

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

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

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Čtyřnápravové úzkorozchodné nízkopodlažní tramvajové vozidlo

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

Akademický rok 2018/2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Helena PRŮCHOVÁ**

Osobní číslo: **S17N0036P**

Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**

Název tématu: **Čtyřnápravové úzkorozchodné nízkopodlažní tramvajové vozidlo**

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:

Proveďte návrh hrubé stavby skříně nízkopodlažního tramvajového vozidla s ohledem na uložení skříně na tramvajový podvozek. Navržená konstrukce musí zcela splňovat normy stanovené pro stavbu kolejových vozidel.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Úvod
2. Rešerše koncepcí tramvajových vozidel
3. Specifikace požadavků a návrh konstrukčního řešení
4. Vytvoření CAD modelu a vypracování základní dokumentace
5. Závěr

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

HELLER, CSC., DOC. ING. PETR A ING. JOSEF DOSTAL *Kolejová vozidla III.*
Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011

ÚSTAV SILNIČNÍ A MĚSTSKÉ DOPRAVY *Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky 11776, ČSN 28 1300 . Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1998*

ASOCIACE PODNIKŮ ČESKÉHO ŽELEZNIČNÍHO PRŮMYSLU *Tramvajová vozidla - Technické požadavky a zkoušky 77435, ČSN 28 1300 ZMĚNA Z2. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006*

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

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

Katedra konstruování strojů

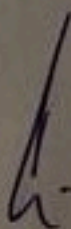
Konzultant diplomové práce:

Ing. Tomáš Dvořáček

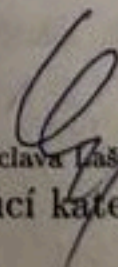
VKV Praha, s.r.o.

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

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



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



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

V Plzni dne 16. října 2018

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rada bych poděkovala vedoucímu práce panu Doc. Ing. Petru Hellerovi, CSc. za ochotu a vedení diplomové práce, panu Ing. Tomáši Dvořáčkovi z firmy VKV Praha s.r.o. za ochotu při konzultacích a poskytnutí potřebných materiálů. Dále děkuji panu Ing. Karlu Rážovi Ph.D. za ochotu a spolupráci.

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Bc. Průchová	Jméno Helena		
STUDIJNÍ OBOR	N2301 „Dopravní a manipulační technika“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Heller, CSc.	Jméno Petr		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST – KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Čtyřnápravové úzkorozchodné nízkopodlažní tramvajové vozidlo			

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	73	TEXTOVÁ ČÁST	52	GRAFICKÁ ČÁST	21
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce se zabývá návrhem hybridního čtyřnápravového úzkorozchodného tramvajového vozidla. Výpočet je prováděn dle normy ČSN EN 12663-1. Výsledkem je navržená hrubá stavba s kompozitními bočnicemi připevněnými pomocí lepeno-šroubového spoje.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">kompozitní bočnice, CAD model, FEM analýza, výpočty</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

	Surname Bc. Průchová	Name Helena	
FIELD OF STUDY	N2301 „Transport Vehicles and Handling Machinery”		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Heller, CSc.	Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST – KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The Four – axles narrow – gauge low – floor tram vehicle		

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

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	73	TEXT PART	52	GRAPHICAL PART	21
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The diploma thesis deals with the design of the hybrid four - axles narrow-gauge tram vehicle. Then this work deals with calculations according to ČSN 12663-1. The result of this work is the design rough structure with composite side – walls fastened with a glued-screw connection.
KEY WORDS	Composite side - walls, Cad model, Fem analysis, calculations

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	1
ÚVOD	2
1. ROZDĚLENÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL	3
1.1. Rozdělení tramvajových vozidel podle počtu náprav.....	4
1.2. Rozdělení tramvajových vozidel podle úrovně podlahy	6
1.3. Rozdělení podle polohy kabiny řidiče	7
2. STAVBA SKŘÍŇE TRAMVAJOVÉHO VOZIDLA.....	8
2.1 Základní požadavky na hrubou stavbu.....	9
2.1.1 Technické požadavky	9
2.1.2 Ekonomický význam.....	10
2.1.3 Ekologický význam.....	10
2.1.4 Statické pevnostní požadavky	10
2.1.5 Odolnost kolejových vozidel proti nárazu	10
2.2 Uvažované varianty.....	11
2.2.1 Hrubá diferenciální stavba z černěné oceli	11
2.2.2 Hrubá diferenciální stavba z nerez oceli	12
2.2.3 Hrubá integrální hliníková stavba	12
2.2.4 Hrubá hybridní stavba	13
2.3 Metody spojování hrubé stavby	13
2.3.1 Šroubové spoje	14
2.3.2 Nýtované spoje.....	14
2.3.3 Lepené spoje.....	15
2.3.4 Svarové spoje	16
2.3.5 Lepeno-šroubový spoj	16
2.3.6 Základní rozdělení lepidel	17
2.3.7 Volba lepidla	17
2.4 Kompozitové materiály	18
2.4.1 Kontaktní laminace	18
2.4.2 Sendvičová jádra	18
2.5 Zhodnocení uvedených variant	19
2.5.1 Metoda výběru vhodné varianty.....	19
3. VLASTNÍ NÁVRH.....	21
3.1 Obrys pro vozidla	21

3.1.1 Základní část	21
3.1.2 Spodní vymezení obrysu	21
3.1.3 Horní vymezení obrysu	21
3.1.4 Sběračová část	21
3.2 Výpočet vybočení.....	23
3.3 Výpočet obsaditelnosti vozidla	26
3.4. Konstrukční díly tramvaje	27
3.4.1 Nadpodvozková část	27
3.4.2 Část mezi podvozky	28
3.4.3 Zadní část	28
3.4.4 Podlaha pod kabinou řidiče	29
3.4.5 Bočnice	30
3.4.6 Střešní komponenty	31
3.4.7 Čelo tramvaje	32
4. PEVNOSTNÍ VÝPOČET	33
4.1 Další způsoby zatěžování	38
ZÁVĚR.....	39
LITERATURA	40
SEZNAM OBRÁZKŮ	42
SEZNAM TABULEK.....	43
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	43

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

t	tuna
ČSN	Československá norma
EN	Evropská norma
MHD	Městská hromadná doprava
mm	milimetry
m	metr
sec	sekunda
UITP	Mezinárodní svaz veřejné dopravy (International Association of Public Transport)
h	hodina
km	kilometr
kg	kilogram
V _{ss}	stejnoseměrné napětí
N	Newton
°C	Stupeň Celsia
dB	decibel
μm	mikrometr
MPa	megapascal
Re	mez napětí
τ	smykové napětí
F _{max}	zatěžující síla

ÚVOD

Diplomová práce se zabývá návrhem nového koncepčního řešení skříně pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo. Navrhované řešení vychází z vyrobeného podvozku uvedeného v diplomové práci pana Ing. Petra Bláhy studenta Západočeské univerzity v Plzni: *Studie podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo*. Hlavními požadavky na skříň vozidla jsou: nízká hmotnost (10 eventuálně 11t, z důvodu omezení na nápravové zatížení), pevnostní výpočty, požadavky normy ČSN EN 12 663-1 a důvody omezení spotřeby elektrické energie při častém rozjíždění vozidla.[1]

Úvodní část práce se zabývá rešerší z oblasti rozdělení tramvajových vozidel, kde jsou jednotlivé koncepce detailně specifikovány. Jsou zde popsány jejich výhody a nevýhody z hlediska konstrukčního řešení.

Ve druhé kapitole je popsána stavba hrubé konstrukce tramvajového vozidla. V této části jsou rámcově popsány základní požadavky, ze kterých bylo vycházeno pro konstrukční řešení. Dále jsou rozebrány uvažované varianty, způsoby spojování dílů a uvedeny jsou výhody a nevýhody při montáži a stavbě. V závěru kapitoly je provedeno zhodnocení a následný výběr varianty, která bude navrhována.

Ve třetí kapitole je popsán výpočet vybočení tramvajového vozidla a jednotlivé komponenty hrubé stavby.

Čtvrtá kapitola popisuje pevnostní výpočet hrubé stavby. Výpočet byl proveden v programu NX NASTRAN, včetně zasíťování modelu s okrajovými podmínkami a zobrazení výsledků pevnostní analýzy.

V závěru práce byla vytvořena výkresová dokumentace s 3D modelem a zhodnocení dosažených výsledků.

1. ROZDĚLENÍ TRAMVAJOVÝCH VOZIDEL

Kolejová vozidla městské hromadné dopravy mají významnou úlohu v dopravní obslužnosti. Díky možnosti pojmout mnoho cestujících snižují množství provozovaných motorových vozidel ve městech. To přispívá také ke snížení znečištění ovzduší. Proto je opět na vzestupu rozvoj kolejové dopravy ve velkých městech. Výhody tramvajových vozidel jsou dobré trakční vlastnosti, delší životnost motoru v porovnání s autobusem a trolejbusem. Elektrické vedení je stavebně jednodušší v porovnání s trolejbusovým.

Mezi nevýhody patří velký hluk a vibrace v závislosti od uložení kolejí, omezená stoupavost vzhledem k součiniteli adheze kovového kola v koleji a vysoké investiční náklady. V následující tabulce jsou uvedeny provozní parametry stanovené vyhláškou Ministerstva dopravy 173/1995 Sb. [1], [3]

Tabulka 1 - Hlavní parametry tramvajových vozidel [1]

Hlavní parametry tramvajových vozidel
délka, výška, šířka skříně
nejvyšší provozní rychlost
vlastní hmotnost vozidla, hmotnost podvozku, hmotnost na nápravu
rozvor vozidla, rozvor podvozku, průměr kola
jmenovitý poloměr nejmenšího projížděného oblouku
výkon motoru, počet motorů
uspořádání pojezdu
počet cestujících (sedících, stojících)
rozjezdové a brzdové zrychlení
šířka a počet dveří
Jedno, nebo obousměrnost vozidla

Tramvajová vozidla se rozdělují do několika kategorií:

- Dle počtu náprav
- Dle úrovně podlahy
- Dle polohy kabiny řidiče

1.1. Rozdělení tramvajových vozidel podle počtu náprav

Z historického hlediska byly nejdříve vyráběny dvounápravové tramvaje (obr. 1), které po dlouhou dobu zajišťovaly spolehlivou dopravu. Nevýhodou výše uvedených tramvají je obtížné projíždění obloukem u většího vozidla, malá rychlost, omezené jízdní vlastnosti a malá kapacita cestujících. Proto byly vytvořeny čtyřnápravová vozidla (obr. 2), jejichž vlastnosti splňovaly rostoucí požadavky na výkonnost MHD. K výhodám čtyřnápravové jednotky patří rychlejší a pohodlná výměna cestujících, ergonomické řídicí prvky, větší dynamické parametry, jako jsou zrychlení $1,2 \text{ m/sec}^2$ či zpoždění až na $1,4 \text{ m/sec}^2$. V (tab. č. 2 a 3) jsou uvedeny způsoby dělení vozidel podle normy UITP.

Tabulka 2 - Rozdělení vozidel MHD podle UITP [1]

	Ozn.	Jednotky	Městská tramvaj (Stassenbahn)	Rychlodrážní tramvaj (Stadtbahn, LRV)	Rychlodrážha-metro (S-Bahn, U-Bahn)
Kapacita	Q	[míst/h, směr]	do 15 000	do 40 000	do 80 000
Maximální rychlost	V	[km/h]	60 až 70	70 až 80	80 až 100
Uspořádání jízdní dráhy			V úrovni ulice	Převážně na vlastním tělese	Jen na vlastním tělese nebo v tunelu
Vzdálenost stanic	L	[m]	Řidičem a uliční světelnou signalizací	Řidičem a světelnou signalizací s předností v jízdě	Signalizační systém s automatickou regulací rychlosti
Uspořádání nástupišť			Úroveň ulice, nebo nízké podlahy	Nízké a vysoké nástupiště, event. přestavitelné schody na vozidle	Vysoké nástupiště
Max. odrychlení	a	[m/s ²]	do 3	do 3	cca 1,5
Min. poloměr oblouku	R	[m]	16 až 20	20 až 25	60 až 100
Max. hmot. na nápravu	G	[kg]	8 až 9	9 až 11	11 až 14



Obrázek 1 - Dvounápravová tramvaj [2]



Obrázek 2 - Čtyřnápravová tramvaj

Tabulka 3 - Přibližné rozdělení kolejových vozidel městské hromadné dopravy [1]

	Tramvajová vozidla (jednosměrná, obousměrná)	Vozidla metra	Městská rychlodráha
Koncepce	A. Dvounápravová (rámová) B. Čtyřnápravová (podvozková) C. Kloubová - Článeková - LRV - Tram-Tram D. Vlečné vozy	obvyklé koncepce lehké metro	napájena z 3. kolejnice, napájení vrchní
Napěťová soustava [Vss]	600 750	750 (z 3. kolejnice) 1500(napájení vrchní)	750 1500
Rozchod [mm]	1000,1435,1520	1435,152	1435
Výška podlahy od TK[mm]	Vysoká - nad 800 Střední - 500 Nízká - 350 Velmi nízká - 150	1100 1150 1200	-
Podíl nízké podlahy [%]	30,50,70,100	-	-

1.2. Rozdělení tramvajových vozidel podle úrovně podlahy

Tramvajové vozy se dělí na vysokopodlažní (obr. 3) a nízkopodlažní jednotky (obr. 4). Nejdříve byly vyráběny vysokopodlažní tramvaje z důvodu jednodušší konstrukce. Postupem času se začaly zvyšovat nároky na rychlou výměnu cestujících, nástup a výstup maminek s kočárky a invalidních cestujících. Postupem vývoje se začalo dbát na atraktivní design exteriéru i interiéru, nižší hlučnost pohodlí cestujících včetně vytápění vozu.[1]



Obrázek 3 - Vysokopodlažní tramvaj [4]



Obrázek 4 - Nízkopodlažní tramvaj For City [5]

1.3. Rozdělení podle polohy kabiny řidiče

Kabina řidiče může být uložena pouze na jednom konci, nebo na obou koncích tramvaje. Při pravostranném provozu jsou dveře uloženy v pravé bočnici u jednosměrné tramvaje (obr. 5). Z hlediska nákladů jsou jednokabinové tramvaje levnější, ale je nutný dostatečný prostor na točném. Obousměrné tramvaje (obr. 6) jsou zase nákladnější, a to nejen z důvodů obou kabin na čelech, ale také z oboustranného uložení dveřních otvorů v obou bočnicích. Kapacita cestujících může být nižší než je tomu u jednokabinových tramvajů, ale prostorové nároky na otočení tramvaje jsou minimální.



Obrázek 5 - Jednostranná tramvaj [6]



Obrázek 6 - Obousměrná tramvaj [7]

2. STAVBA SKŘÍNĚ TRAMVAJOVÉHO VOZIDLA

Nosná konstrukce neboli hrubá stavba skříně tramvajového vozidla nese zatížení umístěná nad systémem vypružení, včetně všech prvků upevněných k této hlavní konstrukci. Jednotlivé prvky se podílejí na pevnosti, tuhosti a stabilitě skříně. Konstrukce hrubé stavby byla dlouholetým vývojem postupně upravována.

