na údržbu a provoz vozidla. Neoddiskutovatelným parametrem jakéhokoliv dopravního prostředku bývá instalovaná váha, kterou musí souprava po celou dobu životnosti vozit, proto je nutné pečlivě zvážit každý prvek, který zvyšuje váhu a nemusí být třeba za celou dobu životnosti využít.

### 8.1 Technické hodnocení

Při návrhu soupravy metra byl kladen důraz na dodržování norem a předpisů stanovených zamýšleným provozovatelem soupravy. Půdorysné uspořádání soupravy a její vnitřní uspořádání byly navrženy tak, aby jejich uspořádání odpovídalo normám, ale i požadavkům na pohodlí a bezpečnost cestujících ve vztahu k ergonomii. Skříň vozidla byla navržena tak, aby co nejlépe charakterizovala pojem integrální konstrukce, a co nejvíce tohoto pojmu i využila. Její materiál i polotovary jsou navrženy s ohledem na co nejnižší váhu.

Interiér byl navržen s ohledem na údržbu a na design v takové míře, aby co nejvíce zpříjemnil cestování cestujících za dostatečných hygienických podmínek. Vzhledem k malosériové výrobě souprav je vhodné využít co nejvíce dodávek konstrukčních celků od subdodavatelů.

Výsledné řešení jednotlivých vozů se co nejvíce snaží vyhovět přáním případného uživatele, ergonomii cestujících a normám. Navržený díl také vyhovuje pevnostním podmínkám stanoveným normou.

### 8.2 Ekonomické hodnocení

Použití hliníkové integrální konstrukce je z hlediska nákupu polotovarů dražší, ale výroba skříně je levnější oproti skříni diferenciální ocelové konstrukce. Může za to především nižší podíl lidské práce u integrální konstrukce. Snížení podílu lidských zdrojů je z ekonomického hlediska dobrá cesta ke snížení výsledných nákladů, bohužel tomu tak není i z lidského pohledu.

Větší dveřní prostor a navýšení prostorů pro invalidní vozíky a kočárky dávají možnost zkrátit interval na výměnu cestujících a tím zvýšit vytížení soupravy. To by budoucímu uživateli mohlo pomoci ke zvýšení přepravní kapacity.

## 9. Závěr

Nejdříve byl specifikován případný uživatel souprav a zjištěny parametry jeho tratí. Následně proveden průzkum současných trendů v soupravách metra. Také bylo nutné shrnout si konstrukční požadavky na jednotlivé montážní celky vozidla. Dále jsem pokračoval schematickým rozvržením soupravy, ze kterého vzešly základní rozměry potřebné pro další výpočty. Pomocí výpočtů jsem zjistil použitelnost soupravy pro danou trať. Tyto výpočty musí být ověřeny reálným průjezdem soupravy po dané trati.

V další řadě byla souprava podrobněji rozebrána jako technický systém, určeny varianty řešení a z nich plynoucí výsledné řešení.

Dále byly stanoveny jednotlivé prvky výbavy vozidla podle předem provedeného shrnutí jednotlivých konstrukčních požadavků na montážní celky. Z těchto celků byl vybrán díl skříně, pomocný vedlejší příčník, který byl podroben simulaci mechanického namáhání. Tato simulace byla okomentována.

Výsledkem studie pětivozové jednotky pro metro je novátorské řešení s přihlédnutím k současným trendům, požadavkům provozovatele i cestujících. Oproti v této době používaným soupravám toto řešení zvyšuje variabilitu prostoru a zvětšuje šířku dveří. Dalším přínosem je lepší uspořádání vzduchotechniky, kde bylo využito poznatků ze soupravy Siemens M1, výsledný návrh je uživatelsky přátelštější a lépe provětrává prostory pro cestující. Jedním z dalších vylepšení soupravy je využitý způsob otevírání a zavírání dveří a jejich kinematika.

## 10. Použitá literatura

### 10.1 Knižní publikace

- [1] HELLER, P., DOSTÁL, J., *Kolejová vozidla I*, Plzeň: ZČU, 2007, ISBN 978-80-7043-520-5  
[2] HELLER, P., DOSTÁL, J., *Kolejová vozidla II*, Plzeň: ZČU, 2009, ISBN 978-80-7043-641-7  
[3] HELLER, P., DOSTÁL, J., *Kolejová vozidla III*, Plzeň: ZČU, 2011, ISBN 978-80-261-0028-7  
[4] LATA, M., *Konstrukce kolejových vozidel II.*, Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004