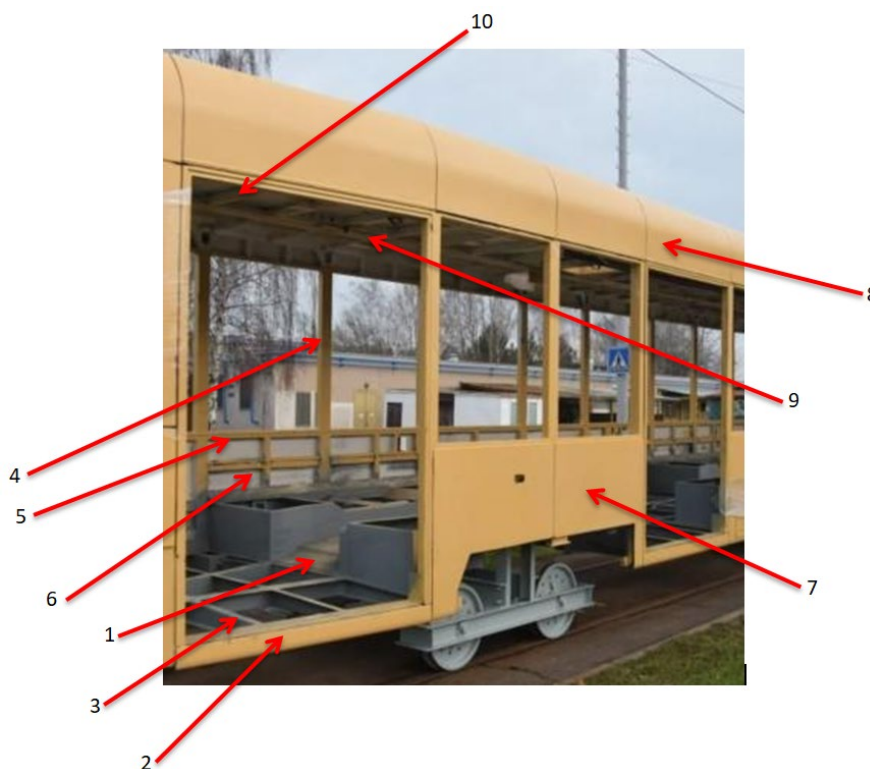
Nejprve byl ocelový, nýtovaný spodek vozidla, ke kterému byla upevněna dřevěná konstrukce bočnic, čelnic a střechy. V dnešní době jsou tramvajová vozidla vystavována požadavkům na ekologičnost, nízkou hmotnost a v hlavní řadě požadavků norem na provoz a bezpečnost. Zároveň důležitým ukazatelem je jednosměrnost a obousměrnost vozidla (viz kapitola [1.3] str. 6).

Hrubá stavba tramvajového vozidla se skládá z několika částí, (viz obrázek č. 7).

Spodek svařované konstrukce je tvořen páteřovým podélníkem (1), dvěma podélníky (2) tvaru **Z** a příčníky (3).

Bočnice se skládá ze sloupků (4), podokenních profilů (5) a z podélných profilů (6) pro upevnění sedadel. Vnější strana bočnice je pokryta obložnými plechy (7). Tyto plechy mají tloušťku 1 mm a většinou se vyrábějí z nerezového materiálu, nebo z kompozitu. Vnější obložení se pomocí lepidel připevní k hrubé stavbě skříně. Při této metodě nedochází k deformacím. Nevýhody jsou: časová náročnost a nutnost čistota prostředí.

Střecha je tvořena nadokenními profily (8), ze dvou vaznic (9), které jsou uzavřeného profilu a vnitřními profily (10). Vnitřní profily jsou otevřené, tvaru **Z**. V ose střechy mají největší rozměr a směrem k vaznicím se zužují. Tím se dosahuje šípovitého tvaru střechy, který umožňuje montáž střešní výzbroje a také po obložném plechu ze střechy stéká voda. Odvod vody je zajištěn odpadními trubkami, které se většinou nacházejí v rozích.[1]



Obrázek 7 - Hrubá stavba skříně TW team [8]

2.1 Základní požadavky na hrubou stavbu

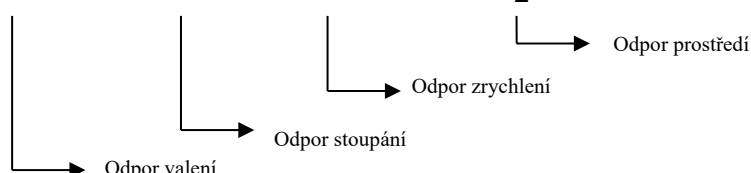
Na hrubou stavbu kolejového vozidla je kladena velká škála požadavků, ovlivňujících konstrukční stavbu. Mezi hlavní požadavky patří technické požadavky, užitečné zatížení, hlučnost, obsaditelnost apod.

2.1.1 Technické požadavky

Mezi technické požadavky lze zařadit hmotnost kolejových vozidel, která je jedním z důležitých parametrů, charakterizující technickou úroveň. Úzce souvisí s jízdním odporem a navazuje na spotřebu energií.

Výpočet jízdního odporu lze vypočítat z rovnice uvedené níže:

$$W = c_1 \cdot m \cdot g \pm s \cdot g \cdot m \pm a \cdot m \pm C_1 \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 [N] \quad (1)$$



W - jízdní odpor vozidla

$$m = (m_1 + m_2)$$

kde: m – celková hmotnost vozidla

m_1 – vlastní hmotnost vozidla

m_2 – užitečná hmotnost zařízení, cestujících nebo nákladu

c_1 – součinitel odporu valení

C_1 – součinitel odporu vzduchu

A – čelní plocha

ρ – hustota vzduchu

V rovnici se celková hmotnost vozidla vyskytuje 3x. Z toho vyplývá, že její podíl významně ovlivňuje jízdní odpor. Ve zmíněném odporu je nutné vzít v úvahu podíl rotačních hmot, který je u trakčních vozidel značný. Hmotnost hrubé stavby se pohybuje mezi 12-18 % celkové hmotnosti vozidla. [9]

Tabulka 4 - Kladené požadavky [10]

Požadavky hrubé stavby	
teplotní rozmezí	od -25 do 40 [°C]
největší šířka vozidla	2 650 [mm]
největší výška (včetně sběračů v nejnižší pracovní poloze)	3 700 [mm]
největší délka (včetně spřáhel)	18 000 [mm]
hlučnost nesmí přesahovat (stojící vozidlo)	70 [dB]
hlučnost nesmí přesahovat (jedoucí vozidlo)	75 [dB]

2.1.2 Ekonomický význam

Hmotně úsporné konstrukce se dosahuje úsporou a volbou druhu materiálu včetně konstrukčního řešení vozidla. Následně z toho vyplývá nižší spotřeba energie na výrobu, přepravu hrubé stavby při výrobě i provozu vozidla. Vozidlo s nižší hmotností způsobuje nižší opotřebení dvojkolí, kolejí a některých dalších částí kolejového vozidla.

2.1.3 Ekologický význam

Z ekologického hlediska je díky menší spotřebě materiálu, využito méně energie na výrobu polotovarů a jejich následnou přepravu. Vozidlo s úspornější hmotností konstrukce má jak je výše uvedeno nižší spotřebu energie v provozu. Výčet uvedených parametrů ovlivňuje ekologické dopady na životní prostředí.

2.1.4 Statické pevnostní požadavky

Pevnostní požadavky skříní vycházejí ze zatížení, jakému jsou skříně vystaveny a z vlastností materiálů, z nichž jsou vyrobeny. Hrubá stavba musí odolat maximálnímu zatížení dle provozních požadavků po celou požadovanou dobu provozní životnosti za běžných provozních podmínek s odpovídající pravděpodobností přežití. Musí odolat požadovaným zatížením bez trvalé deformace. Vliv poškození na provoz se musí prokázat výpočtem, nebo zkouškami.

Při hodnocení se zohledňují následující kritéria:

- výjimečná zatížení určující maximální zatížení, jakým musí odolávat konstrukce a plně udržovaný provozní stav
- rezerva bezpečnosti, při které může být výjimečné zatížení výrazně překročeno, aniž by došlo ke katastrofálnímu zničení, nebo poškození
- provozní, nebo cyklické zatížení konstrukce, kterému musí odolávat po stanovenou dobu životnosti bez snížení nároků na její bezpečnost. [9]

Tabulka 5 - Stavby zatížení [10]

Stavy zatížení	[kN]
Tlaková síla v místech uchycení nárazníků nebo spřáhel	200
Tahový síla na uchycení spřáhla	150
Maximální provozní zatížení	$1,3 \times g \times (m_1 + m_4)$
Zdvihání a zvedání ve stanovených místech na jednom konci vozidla	$1,1 \times g \times (m_1 + m_2)$

2.1.5 Odolnost kolejových vozidel proti nárazu

Mezi další požadavky u nově konstruovaných kolejových vozidel patří pasivní bezpečnost, která je popsána dle normy ČSN EN 15 227. Tato norma popisuje kolize kolejového vozidla s jiným kolejovým vozidlem, s jiným dopravním prostředkem, nebo jiným předmětem. Tyto požadavky zajišťují takovou úroveň odolnosti proti nárazu, která sníží následky nehody v případě, že opatření aktivní bezpečnosti nebyla dostatečná. Uvedená norma dělí vozidla do čtyř kategorií, které jsou uvedeny v (tab. 6).

Tabulka 6 - Konstrukční kategorie odolnosti proti nárazu u kolejových vozidel [9]

Konstrukční kategorie odolnosti proti nárazu u kolejového vozidla		
Kategorie	Definice	Příklady typů vozidel
C-I	Vozidla určená k provozu na tratích transevropské sítě, mezinárodních, národních a regionálních tratí (úrovňové přejezdy)	Lokomotivy, osobní vozy a ucelené vlakové jednotky
C-II	Městská vozidla určená k provozu pouze na vyhrazené železniční infrastruktuře, bez vazby na silniční dopravu.	Vozidla metra
C-III	Lehká železniční vozidla, určená k provozu v městské, popř. regionální síti, v provozu sdílených tratí a s vazbou na silniční dopravu.	Tramvajové soupravy, předměstská tramvaj
C-IV	Lehká železniční vozidla, určená k provozu ve vyhrazených městských sítích s vazbou na silniční dopravu.	Tramvajová vozidla

2.2 Uvažované varianty

Při konstrukci hrubé stavby patří mezi nejčastější materiály černěná ocel, nerez ocel s vyšší mezí pevnosti, hliníkové a v neposlední řadě hybridní konstrukce. Pro většinu používaných materiálů je kladen důraz, jak už bylo řečeno na hmotnost, cenu, opracovatelnost a korozní odolnost. Níže jsou popsány jednotlivé výhody a nevýhody užitých materiálů a typů konstrukcí.

2.2.1 Hrubá diferenciatní stavba z černěné oceli

Každý stavební díl vzniká spojením jednotlivých elementů. Základní částí je spodek vozu, který je složen ze vzájemně svařených podélníků a příčníků. Podélník je obvykle válcovaný, nebo ohraňovaný U, nebo Z profil, který leží po celé délce vozu. Příčníky jsou zpravidla ohraňované U profily. Uvedená konstrukce je část skříně mezi podvozky, která se skládá z bočnice a střechy. Obě části jsou tvořeny kostrou a oplechováním.

Užívá se ocel, která je pomocí černění chemicky upravena, aby byla zvýšena její korozivzdornost. Černění se provádí ponořením dílů do vroucího roztoku hydroxidu a oxidu solí o teplotě 135-145 °C. Na povrchu materiálu se vytvoří oxidový povlak modročerné až černé barvy o tloušťce 1 μm. [11]

Výhody diferenciatní stavby z černěné oceli

- Nízká cena materiálu
- Snadná opravitelnost
- Jednoduché přípravky pro svařování konstrukce
- Dobrá svařitelnost

Nevýhody diferenciální stavby z černěné oceli

- Vyšší hmotnost konstrukce
- Vysoké náklady na výrobu v důsledku velkého počtu elementů
- Nutná úprava materiálu pro lepší korozivní vlastnosti

2.2.2 Hrubá diferenciální stavba z nerez oceli

Konstrukce stavby se skládá spojením jednotlivých elementů do celku, jak bylo uvedeno výše. Použitím materiálu, jako je nerez ocel se snižují požadavky na opracování, jak tomu bylo ve variantě výše. Na druhou stranu je nerez oceli dražší v porovnání s první variantou. V poslední době se používá vysokopevnostní ocel, jako je např. Domex 700, kde mez pevnosti $Re = 700\text{MPa}$ umožní snížení tloušťky stěn profilů při zachování stejné pevnosti konstrukce. Snížení hmotnosti skříně se dosahuje snížením tloušťky materiálu a do profilů se vyřezávají otvory, což způsobuje snížení hmotnosti až o 20 %.

Výhody diferenciální stavby z nerez oceli

- Dobrá odolnost proti korozi
- Snadná opravitelnost
- Jednoduché přípravky pro svařování konstrukce
- Nižší hmotnost konstrukce

Nevýhody diferenciální stavby z nerez oceli

- Vyšší cena materiálu
- Vysoké náklady na výrobu v důsledku velkého počtu elementů
- Vyšší nároky na svařování

2.2.3 Hrubá integrální hliníková stavba

Každý stavebnicový díl se skládá z jednoho stavebního prvku. Základ konstrukce tvoří integrované, hliníkové protlačované profily. Tyto profily jsou uloženy po celé délce vozové skříně a začleňují několik funkcí. Tvoří součást nosné struktury skříně, mají v sobě začleněny prvky pro upevnění zařízení interiéru, jako jsou např. sedadla, madla a podlahy a podobně. Při výrobě je nutné brát ohled na mohutnost přípravků, z důvodu zabránění deformacím konstrukce při svařování. Z technologických důvodů je výhodné, aby bočnice byly svařeny bez okenních otvorů, a teprve po sestavení celé skříně se okenní otvory frézují.

Výhody integrální hliníkové skříně

- Nízké výrobní náklady v důsledku nízké pracnosti
- Výhodné pro automatizaci
- Komplexní vnější design díky individuálnímu návrhu profilů
- Snadná montáž vnitřního vybavení skříně, úspora nátěrových hmot a korozní odolnost

Nevýhody integrální hliníkové skříňe

- Vysoké náklady na materiál
- Náročná výrobní technologie
- Vysoké náklady na opravy [9]

2.2.4 Hrubá hybridní stavba

Každý stavební díl se skládá z jednotlivých prvků z různého materiálu. Díky moderním technologickým postupům jsou umožněny nové koncepce stavby. Ty dovolují využít vlastnosti nových materiálů pro jednotlivé prvky a konstrukční celky ve stavbě skříňí kolejových vozidel. Při spojování kompozitních materiálů jsou využívány technologické postupy pomocí studených spojů, jako jsou například lepení, šroubování a nýtování. Výhodou při spojování studenými spoji je zamezení vnitřnímu pnutí, jak je tomu u svařování. Kompozitní díly jsou využívány u tvarově složitých konstrukcí.

Výhody hybridní konstrukce

- Optimální využití specifických vlastností díky použití různých materiálů
- Při vhodné technologii jsou nízké náklady na přípravky a nářadí
- Malé deformace díky použití studených spojů
- Úspora hmotnosti

Nevýhody hybridní konstrukce

- Náročné způsoby spojování
- Obtížná recyklace materiálů
- Při kusové výrobě vysoké náklady [12]

2.3 Metody spojování hrubé stavby

Výběr vhodné metody pro spojování jednotlivých prvků hrubé stavby je podmíněn tím, z jakého materiálu bude stavba vyrobena a pevnostními požadavky na spojované součásti. Při výběru vhodné metody záleží na rozebíratelnosti spoje. V případě navrhovaného řešení budou použity spoje šroubovo-lepené z důvodu kombinovatelnosti jejich pevnosti v různých zátěžných směrech. Tyto spoje budou použity mezi bočnicemi a podlahou, střechou a bočnicí. Svarové spoje budou využity při spojování podlahové části. Z tohoto důvodu jsou níže popsány jednotlivé možnosti spojování.

2.3.1 Šroubové spoje

Patří mezi základní a univerzální konstrukční prvky, které se používají pro spojování konstrukcí, jejich částí a dílů. Spoj se skládá ze šroubu a matice, případně, nebo dvou podložek. Šroubové spoje se provádějí jako přesné, nebo hrubé podle tolerance, třecí předpjaté, nebo injektované. Šroubové spoje patří mezi rozebíratelné se silovým stykem. Přenášejí všechny druhy zatížení a jejich spolehlivost lze zvýšit konstrukční úpravou jako je např. opracováním a kolmostí dosedacích ploch, nebo větší délkou a menší průměr dříku. Existuje velké množství variant šroubových spojů závislých na kladených požadavcích spojovaných dílů obr. 8. V tomto případě je šroubový spoj namáhaný na ohyb. [13]

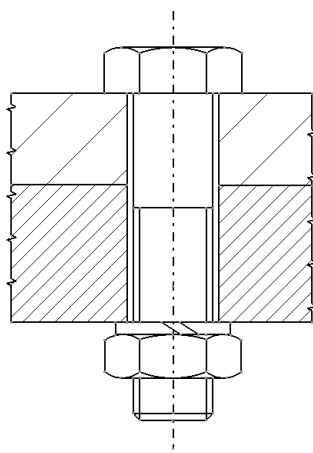
$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} \leq \sigma_{Dt} \text{ [Mpa]} \quad (2)$$

M_0 – ohybový moment

σ_0 – napětí v ohybu

W_0 – průřezový modul v ohybu

σ_{Dt} - dovolené napětí



Obrázek 8 - Šroubový spoj

2.3.2 Nýtované spoje

Nýtováním se vytváří pevné nerozebíratelné spoje plochých a nepříliš tlustých součástí v jeden celek. Spojení je způsobeno tvárnou deformací nýtu. Nýtový spoj drží pomocí tření mezi spojovacími materiály. Výhodou nýtových spojů je, že nevzniká pnutí při spojování materiálů, nízké pořizovací náklady (viz obr. 9). Nýty lze spojit součásti, které jsou přístupné jen z jedné strany. Nevýhodou spoje je nižší pevnost, vysoká pracnost a zeslabení spojovaných materiálů nýtovými dírami.