### 10.2 Publikace na internetu

- [5] *Autobusy - metro, Souprava M1* [online].poslední aktualizace 4.6.2007 [cit.2014-5-20]. Dostupné z WWW: <http://kuba.petriny.net/M1.htm>  
[6] *Metroweb* [online].poslední aktualizace 9.5.2014 [cit.2014-5-19]. Dostupné z WWW: <http://www.metroweb.cz/>  
[7] *Project metro Munich, Allemagne* [online].poslední aktualizace 9.4.2014 [cit.2014-4-10]. Dostupné z WWW: <http://www.bombardier.com/fr/transport/projets/project.metro-munich-germany.html?f-region=europe>  
[8] *BART Train cars to get makeover courtesy of BMW's designworks photo gallery* [online].poslední aktualizace 20.5.2014 [cit.2014-5-20]. Dostupné z WWW: [http://www.trucktrend.com/features/news/2011/163\\_news110721\\_bmw\\_designworksusa/photo\\_08.html](http://www.trucktrend.com/features/news/2011/163_news110721_bmw_designworksusa/photo_08.html)

### 10.3 Technické normy

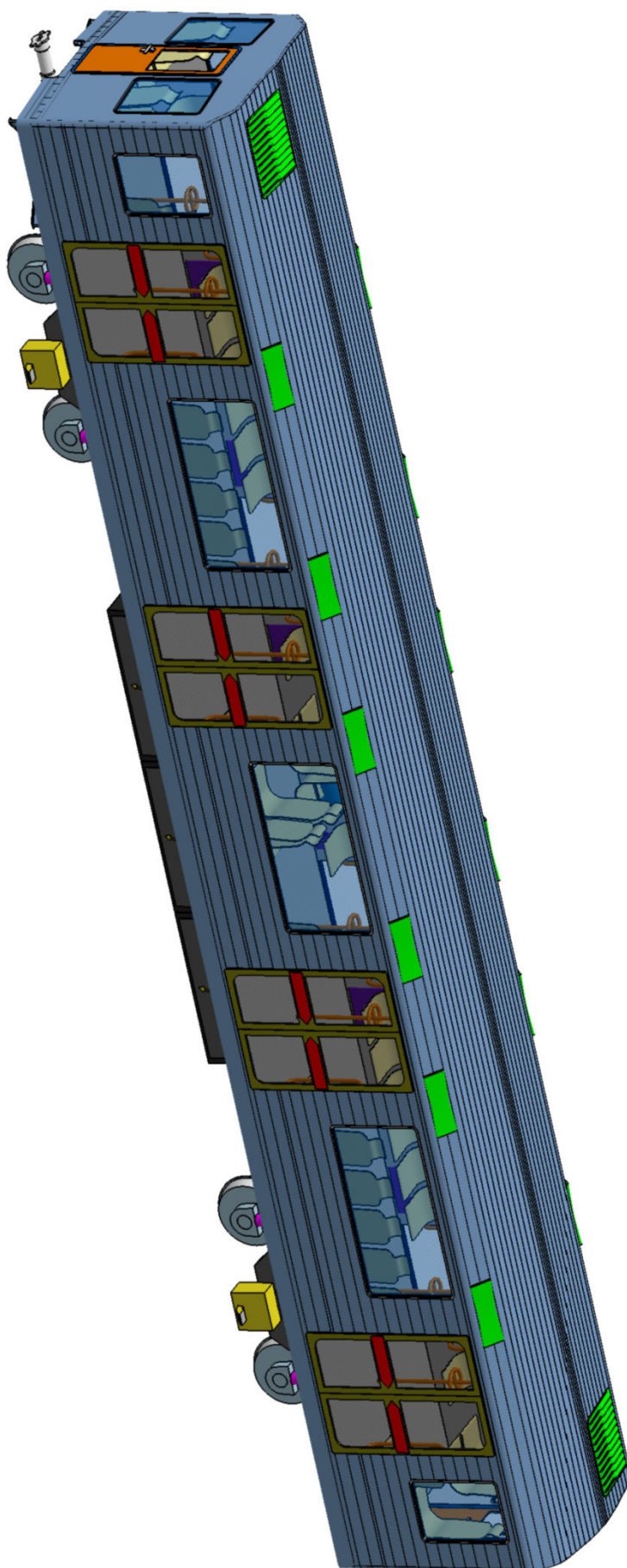
- [9] ČSN 28 1310. Vozy metra pro přepravu cestujících - Základní technické požadavky a zkoušky. 2007-01-01. Praha: Český normalizační institut, 1998.