Obrázek 9 - Nýtový spoj [14]

2.3.3 Lepené spoje

Lepené spoje patří mezi pevné, nerozebíratelné spojení pomocí přídavného materiálu (viz obr. 10). Lepení je postup spojování stejných nebo různých materiálů pomocí lepidla. Využívají se tam, kde nevyhovují klasické způsoby spojování, jako jsou například spojeny vnější plochy tramvají, skel, části automobilů a jiné. U lepených spojů je nutné nejprve povrch upravit mechanicky, nebo chemicky a poté aplikovat lepidlo. Pevnost spoje je ovlivněna použitím vhodného lepidla a dodržáním správného postupu při lepení. Zároveň musí být dodržena čistota prostředí. Nevýhodou je, že lze jej namáhat pouze smykovou silou, která se vypočítá ze vztahu. (3)[12]

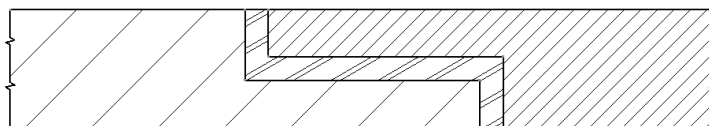
$$\tau = \frac{F_{max}}{S} [MPa] \quad (3)$$

S - plocha spoje

$$S = b \cdot l$$

b – šířka přeplátovaného spojení

l – délka přeplátovaného spojení



Obrázek 10- Lepený spoj

2.3.4 Svarové spoje

Svarové spoje patří mezi nepoužívanější a nejefektivnější pevná nerozebíratelná spojení strojních součástí. Jsou založeny na principu místního roztavení spojovaných částí za působení tepla, anebo tlaku, nebo jejich kombinací s použitím přídavného materiálu. Existuje několik metod pro svařování, jako jsou například MIG, MAG, TIG elektronové a další. Dále se svary rozdělují podle způsobu spojení spojovaných komponent např. koutový, lemový, přeplátovaný a další (viz obr. 11). [13] Výpočet svaru se vypočte z rovnice. (4) Nevýhoda svařovaného spoje je vnitřní pnutí případně pevnostní změny

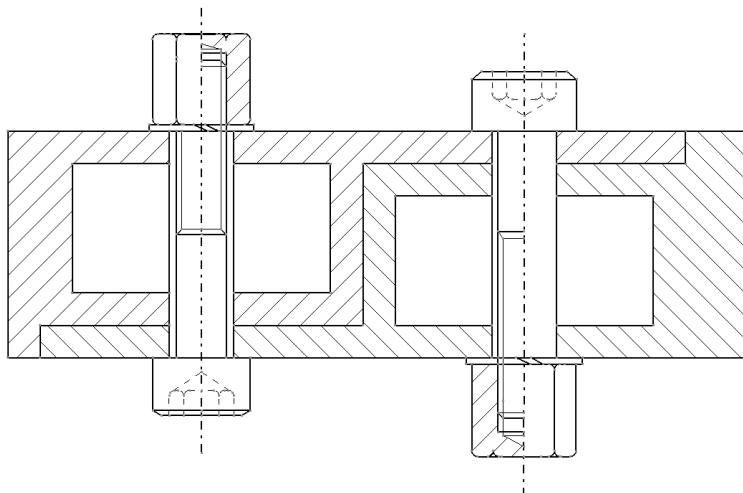
$$\sigma_0 = \frac{M_0}{W_0} = \frac{M_0}{\frac{1}{6} \cdot t \cdot l^2} \leq \sigma_{Dsv} \quad (4)$$



Obrázek 11- Svarový spoj

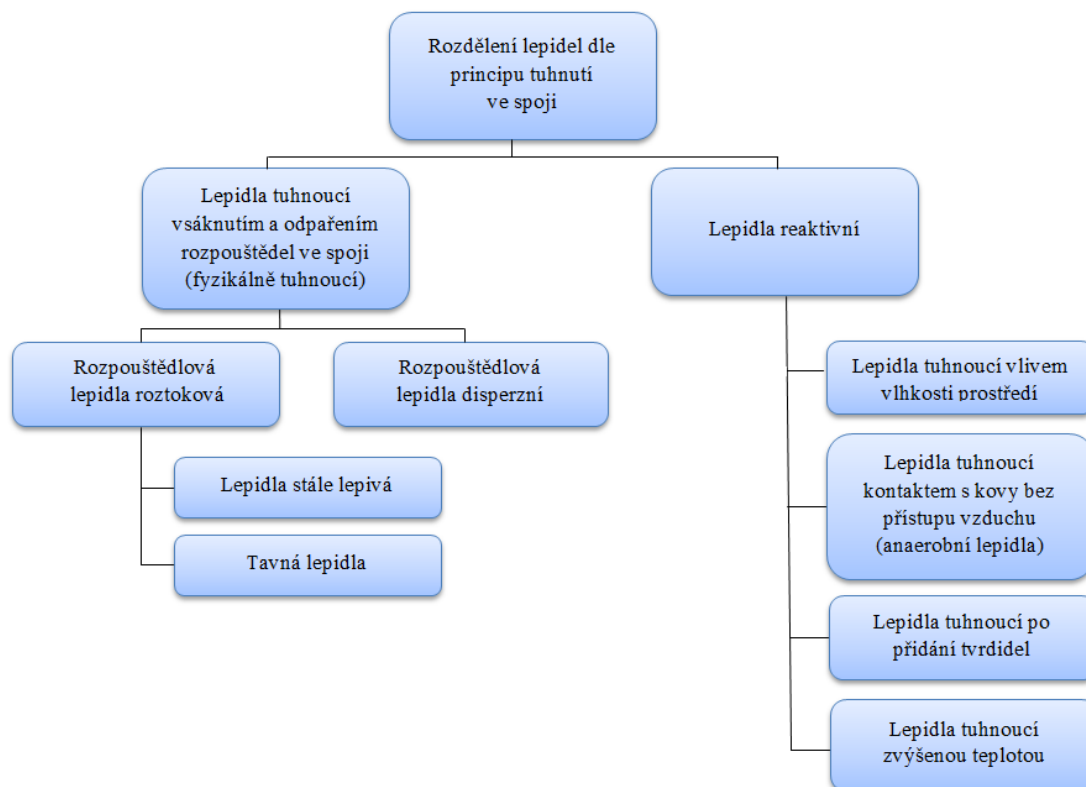
2.3.5 Lepeno-šroubový spoj

Lepeno-šroubový spoj je pevný a nerozebíratelný, kombinuje vlastnosti obou spojení. Tento spoj lze namáhat jak v podélném, tak v příčném směru. Mezi výhody patří spojovatelnost nesvařitelných materiálů. Při spojení nevzniká vnitřní pnutí, jak je tomu tak u svařování. Plochy spoje je nutné předem upravit chemicky nebo mechanicky. [12]



Obrázek 12 - Lepeno- šroubový spoj

2.3.6 Základní rozdělení lepidel



Obrázek 13 - Rozdělení lepidel dle principu tuhnutí ve spoji [15]

Rozdělení lepidel podle chemické báze

- Lepidla na přírodní bázi
- Lepidla anorganického a minerálního původu (vodní sklo, asfaltová, fosfátová a metalická, keramická, silikáty atd.)
- Lepidla organického původu (glutinová, kaseinová, škrobová lepidla atd.)
- Lepidla na syntetické bázi (epoxidová, polyuretanová, akrylová lepidla, silikony atd.)

2.3.7 Volba lepidla

Volba vhodného lepidla je důležitá pro správnou soudržnost lepených materiálů. Závisí na druhu lepeného materiálu, provozních předpokladech a vlastnostech spoje, jako jsou například odolnost proti vlhkosti, tepelná odolnost a mechanické vlastnosti. V tomto případě bude spojován kompozitní materiál bočnice s ocelí. Pro lepení těchto dvou materiálů je vhodné použít anaerobních lepidel s aktivátorem. Pro spojení je nutné dodržet minimální šířku spoje, která je 2,5 až 3 mm z důvodu zamezení přístupu vzduchu do spoje. Důležitá je následná fixace. Doba vytvrzení spoje se pohybuje okolo 6 až 12 hodin. Používaná anaerobní lepidla jsou Loctite 243, Loctite 603, Loctite 577, Bison Lock Bond a další. [12]

2.4 Kompozitové materiály

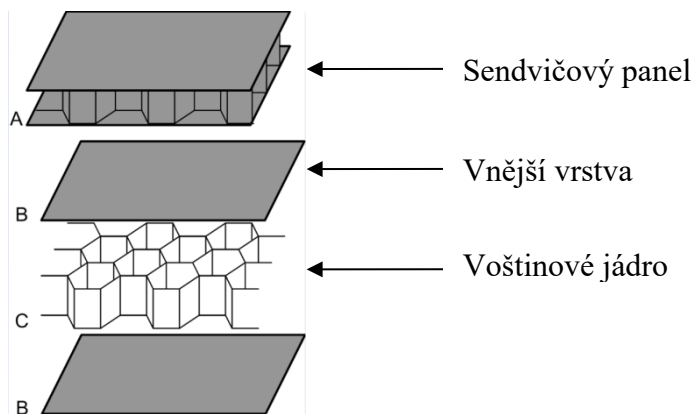
Materiál je složen ze dvou nebo více složek, jehož výsledné vlastnosti jsou lepší než vlastnosti jednotlivých částí. Skládá se z matrice a výztuže. Matrice je spojitá část, která drží materiál pohromadě a výztuž vyztužuje kompozitní materiál. Kompozity jsou v současnosti stále více používány především pro své dobré mechanické vlastnosti, vyšší mezi únavy v porovnání s kovy. Jejich hmotnost při zachování stejných vlastností je nižší než u kovů. Mezi další výhody patří snadná výroba složitých tvarů a odolnosti proti korozi. V současnosti se kompozity využívají pro stavbu externích dílů, jako jsou kabiny pro řidiče, části podvozku, vnější panely, sedačky nebo pro podlahy. Výroba těchto materiálů je různorodá, v České republice se nejčastěji využívá kontaktní laminace.

2.4.1 Kontaktní laminace

Technologie je daná prosycováním suché výztuže pojivem v tekuté formě. Prosycování je provedeno štětcem či válečkem. Poté následuje vytvrzení, které je provedeno pod plachetkou, kdy jsou jednotlivé struktury stlačovány přetlakem o velikosti vnější atmosféry 98 kPa. Pojiva mohou být polyestery, epoxidy, bismaleinimidová a nebo fenolická. Výztuže se používají ve formě dlouhých vláken. V kolejové praxi se více používají E-skla a nebo uhlíková vlákna, jiná vlákna jsou zbytečná pro svoji vysokou cenu.

2.4.2 Sendvičová jádra

Sendvič je zvláštní druh kompozitu, který se skládá ze dvou vnějších vrstev, které překrývají mezivrstvu (jádro) z lehkého materiálu. Vnější části jsou tenké, ale tuhé, vnitřní vrstva je silnější, ale zpravidla je méně pevná. Sendvič je zatěžován tažnými a tlakovými silami na vnější vrstvy a vnitřní vrstva musí odolávat smykovému zatížení. Mezivrstva je obvykle z voštin, lehkého dřeva nebo z polymerních pěn. Na (obr. 14) je schéma sendvičového kompozitu.



Obrázek 14 - Schéma sendvičového kompozitu

Při výrobě kolejových vozidel je jedním z nejčastějších používaných materiálů pro výrobu lehkých jader sendvičových dílů voštinové jádro. Jádro se dodává v několika variantách tvaru, velikosti a hustotě buněk. Nejčastější používaný tvar jádra je hexagonální. Materiál voštinových jader je nejvíce používaný aramidový papír napuštěný fenolickou pryskyřicí. [12]

2.5 Zhodnocení uvedených variant

V této kapitole se pomocí zvolené metody určí výsledná varianta, se kterou bude dále pracováno. Jednotlivé varianty pro zpřehlednění jsou označeny písmeny (viz. tab. 7). Pro lepší názornost bude výsledek metody zobrazen v grafu.

Tabulka 7 - Označení variant

Označení	Název varianty
A	Hrubá diferenciální stavba z černěné oceli
B	Hrubá diferenciální stavba z nerez oceli
C	Hrubá integrální hliníková stavba
D	Hrubá hybridní stavba

2.5.1 Metoda výběru vhodné varianty

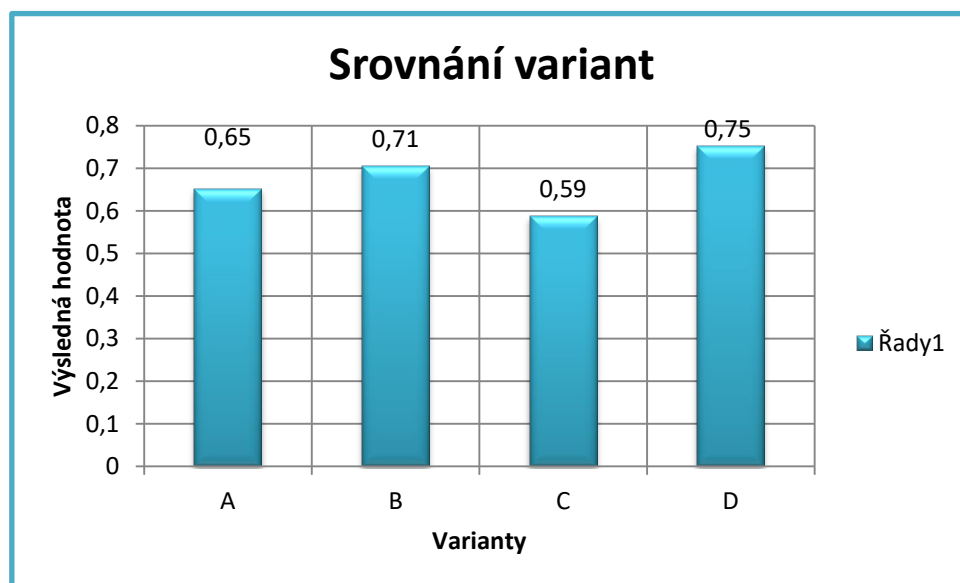
Vybrané varianty budou bodově ohodnoceny. V prvním kroku se určí několik kritérií, jako jsou např. hmotnost, náklady, pracnost vyrobiteľnosť apod. Těmto kritériím bude udělena váha důležitosti. Váhu volíme od jedné do pěti s tím, že nejmenší váhové kritérium bude ohodnoceno jedním a nejvýše pěti body. K váze se přiřadí relativní váha důležitosti, která udává, jak je daná oblast důležitá oproti ostatním. Čím vyšší tato hodnota bude, tím vyšší hodnotu bude mít dané kritérium. Relativní váha bude ohodnocena opět body od jedné do pěti. Relativní váha důležitosti bude následně vynásobena vahou varianty. Výsledná suma dané varianty bude vydělena ideální variantou, ke které se chceme přiblížit. V (tab. 8.) je uvedeno srovnání jednotlivých variant. V (tab. 9.) je uvedena legenda k (tab. 8).