### 10.4 Přednášky

- [10] HELLER, P. *Konstrukce kolejových vozidel II.-Skříň KV* (přednáška) Plzeň :ZČU, září 2010  
[11] HELLER, P. *Konstrukce kolejových vozidel II.-Točivé elektrické stroje* (přednáška) Plzeň :ZČU, 2010

## **PŘÍLOHA č. 1**

**Celkový pohled na vůz soupravy**

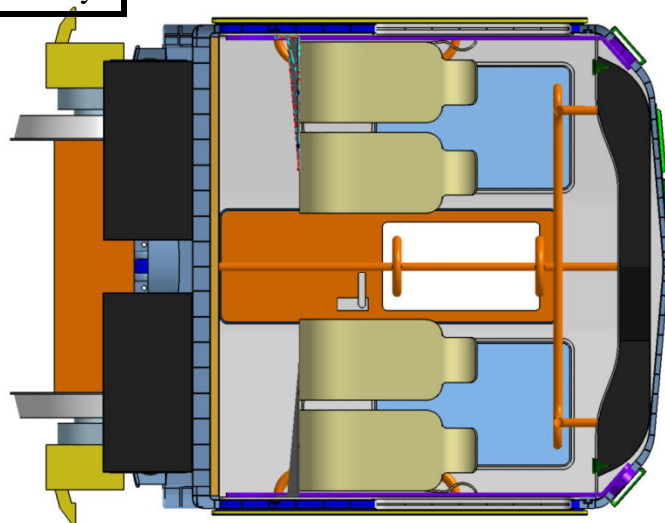
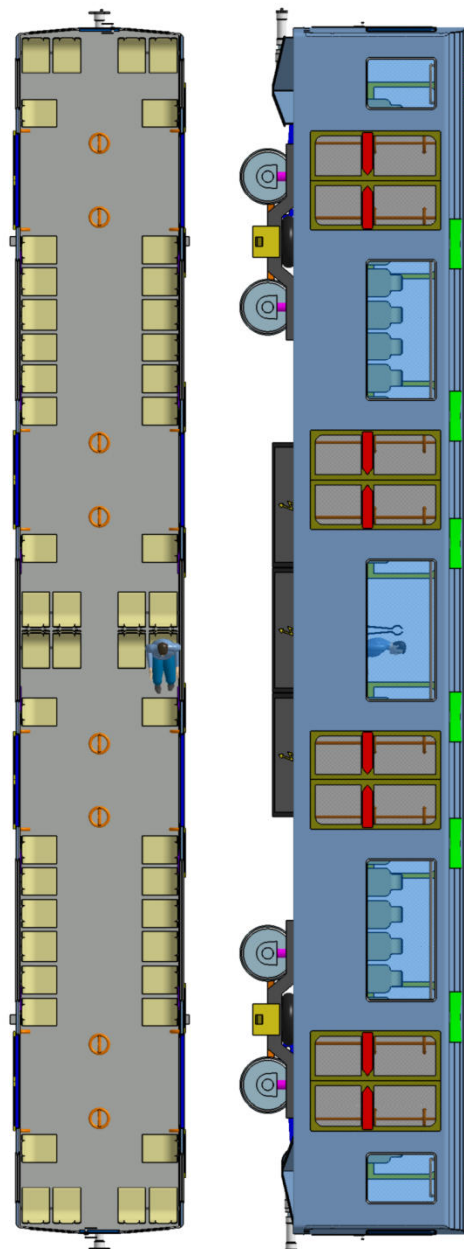


## **PŘÍLOHA č. 2**

### **Prospekt dispozic soupravy**



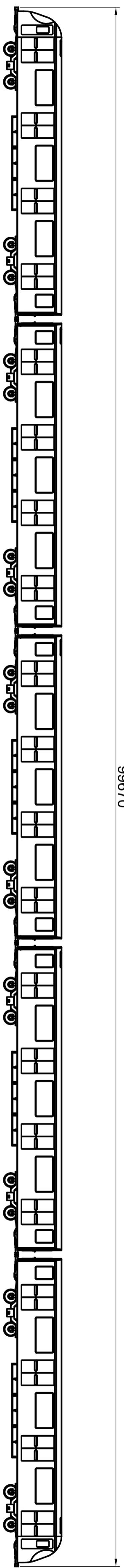
Šířka vozu (přes dveře):	2712 (2742) mm
Výška vozu:	3670 mm
Rozvor podvozků:	2100 mm
Vzdálenost otočných čepů:	12 500 mm
Průměr dvojkolí:	890 mm
Počet dveří pro cestující na jeden vůz:	2x4
Šířka dveří:	1500 mm
Výška podlahy nad TK:	1110 mm
Délka soupravy přes spřáhla:	99 670 mm
Max. rychlost:	85 km.h <sup>-1</sup>
Max. zrychlení (0-30km/h):	1.2 m.s <sup>-2</sup>
Největší dovolený sklon:	40 ‰
Délka hlavového vozu:	19 429 mm
Délka vloženého vozu:	19 300 mm
Celková hmotnost obsazené soupravy:	236,5 t
Počet míst k sezení v soupravě:	228 osob
Počet míst k stání v soupravě (8osob na m <sup>2</sup> ):	1255 osob
Počet míst pro invalidní vozíky (z toho kola):	20(2)
Trakční napětí:	750 V
Instalovaný výkon na nápravu:	150 kW
Primární vypružení:	Vinuté pružiny
Sekundární vypružení:	Pneum. měchy