Tabulka 8 - Srovnání jednotlivých variant

Kritérium	Váha Varianty	Varianty									
		A		B		C		D		Ideál	
		HK	CH	HK	CH	HK	CH	HK	CH	HK	CH
Náklady na konstrukci	4	5	20	4	16	3	12	2	8	5	20
Hmotnost konstrukce	5	2	10	3	15	3	15	5	25	5	25
Pracnost	3	3	9	3	9	3	9	3	9	5	15
Odolnost konstrukce	4	3	12	4	16	3	12	5	20	5	20
Náročnost	3	5	15	4	12	3	9	3	9	5	15
Vyrobiteľnosť	3	3	9	3	9	2	6	1	3	5	15
Spojiteľnosť materiálů	2	5	10	4	8	4	8	5	10	5	10
Vyměnitelnost dílů	2	4	8	4	8	2	4	5	10	5	10
Pevnost	3	2	6	3	9	3	9	5	15	5	15
Ekologičnosť	2	3	6	3	6	2	4	2	4	5	10
Inovativnost	3	2	6	4	12	4	12	5	15	5	15
		Σ	111	Σ	120	Σ	100	Σ	128	Σ	170
		VH	0,65	VH	0,71	VH	0,59	VH	0,75	VH	1

Tabulka 9 - Legenda k tab. 5

HK	Hodnota kritéria
CH	Celková hodnota
VH	Výsledná hodnota



Graf 1 - Srovnání jednotlivých variant

Z grafu vyplývá, že nejlépe odpovídá požadavkům hybridní skříň (v tomto případě varianta označená písmenem D). Uvedená varianta získala nejvíce bodů u hmotnosti, odolnosti, spojitelnosti dílů, vyměnitelnosti, pevnosti a inovativnosti konstrukce.

V současnosti jsou kladeny velké nároky na hmotnost konstrukce, která se díky kompozitové skříni zásadně sníží. Vlivem užití lepeno-šroubového spoje bude obtížná rozebíratelnost, vyšší náklady na vyrobitelnost a ekologičnost konstrukce. Kompozitové materiály jsou vyrobeny z dvou či více materiálů, které půjdou od sebe špatně separovat a následně ekologicky zlikvidovat. Při výrobě hybridní skříně jsou využívány nové technologie, které se pro kusovou výrobu po finanční stránce nevyplácí.

3. VLASTNÍ NÁVRH

Návrh skříně tramvajového vozidla vychází z analýzy stávajících konstrukčních řešení. V analýze byly porovnávány jednotlivé parametry tramvají, jako jsou hmotnost vozidla, použité materiály, rozměrové údaje a náklady na stavbu. Nejvýhodnějším konstrukčním řešením byla zvolena jednočládková tramvaj. Řešení je vhodné pro menší města s nižší hustotou obyvatel. Koncept je konstruována s jednou kabinou řidiče.

3.1 Obrys pro vozidla

Obrys vozidla je tvořen jeho základní, spodní a sběračovou částí v rovině příčného průřezu. Vymezuje dovolené vzdálenosti všech bodů na povrchu vozidel od osy obrysu pro vozidla a zároveň od spojnice temen kolejnicových pásů.

3.1.1 Základní část

Základní část jednočládkové tramvaje se nachází mezi oběma podvozky. Uložení zajišťuje snížení úrovně podlahy výhodné pro rychlejší nástup a výstup cestujících. Výška podlahy byla navržena 350 mm od temene kolejnice. K určení jednotlivých velikostí bylo vycházeno z normy *ČSN 28 0318 Průjezdne průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových drahách*. Řešení vychází ze skici obrysu vozidla v přímé koleji. Obrys udává maximální možné rozměry vozidla, mezi které patří spodní vymezení obrysu, horní vymezení obrysu a sběračová část.

3.1.2 Spodní vymezení obrysu

Vymezuje vzdálenosti od spojnice temen kolejnic při maximálním ojetí obručí kol pro:

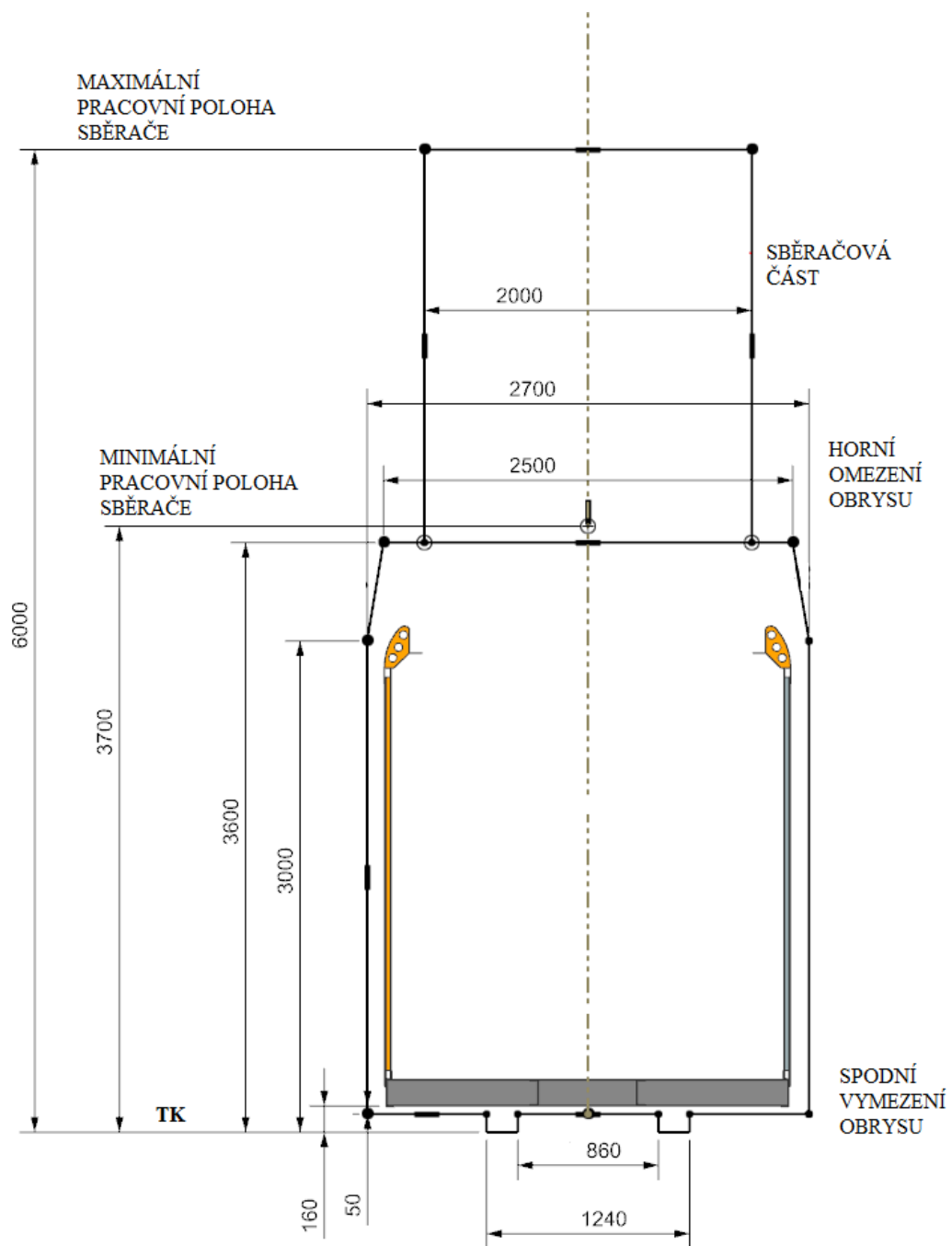
- a) základní část obrysu
- b) obrys pro neodpružené součásti
- c) obrys pro ochranné rámy a zařízení

3.1.3 Horní vymezení obrysu

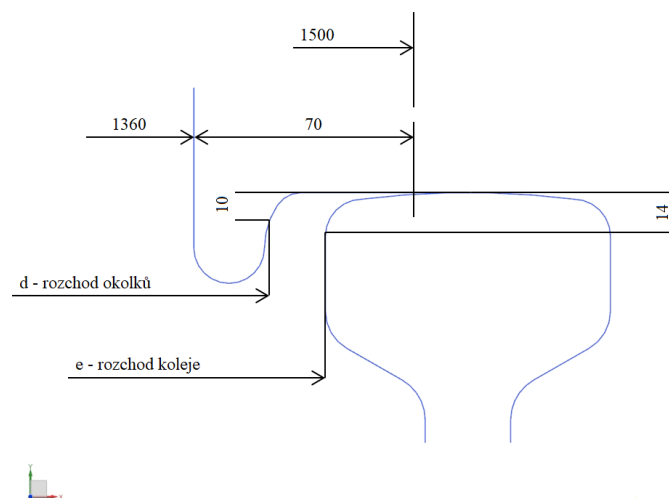
Udává výšku nejpříznivěji zatíženého a maximální výšku prázdného vozidla s novými obručemi kol. Tato vzdálenost je určovaná od temene kolejnice. Součástí daného vymezení jsou sběračová a horní část základní části obrysu vozidla. O nejpříznivěji zatíženém vozidle se hovoří, když zátěž v podélném směru vyvolává kladné i záporné deformace vypružení.

3.1.4 Sběračová část

Z vrchního trakčního vedení je určena pracovní výška sběračů a šířka hlavice viz (obr. 15). V této části je vymezena nejvyšší a nejnižší pracovní poloha sběrače. Zajištěný a stažený sběrač musí být 100 mm pod úrovní nejnižší pracovní polohy sběrače. Do popisované části nesmí zasahovat žádná součást vozidla. [17]



Obrázek 15- Obrys pro vozidla v přímé koleji



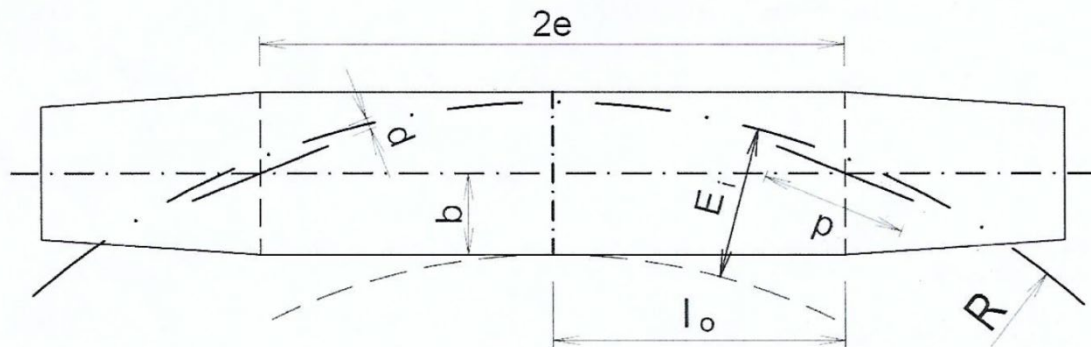
Obrázek 16 - Styk kola s kolejnicí v přímé koleji

3.2 Výpočet vybočení

Při výpočtu kinematického zúžení vozidla se vycházelo z diplomové práce pana Petra Bláhy studenta Západočeské univerzity v Plzni: *Studie podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo*. Z této práce byly využity parametry podvozku, na který bude skříň tramvajového vozidla posazena. Druhým zdrojem pro výpočet byla norma ČSN 28 0318 Průjezdné průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových dráhách. Dále bylo vycházeno z parametrů dosavadních jednočlánekových vozidel, které jsou ve vozových parcích měst České republiky. [17],[18]

Výchozí parametry

Poloviční vzdálenost otočných čepů:	$e = 3\,500\text{ mm}$
Celková délka vozidla:	$L = 16\,300\text{ mm}$
Rozvor podvozku:	$p = 1\,800\text{ mm}$
Poloměr směrového oblouku:	$R = 20\,000\text{ mm}$
Šířka vozidla:	$2b = 2\,480\text{ mm}$
Maximální radiální posuv otočného čepu:	$d = 48\text{ mm}$
Poloviční šířka pro vozidlo:	$k = 1\,350\text{ mm}$
Rozšíření obrysu pro vnitřní strany oblouku:	$\delta_i = 380\text{ mm}$
Rozšíření obrysu pro vnější strany oblouku:	$\delta_a = 650\text{ mm}$
Vzdálenost vyšetřovaného bodu na povrchu skříně:	$b = 700\text{ mm}$

Vnitřní vybočení

Obrázek 17 - Vybočení vozidla na vnitřní straně oblouku

Použité symboly

l_0 - vzdálenost vyšetřovaného bodu na povrchu skříně vozidla, měřená od roviny příčného průřezu procházející otočným čepem

E_i - vzdálenost vyšetřovaného bodu na povrchu skříně vozidla, měřená od osy obrysu pro vozidla dovnitř směrového oblouku mezi jeho otočnými čepy

- vyšetřované místo:

$$l_0 = e = 3\,500 \text{ mm}$$

- podmínka:

$$E_i \leq k + \delta_i \quad (5)$$

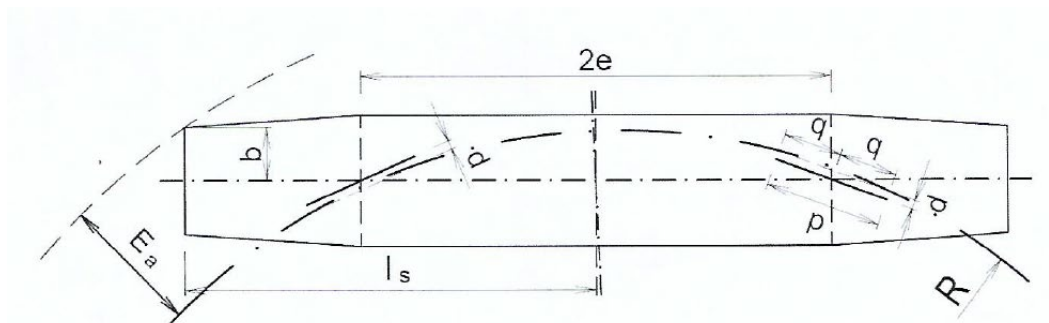
$$k + \delta_i = 1\,350 + 380 = 1\,730 \text{ mm} \quad (6)$$

$$1\,614.5 \leq 1\,730$$

- vnitřní vybočení:

$$E_i = \frac{2 \cdot e \cdot l_0 - l_0^2}{2 \cdot R} + d + \frac{p^2}{8 \cdot R} + b \quad (7)$$

$$E_i = \frac{2 \cdot 3\,500 \cdot 3\,500 - 3\,500^2}{2 \cdot 20\,000} + 48 + \frac{1\,800^2}{8 \cdot 20\,000} + 1240 = 1\,614,5 \text{ mm}$$

Vnější vybočení:

Obrázek 18 Vybočení vozidla na vnější straně oblouku

Použité symboly

$l_{s1/2}$ - vzdálenost vyšetřovaného bodu na povrchu skříně vozidla, měřená od roviny příčného průřezu procházející otočným čepem

q - poloviční rozvor podvozku

d_a - poměrná vůle

E_a - vzdálenost vyšetřovaného bodu na povrchu skříně vozidla, měřená od osy obrysu pro vozidla vně směrového oblouku mezi jeho otočnými čepy

- vyšetřované místo:

$$l_{s1} = a + e = 4\,050 + 3\,500 = 7\,550 \text{ mm} \quad (8)$$

$$l_{s2} = c - b - a + e = 15\,100 - 7\,000 - 4\,050 + 3\,500 = 7\,550 \text{ mm} \quad (9)$$

$$q = \frac{p}{2} = \frac{1\,800}{2} = 900 \text{ mm} \quad (10)$$

$$b^* = 700 \text{ mm}$$

$$d_a = \frac{d}{e} = \frac{48}{3\,500} = 0,0137 \quad (12)$$

- vnější zúžení:

$$E_a = \sqrt{R^2 + b^{*2} + l_s^2 - q^2 - e^2 + e^2 \cdot d_a^2 + 2 \cdot l_s \cdot d_a \cdot \sqrt{R^2 - q^2} + 2 \cdot b^* \cdot \sqrt{R^2 - q^2 - e^2} \cdot \sqrt{1 - d_a^2}} - R \quad (13)$$

$$E_{a1} = \sqrt{20^2 + 0,7^2 + 7,55^2 - 0,9^2 - 3,5^2 + 3,5^2 \cdot 0,0137^2 + 2 \cdot 7,55 \cdot 0,0137 \cdot \sqrt{20^2 - 0,9^2} + 2 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{20^2 - 0,9^2 - 3,5^2} \cdot \sqrt{1 - 0,0137^2}} - 20$$

$$E_{a2} = \sqrt{20^2 + 0,7^2 + 7,55^2 - 0,9^2 - 3,5^2 + 3,5^2 \cdot 0,0137^2 + 2 \cdot 7,55 \cdot 0,0137 \cdot \sqrt{20^2 - 0,9^2} + 2 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{20^2 - 0,9^2 - 3,5^2} \cdot \sqrt{1 - 0,0137^2}} - 20$$