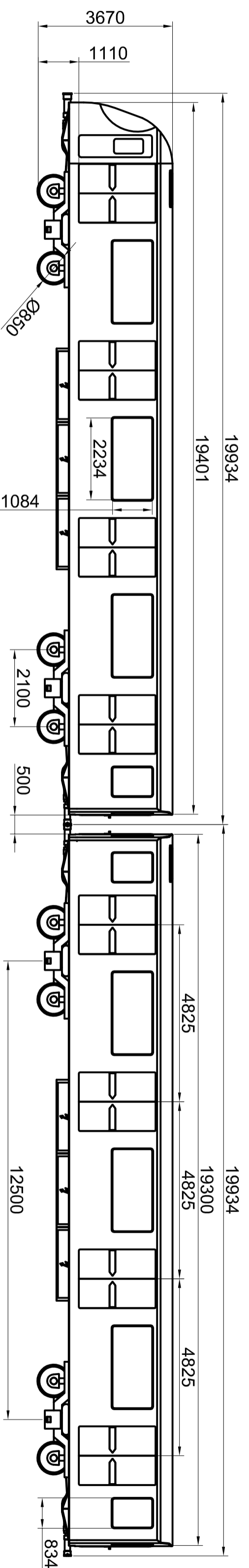


# SOUPRAVA MĚŘÍTKO 1:200

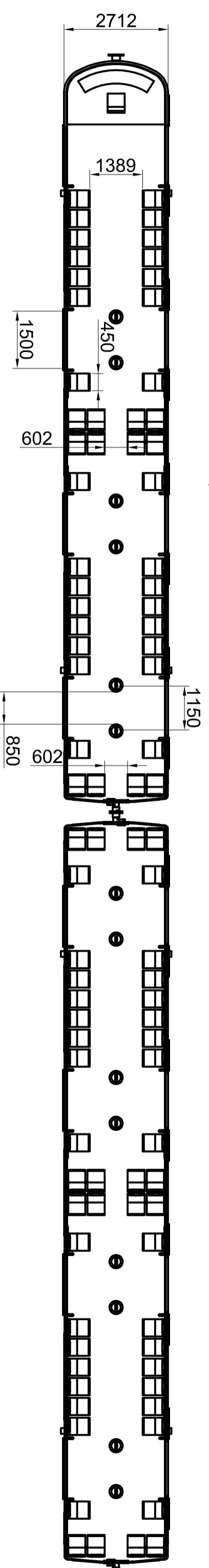
99670

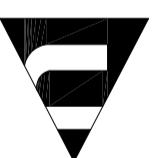