- podmínka:

$$E_a \leq k + \delta_a \quad (14)$$

$$k + \delta_a = 1\,350 + 650 = 2\,000 \text{ mm}$$

$$1\,472,4 \leq 2\,000$$

$$1\,472,4 \leq 2\,000$$

3.3 Výpočet obsaditelnosti vozidla

Obsaditelnost vozidla se vypočte dle normy ČSN 28 1300. Závisí na celkové užitečné ploše pro cestující. Obsaditelnost vozidla závisí s celkovou užitečnou plochou pro cestující. Jedná se o největší plochu půdorysu vnitřního prostoru vozidla zmenšeného o půdorysné plochy, které jsou: prostor pro řidiče, prostory schodů a části vozidla zasahující do výše uvedeného prostoru více než 100 mm, měřeného od okraje největšího půdorysu vnitřního prostoru vozidla. Vypočte se součtem průmětů sedáků vozidla do jeho podlahové plochy a části podlahové plochy přes sedáky, určené pro nohy sedících cestujících. Není-li podlahová plocha vymezena pro nohy uspořádáním sedadel, počítá se jako plocha před sedáky učená jejich šířkou a přesahem rozměru 750 mm pro sedícího cestujícího a 1050 mm pro cestujícího se sníženou schopností pohybu a orientace. Celková užitečná plocha vozidla byla spočtena dle rozměru tramvaje na 30 m² rovnice. (15)

$$S_{st} = S_u - (S_{sed} \cdot n) - (S_{sed\ in} \cdot n_{in}) \quad (15)$$

S_{st} užitečná plocha pro cestující

S_u celková užitečná plocha pro cestující

S_{sed} užitečná plocha pro sedící cestující

n počet sedadel pro sedící cestující

$S_{sed\ in}$ užitečná plocha pro sedící cestující se sníženou schopností orientace a pohybu

n_{in} počet sedadel pro sedící cestující se sníženou schopností orientace a pohybu

Obsaditelnost vozidla

$$N = N_{sed} + 5 \cdot S_{st} \quad (16)$$

Maximální obsaditelnost vozidla

$$N_{max} = N_{sed} + 8 \cdot S_{st} \quad (17)$$

Užitečné zatížení

$$G = N \cdot 0,7 \quad (18)$$

Maximální zatížení

$$G_{max} = N_{max} \cdot 0,7 \quad (19)$$

Tabulka 10 - Výsledky výpočtů

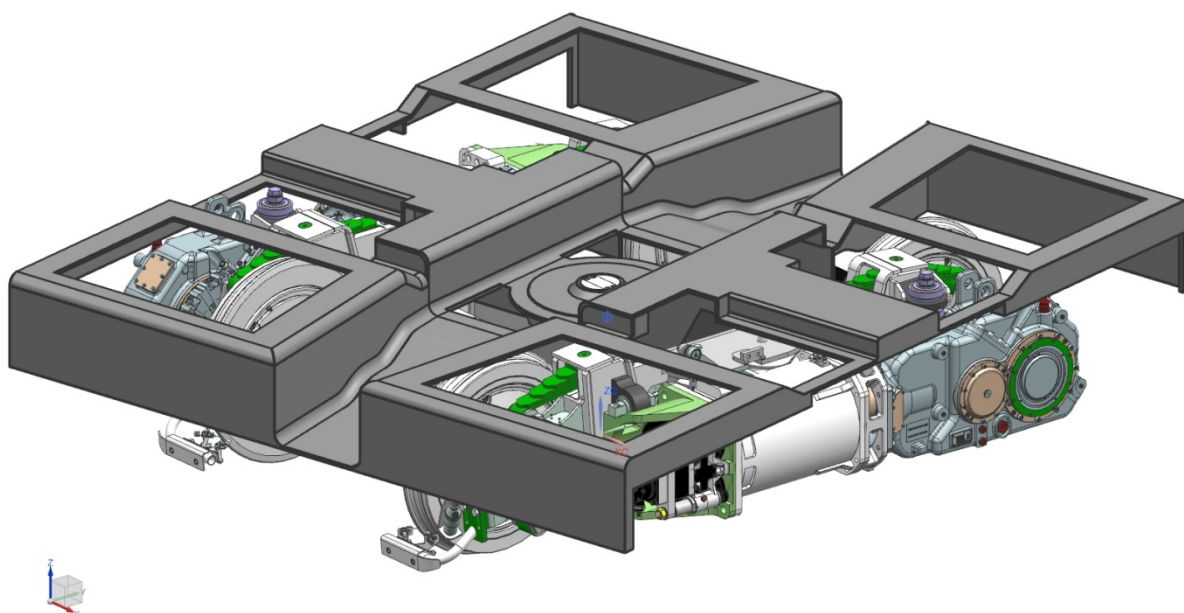
N	obsaditelnost vozidla
N_{sed}	celkový počet míst k sezení
N_{max}	maximální obsaditelnost vozidla
G	užitečné zatížení
G_{max}	maximální užitečné zatížení

Výsledné hodnoty		
S_{st}	21	[m ²]
N	130	[os]
N_{max}	193	[os]
G	91	[kN]
G_{max}	135,1	[kN]

3.4. Konstrukční díly tramvaje

3.4.1 Nadpodvozková část

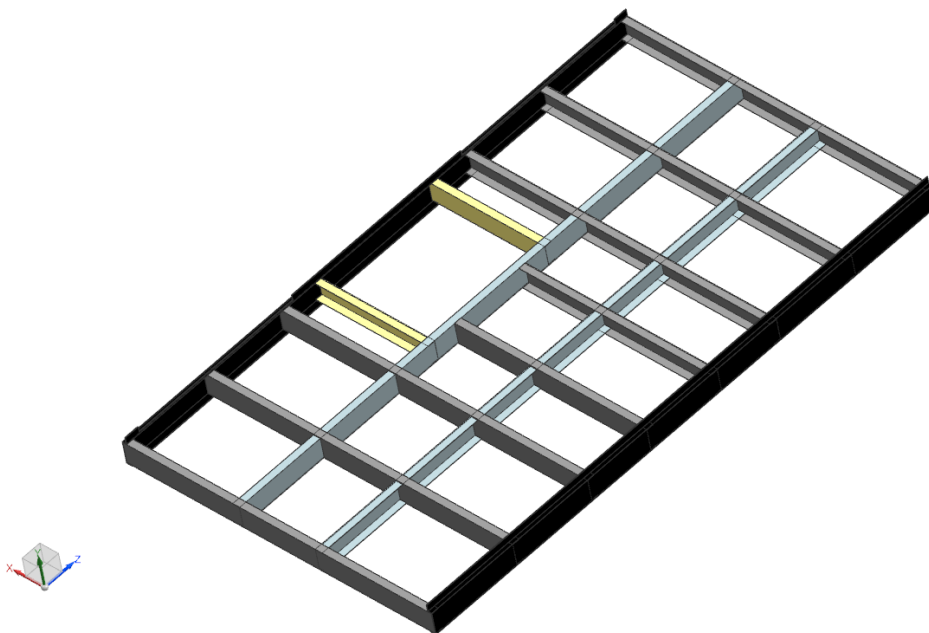
Nadpodvozková část je navržena z materiálu DOMEX 700. Tento materiál je vysokopevnostní nerezová ocel s $Re = 700$ MPa. Jednotlivé komponenty se skládají z vylisovaného plechu o tloušťce 10 mm, které jsou přivařeny k příčníku, který je spojen s kolébkou podvozku pomocí otočného čepu. Tato část má délku 2800 mm a šířku 2460 mm, na kterou se Z profil přivaří. Tím je provedena vazba mezi bočnicí a podvozkovou částí. Z profil má tloušťku 5mm. Pro zajištění nízké hmotnosti a otočení dvojkolí v oblouku jsou v plechu vystřiženy čtvercové a obdélníkové otvory. Nevýhodou nízkopodlažního podvozku je úzká ulička pro pohyb cestujících mezi dvojkolím. Šířka uličky, která je pouhých 340 mm byla limitována otočením dvojkolí o 12°.



Obrázek 19 - Nadpodvozková část otočená o 12°

3.4.2 Část mezi podvozky

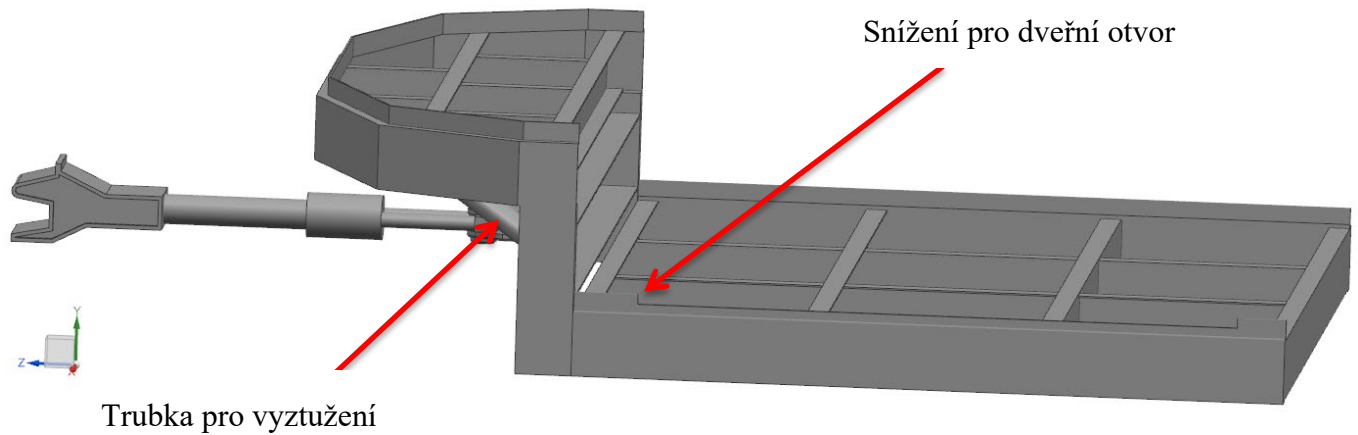
Střední díl je tvořen dvěma **Z** profily, které tvoří podélnou kostru, a **U** profily. **U** profily spojují přespříč **Z** profily. Materiál profilů je DOMEX 700. Střední díl mezi podvozky je nízkopodlažní a umožňuje rychlejší a pohodlnější nástup a výstup cestujících. Na **Z** profil jsou pomocí lepeno-šroubového spoje připevněny bočnice. Délka **Z** profilů je 4240 mm a šířka **U** profilů je 2460 mm



Obrázek 20 - Díl mezi podvozky

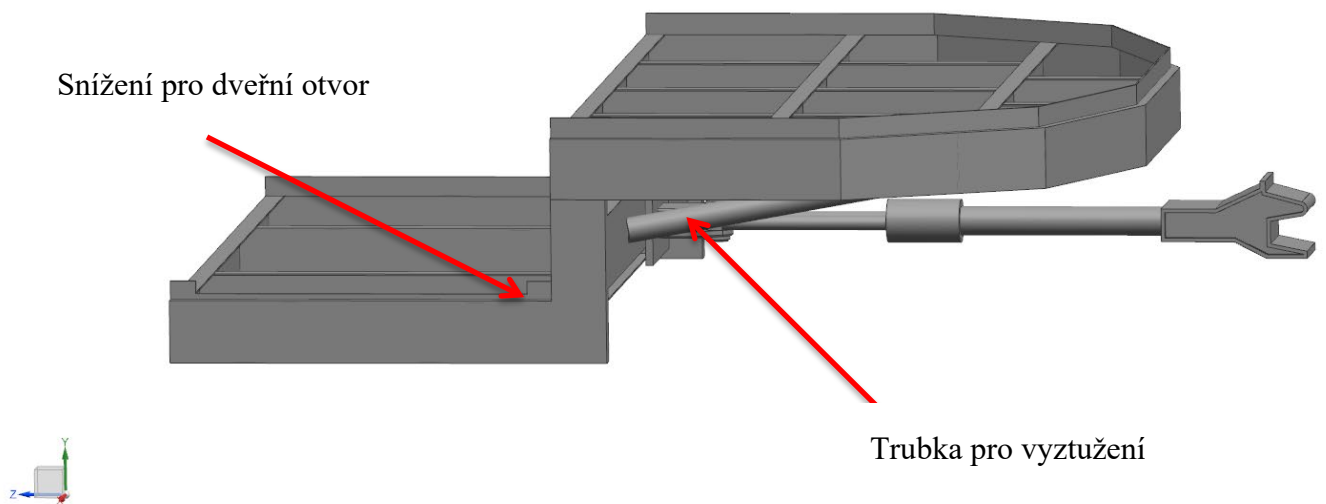
3.4.3 Zadní část

Zadní část podvozku je navržena ze **Z** profilů a **U** profilů. Z pravé strany je **Z** profil snížen ve dveřním prostoru. Zakončení podlahy tramvaje je z ohnutého profilu **Z**. K čelu zadní části podvozku je přivařeno spřáhlo. Vyvýšená část je vyztužena dvojicí ocelových trubek (viz 20).



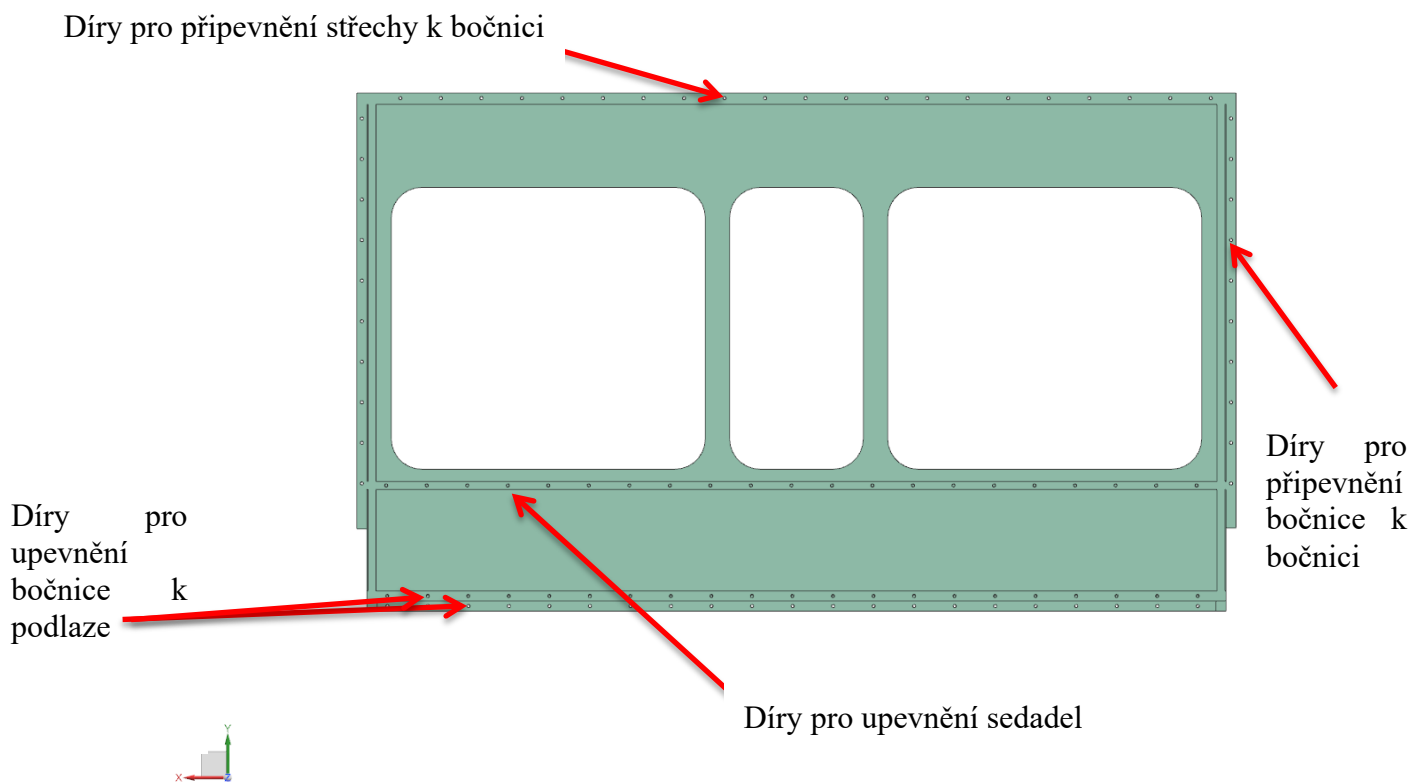
3.4.4 Podlaha pod kabinou řidiče

Celý díl se skládá ze **Z** profilů na obou krajích a **U** profilů, které podlahu vyztužují. Vyvýšená část je pomocí dvojice trubek vyztužena. Ke konstrukci byla použita ocel DOMEX 700. V oblasti dveřních otvorů je **Z** profil snížen. Všechny podlahové díly jsou k sobě svařeny.