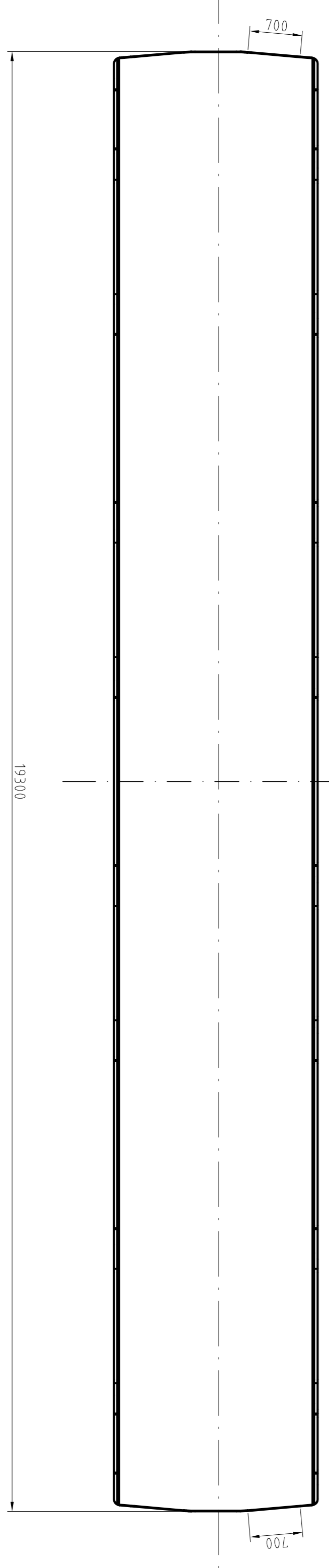
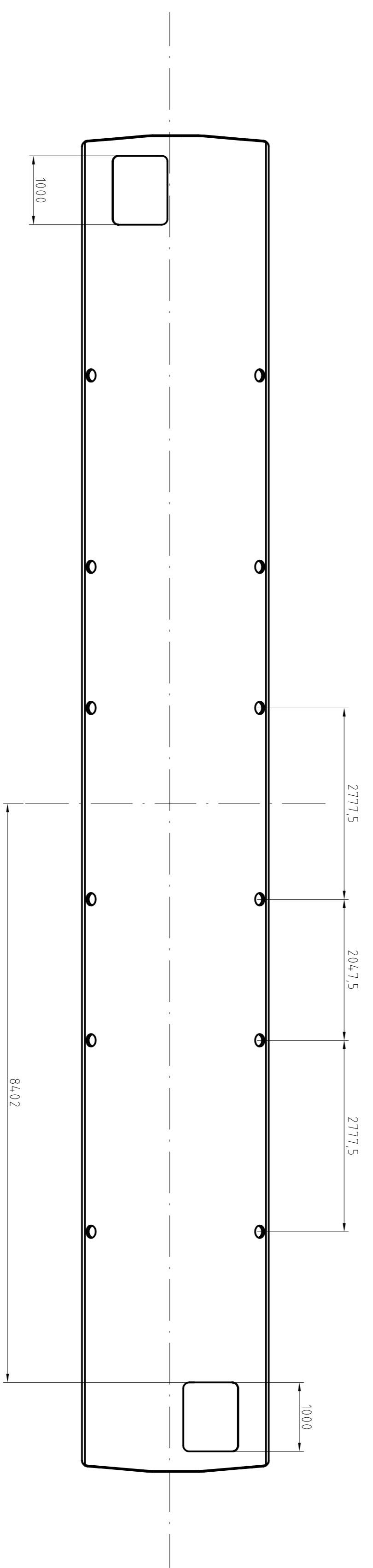
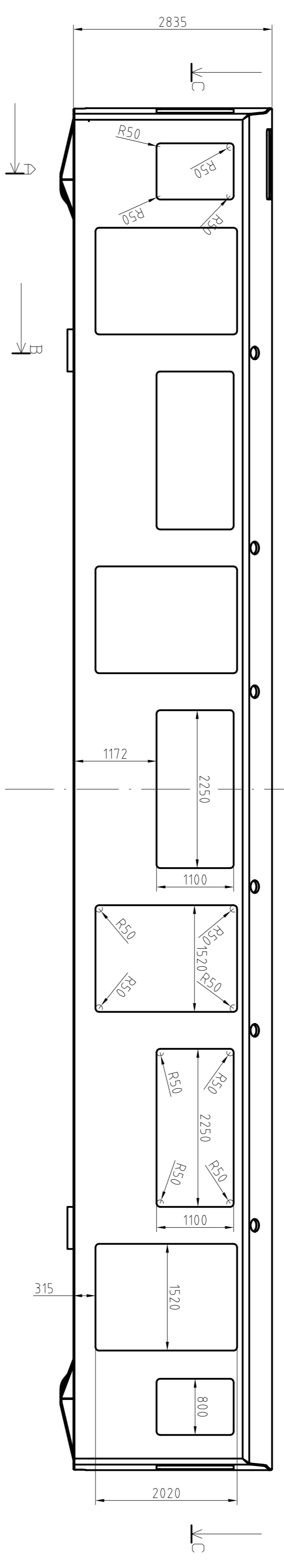
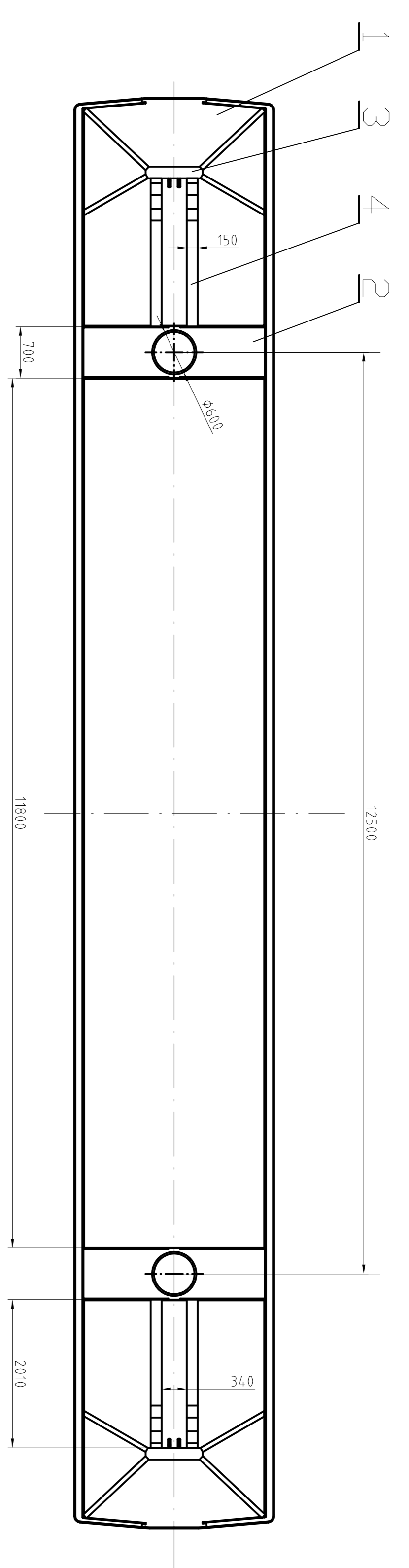
## HLAVOVÝ VŮZ