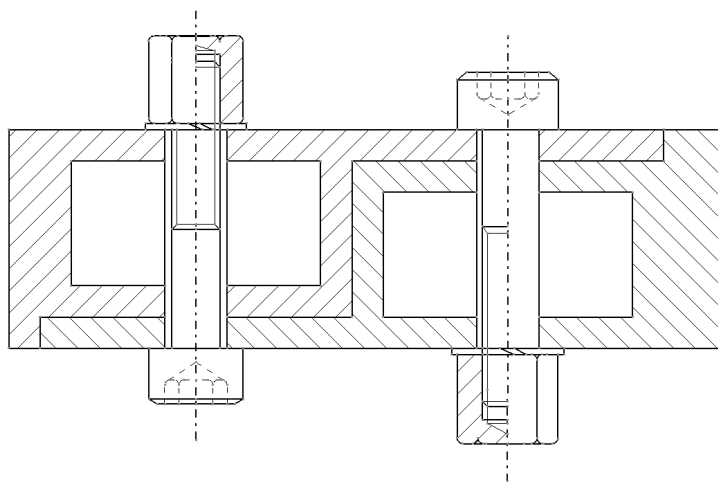


3.4.5 Bočnice

Bočnice jsou ze sendvičového kompozitu (viz obr. 22) složené ze dvou vnějších vrstev, které překrývají jádro (mezivrstva) obvykle z měkkého materiálu. Vnější vrstvy mají šířku 5mm. Vnitřní část je tvořena voštinovým jádrem o šířce 30 mm. Ve výšce 600 mm od podlahy je v bočnici vložený ocelový čtvercový profil, na který jsou v jedné řadě připevněna sedadla pro cestující.



Obrázek 23 - Bočnice

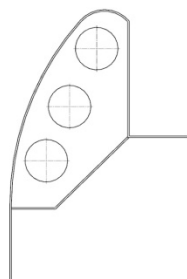


Obrázek 24 - Připojení bočnic

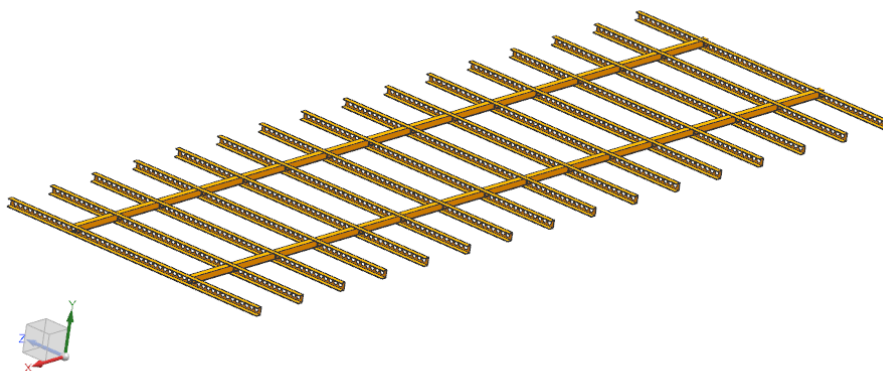
Z obrázku (č. 23) je ukončení bočnice na bocích, které umožňuje připojení bočnic, podlahy a střechy do jednoho celku.

3.4.6 Střešní komponenty

Střecha se skládá ze tří dílů: tvarovaného plechu na koncích střechy, střední část a vlnitého plechu. Tvarovaný plech je spojen s bočnicí, jeho tvar umožňuje lepší odvod vody ze střechy. Je vyztužen žebry, ve kterých jsou kruhové otvory pro snížení hmotnosti dílu. Střední část je tvořena podélníky a příčnicí, její funkce je vyztužit střechu. V příčnicích jsou vypáleny otvory. Vlnitý plech zakrývá střední část střechy.



Obrázek 25 - Tvarový plech



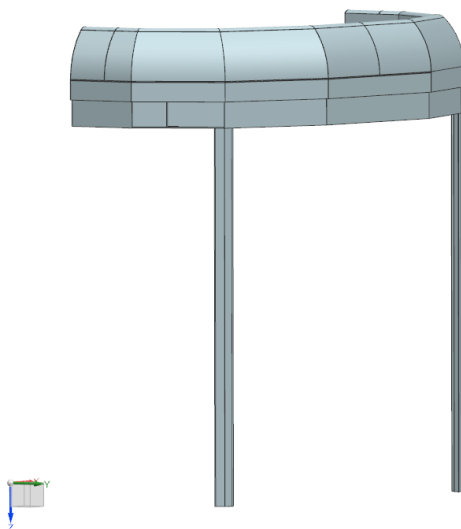
Obrázek 26 – Střední část střechy



Obrázek 27 - Vlnitý plech

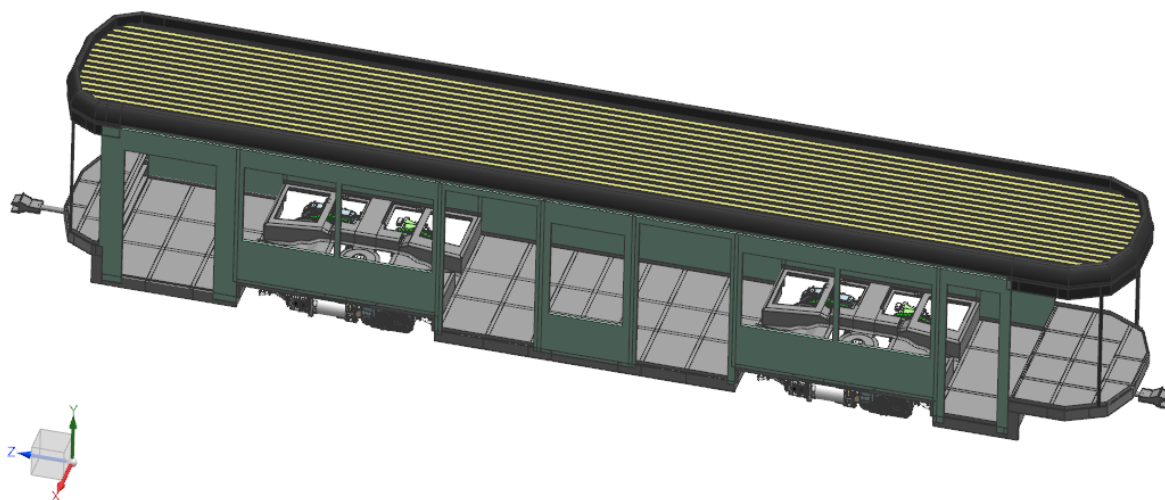
3.4.7 Čelo tramvaje

Čelo je tvořeno **Z** profilem, na který je přivařen tvarový plech. Ze **Z** profilu vedou dva profily, které spojují střešní a podlahovou část tramvaje. Celek je z materiálu DOMEX 700.



Obrázek 28 - Čelo tramvaje

Na obr. 29 je znázorněná koncepce hrubé stavby, která se skládá z výše popsaných dílů. Hrubá stavba má délku 15100 mm a šířku 2480 mm. Hrubá stavba se skládá z podlahové části, která je z materiálu DOMEX 700, sendvičových bočnic, čel na obou koncích stavby a střešní části. Celková délka skříně s nárazníky je 16 300 mm. Váha skříně je 8 950 kg.



Obrázek 29 - Hrubá stavba

4. PEVNOSTNÍ VÝPOČET

Pevnostní výpočet byl proveden dle normy ČSN 12663-1 na celou hrubou stavbu z důvodu nesymetričnosti modelu. Bylo použito statického výpočtu, kde zatěžující a okrajové podmínky jsou uvedeny v tab. 11. Idealizovaný model byl rozdělen na několik částí, podle odlišných parametrů na zasítování (viz tab.12). V (tab. č. 13) jsou rozděleny zvolené sítě 3D modelu. Výpočet je proveden v programu NX Nastran, kde byl zasítován a byly zde určeny okrajové podmínky. [19]

Tabulka 11 - Okrajové podmínky

Zatěžující stav	Poloha
F= 200kN	podélná síla v ose spřáhel
F=1,3gx(m1+m4)	svislé zatížení od cestujících
kombinace obou předchozích	podélní a svislé zatížení

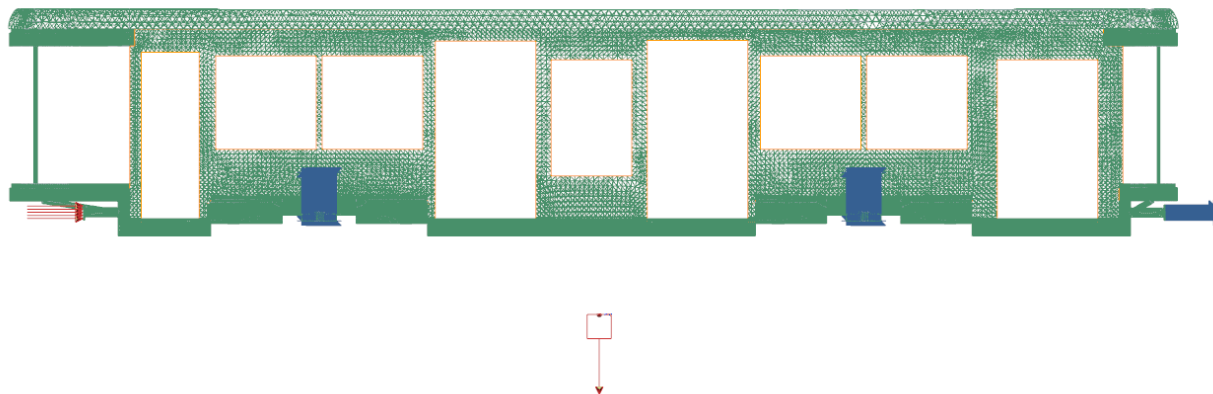
Tabulka 12 - Rozdělení sítě

druh sítě	díly modelu
2D síť	Z- profily podlahy
	U- profily podlahy
	střecha
	skořepina bočnice
3D síť	čela tramvaje
	voštinové jádro
	podvozková část
	spřahadla

Tabulka 13 - Použité materiály

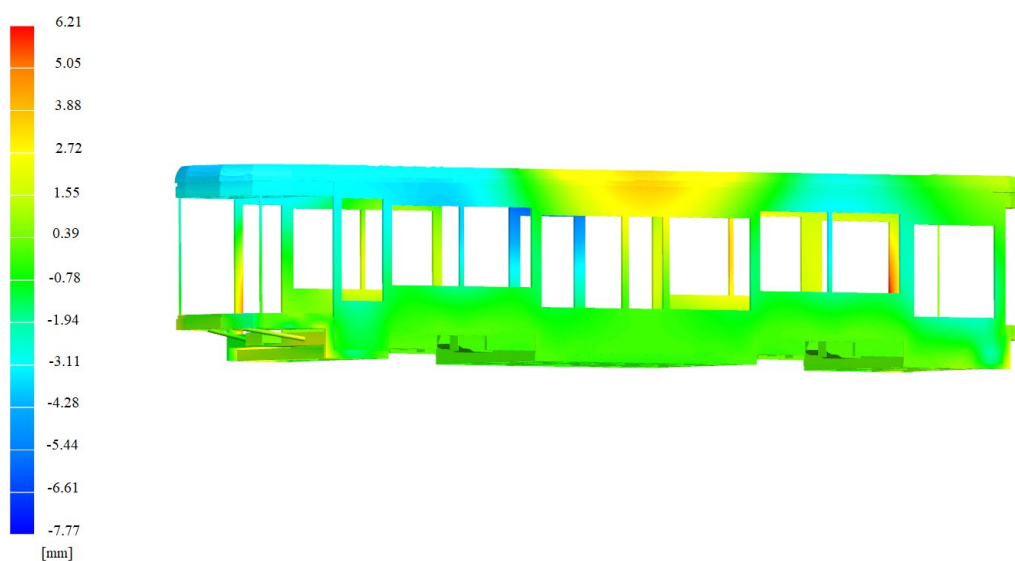
Vlastnosti použitých materiálů	
domex 700 - podlaha	
modul pružnosti [MPa]	E=2.10e ⁵
Poissonova konstanta [-]	v=0.3
kompozitová skořepina - bočnice	
modul pružnosti [MPa]	E=1.97e ⁴
Poissonova konstanta [-]	v=0.31
voštinové jádro - bočnice	
modul pružnosti [MPa]	E=2.6e ¹
Poissonova konstanta [-]	v=0.35

První výpočet byl proveden na podélné statické zatížení vozidla. Vozidlo bylo uchyceno v místě spřáhla proti posunu a další upevnění bylo v oblasti podvozku. Dle normy byla uvažovaná síla tlaková o velikosti 200 kN a přidána gravitační síla vozidla.



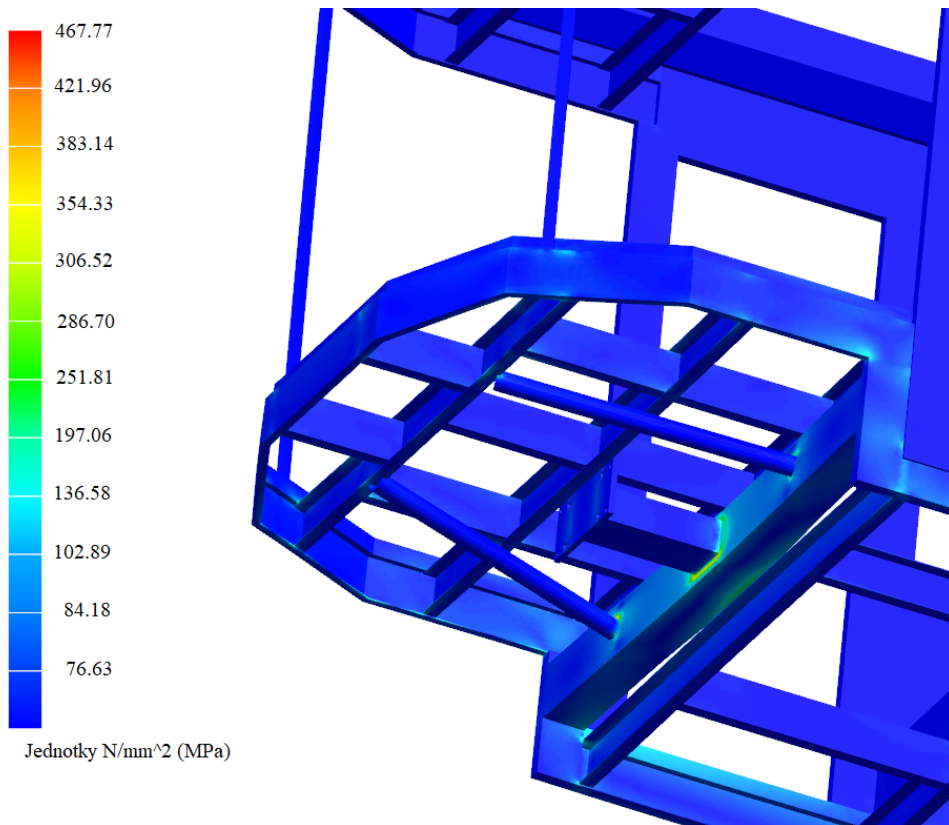
Obrázek 30 - Okrajové podmínky pro zatížení silou na spřáhla

(Obr.30) zobrazuje nasíťovaný model s okrajovými podmínkami. Z levé strany je zatížen svislou silou a z pravé strany je model uchycen proti posuvu v místě spřáhla. Další zamezení posuvu je v místech uložení podvozku.