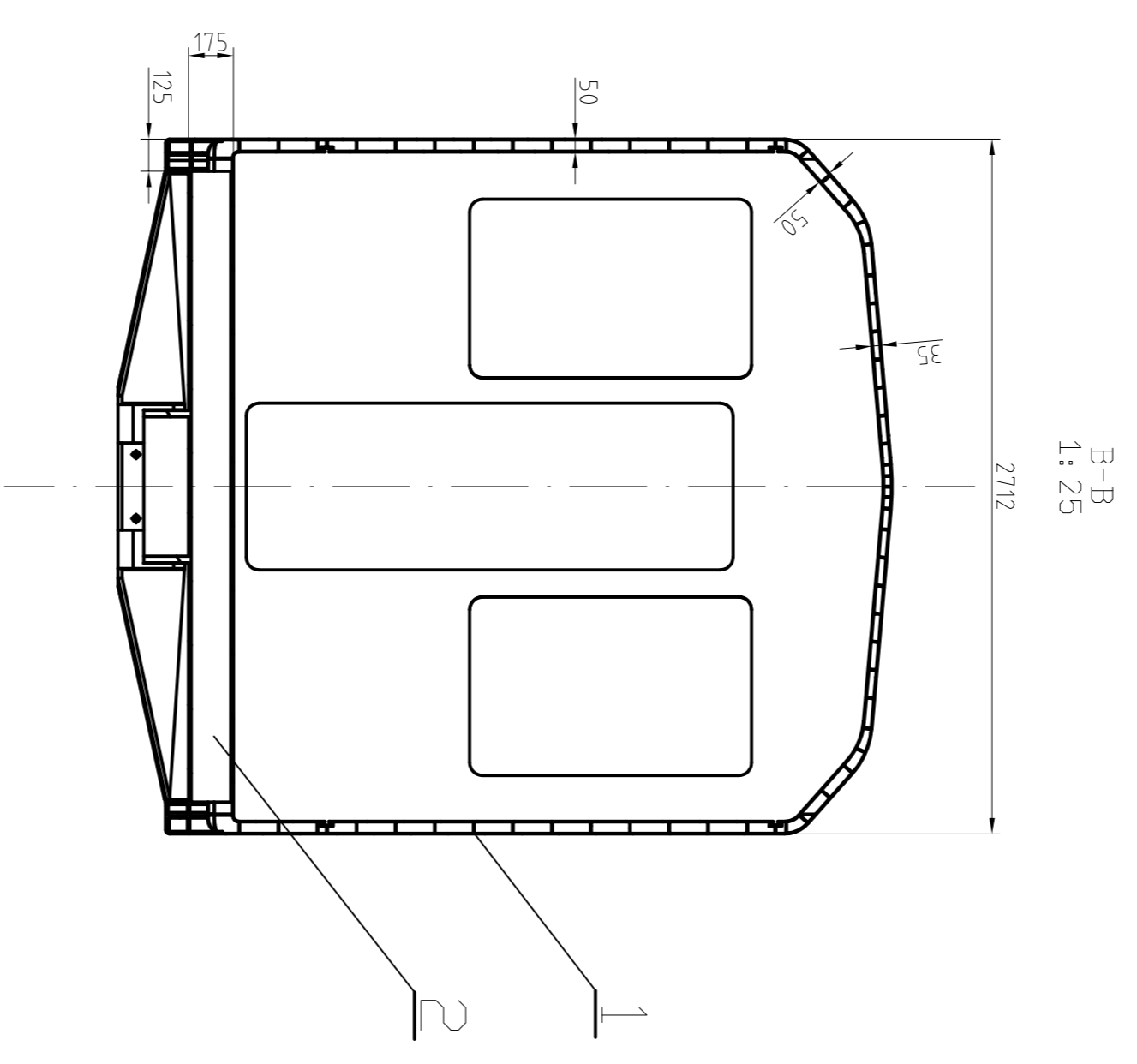