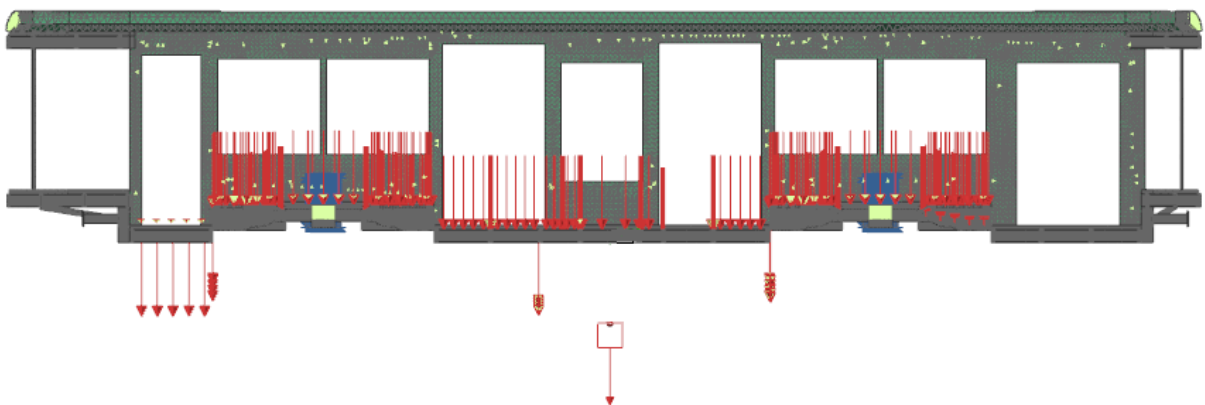
Obrázek 31 - Posunutí v podélné ose

Maximální posunutí v podélné ose je 6,21mm dáno výpočtem (viz obr. 31). Kritická místa jsou dveřní otvory, kde je méně kompozitního materiálu.



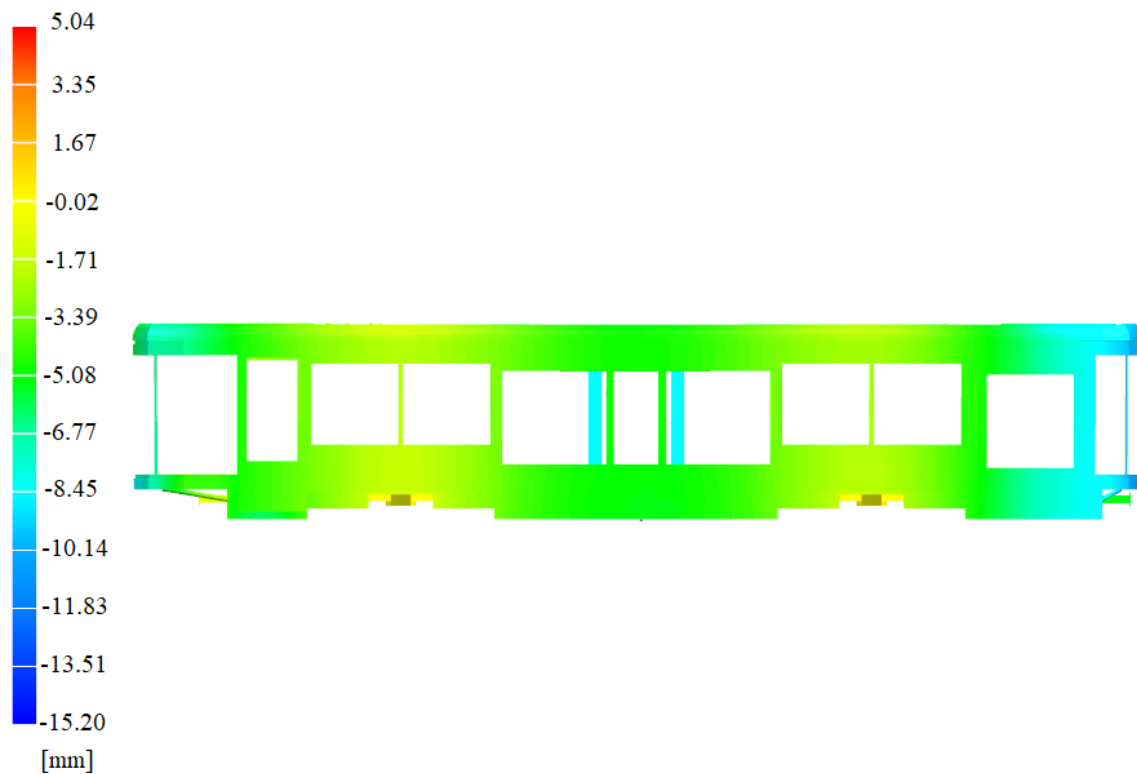
Obrázek 32 - Maximální napětí na spřáhlo

Maximální napětí vyšlo 467,77 MPa, což vyhovuje a neporušuje mez daného materiálu. Špičky napětí jsou v místě uložení spřáhla. Spřáhlo bylo pro výpočet zjednodušeno (obr 32).



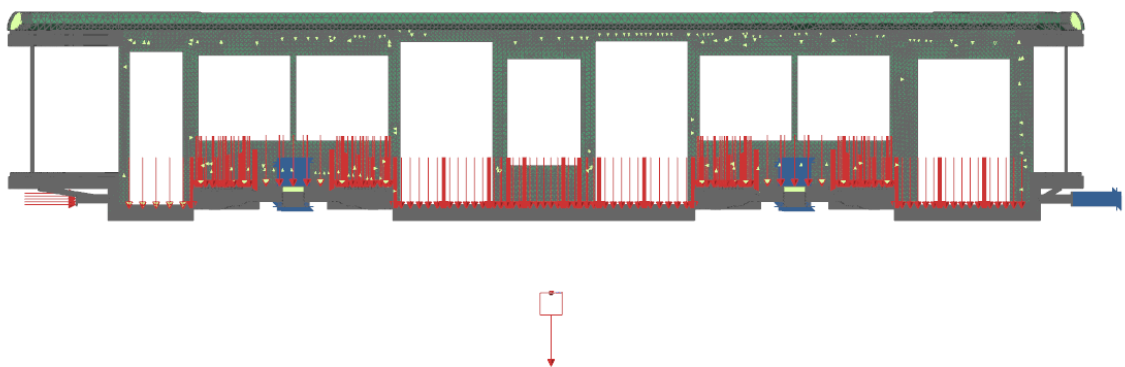
Obrázek 33 - Okrajové podmínky pro maximální zatížení

(Obr. 33) znázorňuje okrajové podmínky pro maximální zatížení vozidla i s gravitační silou. Maximální zatížení vyšlo dle výpočtů na 135,1 kN.



Obrázek 34- Průhyb při maximálním zatížení

Průhyb vyvolaný maximálním zatížením je 5,04mm. (obr.34) Nejvíce zatížené místo je mezi podvozky.



Obrázek 35 - Okrajové podmínky pro kombinaci zátěžných stavů

(Obr.35) zobrazuje kombinaci obou předešlých zátěžných stavů a to podélnou sílu a maximálním zatížením vozidla.



Obrázek 36 - Průhyb

Průhyb podle výpočtu vyšel 7,40 mm. (Obr 36)



Obrázek 37 - Posunutí v podélné ose

Posunutí v podélné ose vyšlo podle výpočtu 7,62 mm.(obr. 37)

4.1 Další způsoby zatěžování

Hrubou stavbu kolejového vozidla lze zatěžovat podle normy ČSN EN 13663-1 ve stanovených místech pro zvedání na jednom konci vozidla o velikosti $1,1 \times g \times (m_1 + m_2)$, nebo pro stejný vzorec pro zdvihání celého vozidla. Dále lze vypočítat zrychlení ve směru osy X, Y a Z, která jsou o velikosti: $X = \pm 2 \text{ g}$, $Y = \pm 1 \text{ g}$, $Z = (a \pm c) \times g$, kdy $c = 2$ na konci vozidla a lineárně klesá na 0,5 ve středu vozidla.

Další možné výpočty jsou crashová odolnost podle normy ČSN EN 15227+A1. Norma vychází z požadavku, aby zajistila takovou ochranu na úrovni, která odpovídá běžným nebezpečím srážky. Konstrukční scénáře jsou uvedeny níže.

- Čelní srážka dvou totožných vlakových jednotek
- Čelní srážka s odlišným typem železničního vozidla
- Náraz čela vlakové jednotky do velkého silničního vozidla na úrovňovém přejezdu
- Náraz vlakové jednotky do nízké překážky – auta, zvířete, odpadlého materiálu

Tabulka 14 - Crashová odolnost [20]

Konstrukční scénář srážky	Překážka působící srážku	Charakteristika provozu, na který se požadavek vztahuje	Rychlost nárazu [km/h]	Narážející vozidlo a podmínky
1	totožná vlaková jednotka	všechny systémy	15	totožná vlaková jednotka
2	pevná překážka 3t	městská trať neoddělena od silniční dopravy	25	malá, nízká překážka

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout Čtyřnápravové úzkorozchodné nízkopodlažní tramvajové vozidlo.

V první části je uvedena rešerše tramvajových jednotek podle počtu náprav, výšky úrovně podlahy a polohy kabiny řidiče.

V druhé části jsou určeny základní požadavky na skříň tramvajových vozidel. Jsou zde popsány technické, ekonomické, ekologické a pevnostní požadavky. V této části jsou popsány jednotlivé materiálové varianty s výhodami a nevýhodami na konstrukci hrubé stavby. Dále jsou uvedeny metody na spojování skříně vozidla při použití odlišných materiálů. Byla vybraná hybridní hrubá stavba, která dostala největší bodové ohodnocení. Hrubá stavba je konstruována jako spojení sendvičových bočnic a ocelových dílů. Konstrukční celky v oblasti podlahy jsou k sobě přivařeny a spojení bočnic s podlahovou částí je řešeno pomocí lepeno-šroubového spoje.

Ve vlastním návrhu bylo vypočítáno vybočení tramvajového vozidla a podle obrysu byly určeny rozměrové parametry skříně. Byl určen počet sedadel, který je v jedné řadě za sebou, a sedadla jsou uchycena v bočnici na ocelovém čtvercovém profilu pomocí šroubového spoje. Počet sedadel je 24 +1 pro invalidního cestujícího. Maximální obsaditelnost vozidla byla vypočítána na 193 osob, maximální možné zatížení vozidla bylo spočteno na 135,1 kN. Hmotnost hrubé stavby byla určena programem NX na 8 950 kg t. Rozměry hrubé stavby bez nárazníků jsou navrženy 15100 mm na délku a 2480 mm na šířku.

V poslední části diplomové práce byla provedena pevnostní analýza dle normy ČSN EN 12663-1. 3D model byl vymodelován v programu NX Siemens a analýza byla provedena v programu NX Nastran, kde byl model zasíťován a byly zde určeny okrajové podmínky výpočtu.

Výsledky pevnostní analýzy jsou vyhovující. Při výpočtu zatížení na spřáhla bylo vypočteno maximální posunutí v podélné ose 6,21 mm a maximální napětí, které nepřekračuje mez materiálu je 467,77 MPa.

Další řešení stav bylo zatížení ve svislé ose průhyb vozidla, programem byl vypočten na 5,04 mm. Poslední zátěžný stav byla kombinace obou předchozích a výsledky vyšly posunutí ve svislé ose 7,40 mm a průhyb byl 7,62 mm.

Výstupem diplomové práce je návrh konstrukce hrubé stavby s kompozitními bočnicemi. Model je ověřen výpočty a je vytvořena výkresová dokumentace.

LITERATURA

- [1] HELLER, CSC., doc. Ing. Petr a Ing. Josef DOSTAL. *Kolejová vozidla III*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2011. ISBN 978-80-261-0028-7.
- [2] Muzeum městské hromadné dopravy v Praze. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-10-09]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Muzeum_m%C4%9Bstsk%C3%A9_hromadn%C3%A9_dopravy_v_Praze
- [3] KALINČÁK, Daniel a Juraj GREŇČÍK. *Dopravné systémy*. V Žiline: EDIS - vydavateľstvo ŽU, 2006. ISBN 80-7100-530-5.
- [4] BMHD: Novinky ve vozovém parku DPMB - rok 2012. *Brněnská MHD* [online]. [cit. 2018-10-09]. Dostupné z: Novinky ve vozovém parku DPMB - rok 2012
- [5] Škoda Transportation. *Škoda Transportation: Tramvaje* [online]. [cit. 2018-10-09]. Dostupné z: <https://www.skoda.cz/tramvaj-forcity-alfa-praha/?show=all>
- [6] *Pražské tramvaje* [online]. [cit. 2018-10-09]. Dostupné z: <https://prazsketramvaje.cz/view.php?cislocianku=&cislocianku=2017092701>
- [7] Flickr. *Flickr* [online]. [cit. 2018-10-09]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/47704640@N02/31976421031/>
- [8] EXNER, Oska. In: *Praha.eu: Opravná tramvaji Hostivař se podílí na výrobě nové tramvaje* [online]. 2014 [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: http://www.praha.eu/jnp/cz/doprava/mhd/opravna_tramvaji_hostivar_se_podili_na.html
- [9] HELLER, Petr a Josef DOSTÁL. *Kolejová vozidla II*. V Plzni: Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-641-7.
- [10] ČSN 28 1300. *Tramvajová vozidla: Technické požadavky na zkoušky*. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.
- [11] *Galvanika: Černění* [online]. Praha [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.galvanika.cz/cerneni.html>
- [12] ING. TŘÍSKA, Ladislav. *Výzkum a vývoj hybridních skříní pro kolejová vozidla - hmotnostně úsporné prvky větracího systému*. Plzeň, 2017. Disertační. Západočeský univerzita v Plzni, Fakula strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Heller, CSC.
- [13] HOSNEDL, Stanislav a Jaroslav KRÁTKÝ. *Průručka strojního inženýra: obecné strojní části*. Praha: Computer Press, 1999. Edice strojaře. ISBN 80-7226-055-3.