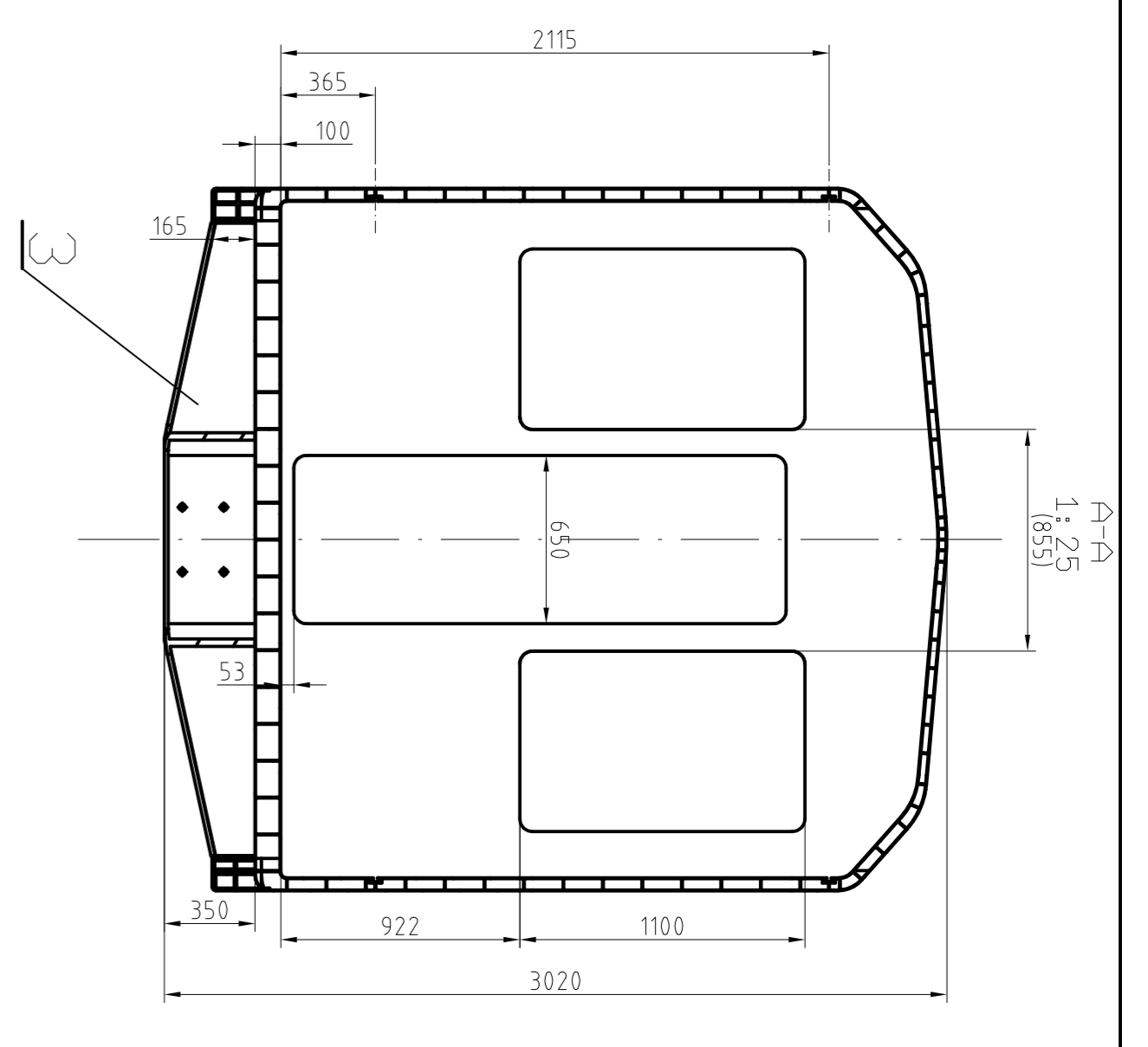
## VLOŽENÝ VŮZ



 <p>FAKULTA STROJNÍ ZAPADOČESKÉ UNIVERSITY V PLZNI</p>		PROJEKTANT 	MĚŘÍTKO <b>1:100</b>	CELKOVÁ MĚŘNOST ZMĚNA 1
KATEDRA KONSTRUKOVÁNÍ STROJŮ		KREJČIL <b>Bc. Pavel Svoboda</b>	ZMĚNA 2	ZMĚNA 1
NÁZEV <b>TYPOVÝ VÝKRES</b>		TECH. REFERENT SCHVÁLIL DATUM	DATUM	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
ČÍSLO VÝKRESU <b>DP-2014-01</b>		ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK	TYP DOKUMENTU	ČÍSLO VÝKRESU
ISO 16016		LETUŠI		



C-C  
1:50



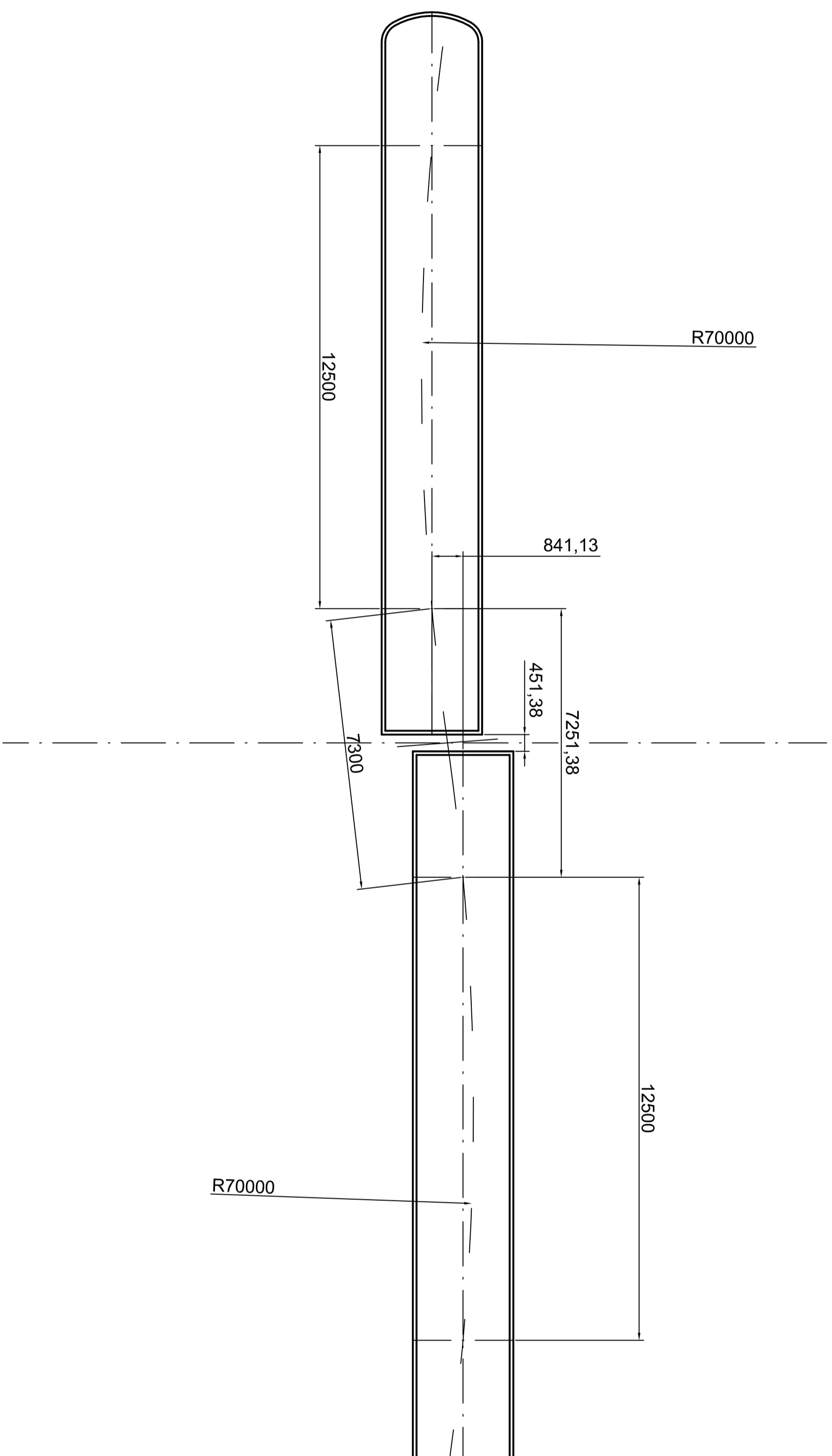
1	TUBUS SKŘÍŇĚ	EN 6061	4625 kg	1
2	HLAVNÍ PŘÍČNÍK	EN 6061	315 kg	2
3	POMOCNÝ VEDLEJŠÍ PŘÍČNÍK	EN 6061	120 kg	2
4	PODÉLNÍK	EN 6061	105 kg	4

**Katedra Konstrukční Srovnání**

**Fakulta Strojní  
Západočeské  
Univerzity  
v Plzni**

**Bc. Pavel Šuboda**

PROJEKT: IBERNO / CELKOVÝ PŘEHLED ZÁŘADNÍ  
 FASE: 159  
 TECHNICKÝ NÁVRH: Bc. Pavel Šuboda  
 SCHVÁLIL: [ ]  
 NÁZEV: SESTAVENÍ SKŘÍŇĚ DP-2014-02  
 ČÍSLO VÝKRESU: [ ]  
 VÝKRES: [ ]



FAKULTA STROJNÍ  
ZÁPADOČESKÉ  
UNIVERSITY  
V PLZNI

KATEŘRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ

PROJEKČNÍ KRESLITEL	MĚŘITVO 1:100	CELKOVÁ MĚŘITVNOST	ZMĚNA 1 DATUM	ZMĚNA 2 DATUM	ČÍSLO VÝKRESU SESTAVY
TECHNICKÝ SCHVÁLIL	<b>Bc. Pavel Štroboda</b>		DATUM	DATUM	ČÍSLO SEZNAMU POLOŽEK
NÁZEV			DATUM	DATUM	ČÍSLO VÝKRESU
					ISO 18016
					ČÍSLO VÝKRESU
					DP-2014-03
					ARTIKUL

PRŮJEZD S - OBL.

DP-2014-03

ARTIKUL