- [14] Arconic: Arconic Fastening System. *Arconic* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.afsglobal.net/>
- [15] Kříž, A., Barták, J., Beneš, P.: *Zkoušky lepených spojů*, ZČU v Plzni, č.: H1-03/2009, 2009.
- [16] *Analýza lepidel ve všeobecném strojírenství* [online]. Brno, 2009 [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16149.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.
- [17] ČSN 28 0318. *Průjezdné průřezy tramvajových tratí a obrysy pro vozidla provozovaná na tramvajových dráhách*. 96727. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [18] BLÁHA, Petr. *Studie podvozku pro nízkopodlažní tramvajové vozidlo*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Petr Heller, CSc.
- [19] EN 12663-1. *Evropská norma, Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel: Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [20] ČSN EN 15227+A1, 28 0321. *Železniční aplikace- Požadavky na odolnost skříní železničních vozidel proti nárazu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví Praha, 2011.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Dvounápravová tramvaj [2].....	4
Obrázek 2 - Čtyřnápravová tramvaj	5
Obrázek 3 - Vysokopodlažní tramvaj [4]	6
Obrázek 4 - Nízkopodlažní tramvaj For City [5]	6
Obrázek 5 - Jednostranná tramvaj [6]	7
Obrázek 6 - Obousměrná tramvaj [7].....	7
Obrázek 7 - Hrubá stavba skříně TW team [8]	8
Obrázek 8 - Šroubový spoj.....	14
Obrázek 9 - Nýtový spoj [14].....	15
Obrázek 10- Lepený spoj	15
Obrázek 11- Svarový spoj.....	16
Obrázek 12 - Lepeno- šroubový spoj	16
Obrázek 13 - Rozdělení lepidle dle principu tuhnutí ve spoji [15]	17
Obrázek 14 - Schéma sendvičového kompozitu	18
Obrázek 15- Obrys pro vozidla v přímé koleji.....	22
Obrázek 16 - Styk kola s kolejnicí v přímé koleji.....	23
Obrázek 17 - Vybočení vozidla na vnitřní straně oblouku.....	24
Obrázek 18 Vybočení vozidla na vnější straně oblouku	25
Obrázek 19 - Nadpodvozková část otočená o 12°	27
Obrázek 20 - Díl mezi podvozky	28
Obrázek 21 - Zadní část	29
Obrázek 22 - Podlaha pod kabinou řidiče	29
Obrázek 23 - Bočnice	30
Obrázek 24 - Připojení bočnic.....	30
Obrázek 25 - Tvarový plech.....	31
Obrázek 26 –Střední část střechy	31
Obrázek 27 - Vlnitý plech	31
Obrázek 28 - Čelo tramvaje	32
Obrázek 29 - Hrubá stavba.....	32
Obrázek 30 - Okrajové podmínky pro zatížení silou na spřáhla.....	34
Obrázek 31- Posunutí v podélné ose	34
Obrázek 32 - Maximální napětí na spřáhlo	35
Obrázek 33- Okrajové podmínky pro maximální zatížení	35

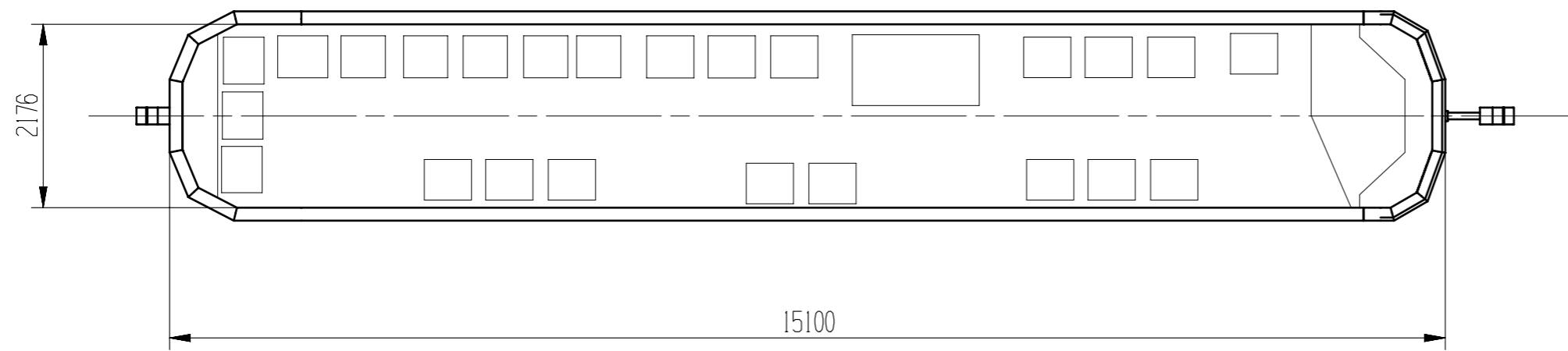
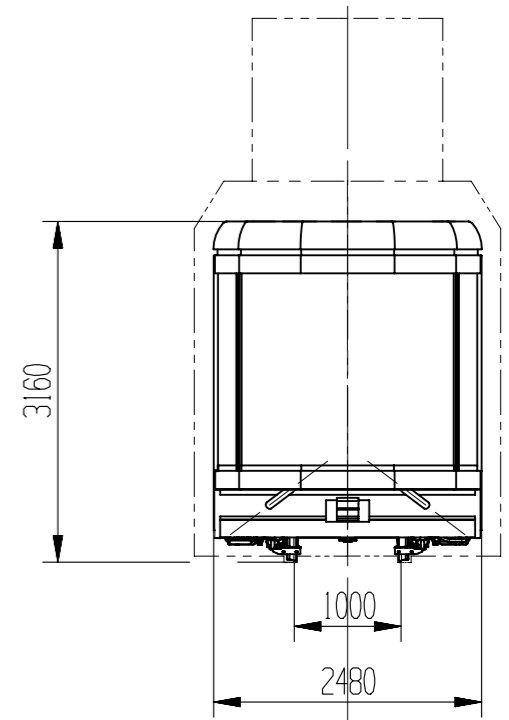
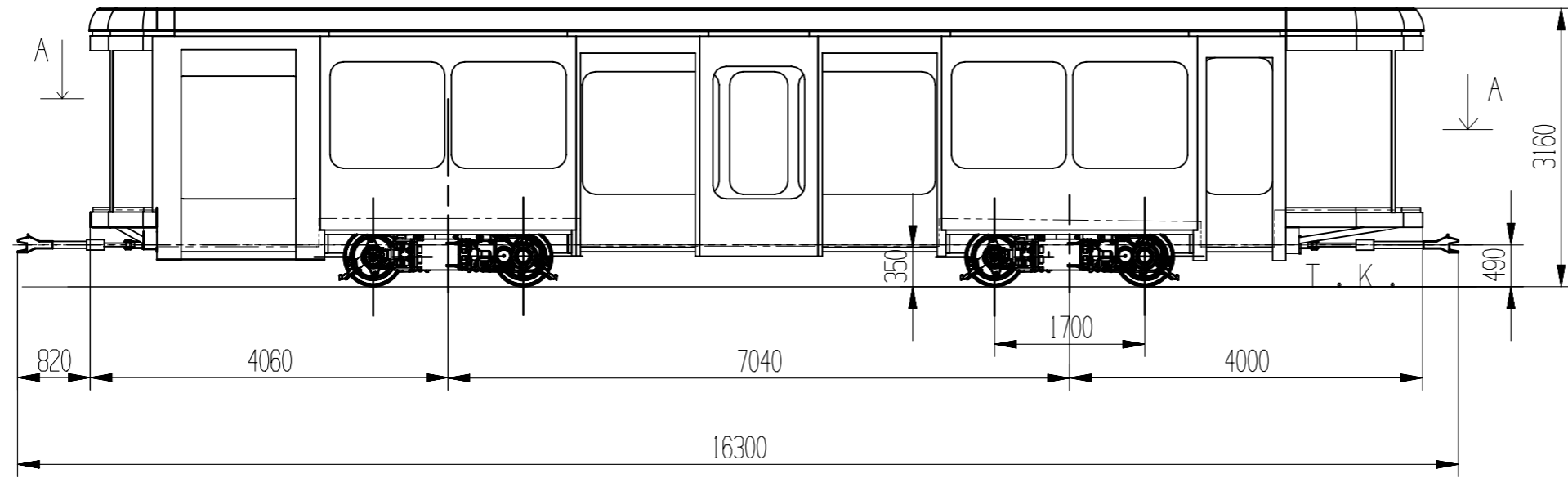
Obrázek 34- Průhyb při maximálním zatížení	36
Obrázek 35 - Okrajové podmínky pro kombinaci zátěžných stavu	36
Obrázek 36 - Průhyb	37
Obrázek 37 - Posunutí v podélné ose	37

SEZNAM TABULEK

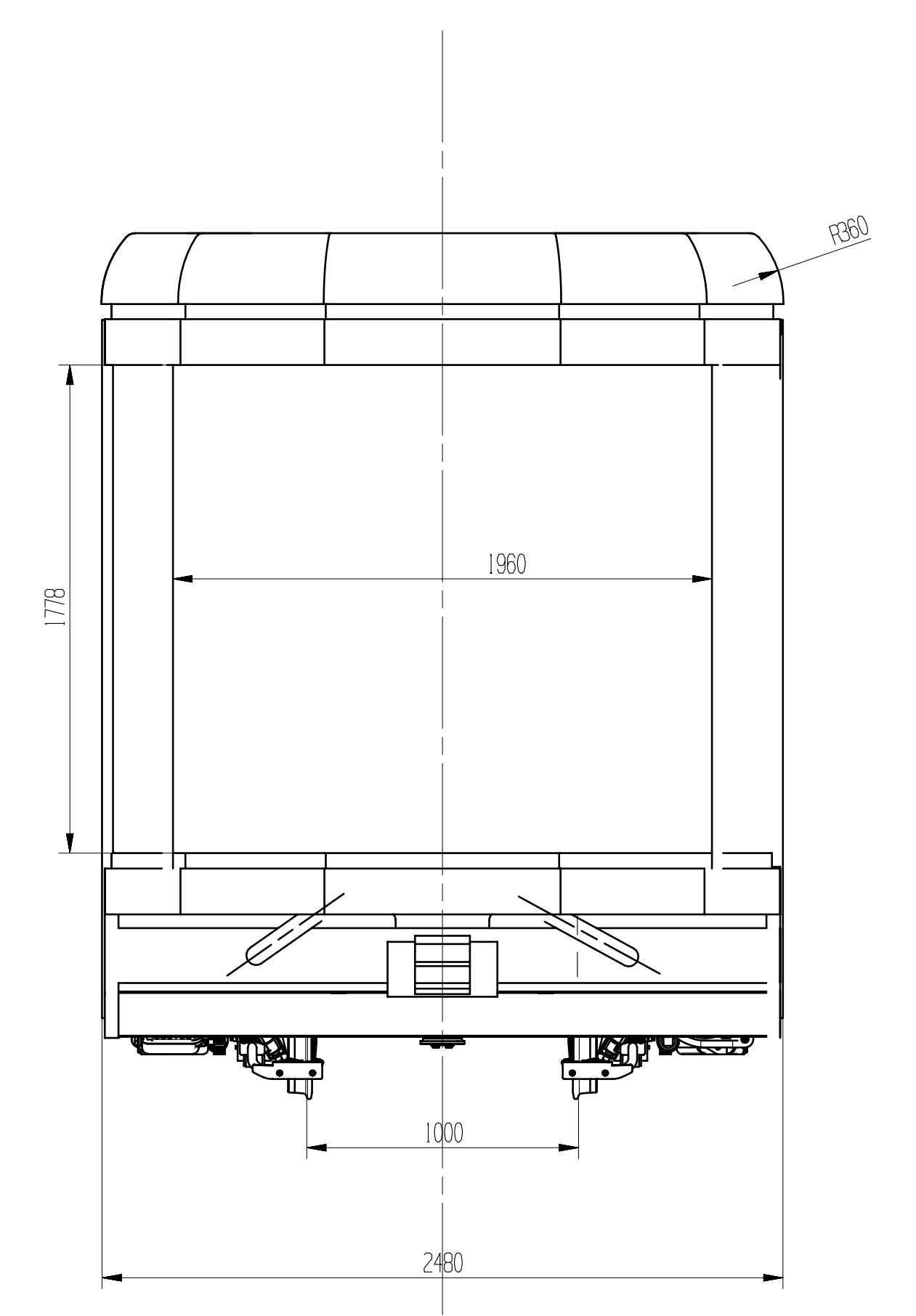
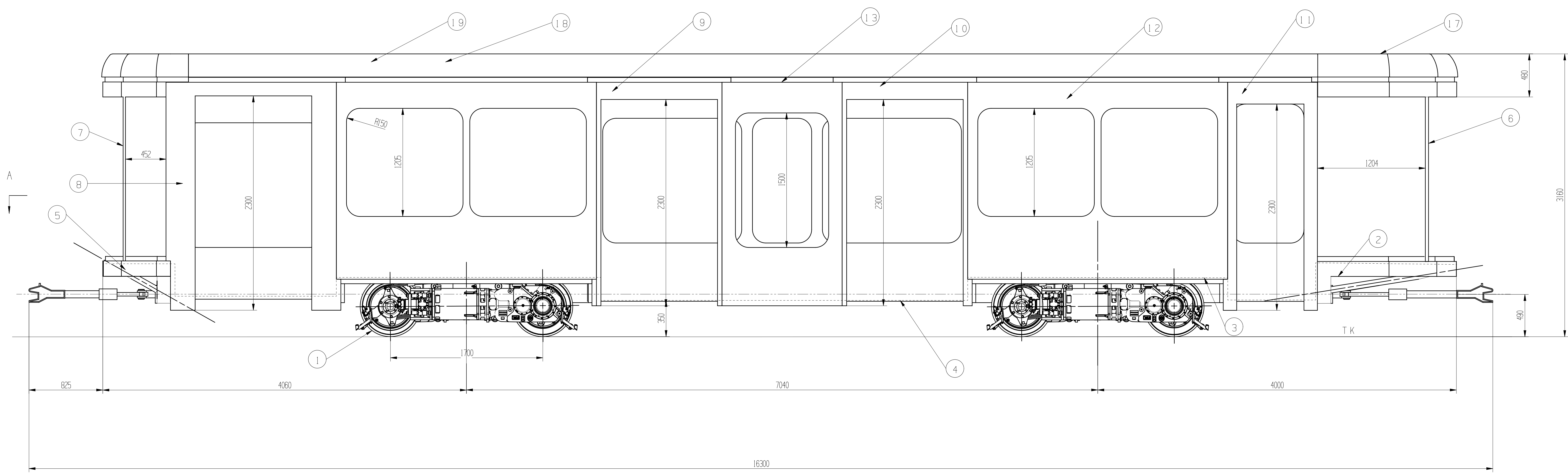
Tabulka 1 - Hlavní parametry tramvajových vozidel [1]	3
Tabulka 2 - Rozdělení vozidel MHD podle UITP [1]	4
Tabulka 3 - Přibližné rozdělení kolejových vozidel městské hromadné dopravy [1]	5
Tabulka 4 - Kladené požadavky [10]	9
Tabulka 5 - Stavby zatížení [10]	10
Tabulka 6 - Konstrukční kategorie odolnosti proti nárazu u kolejových vozidel [9]	11
Tabulka 7 - Označení variant	19
Tabulka 8 - Srovnání jednotlivých variant	19
Tabulka 9 - Legenda k tab. 5	20
Tabulka 10 - Výsledky výpočtů	27
Tabulka 12 - Okrajové podmínky	33
Tabulka 13 - Rozdělení sítí	33
Tabulka 14 - Použité materiály	33
Tabulka 15 - Crashová odolnost [20]	38

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

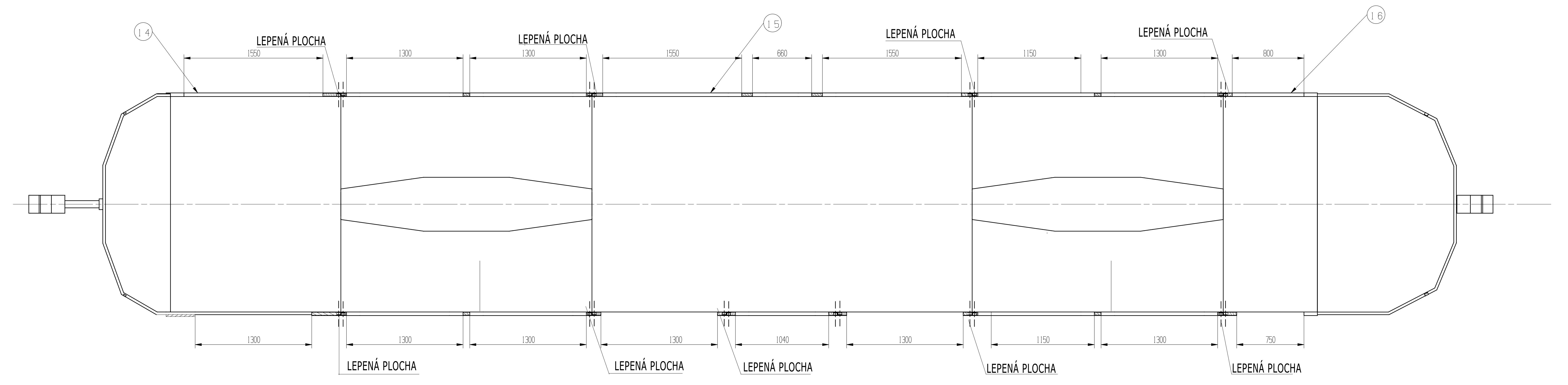
DP-2019-00	Typový výkres
DP-2019-01	Hrubá stavba
DP-2019-02	Bočnice
DP-2019-03	Podlaha



			---/---		17810.550			-
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychazi	T.O.	C.Jmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAO 1	Datum / Date	Jmeno / Name						
Kresil / Drawn by	22.5.2019	HELENA PRÚCHOVÁ		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsichni prava vyhrazena / All rights reserved.</small>				
Prezkoušel / Checked by								
Schválil / Approved by								
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
					TYPOVÝ VÝKRES			
 ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Tolerance / Tolerovani	Soubor-model / ASM-file		Projekt / Project:		Meritko / Scale		
		HRUBA_STAVBA				1:70		
		Soubor-vykres / DRW-file		C.sestavy / Assembly No.				
		HRUBA_STAVBA						
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.		Format	
HRUBÁ STAVBA				0	DP-2019-00		A4	
				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets	2	

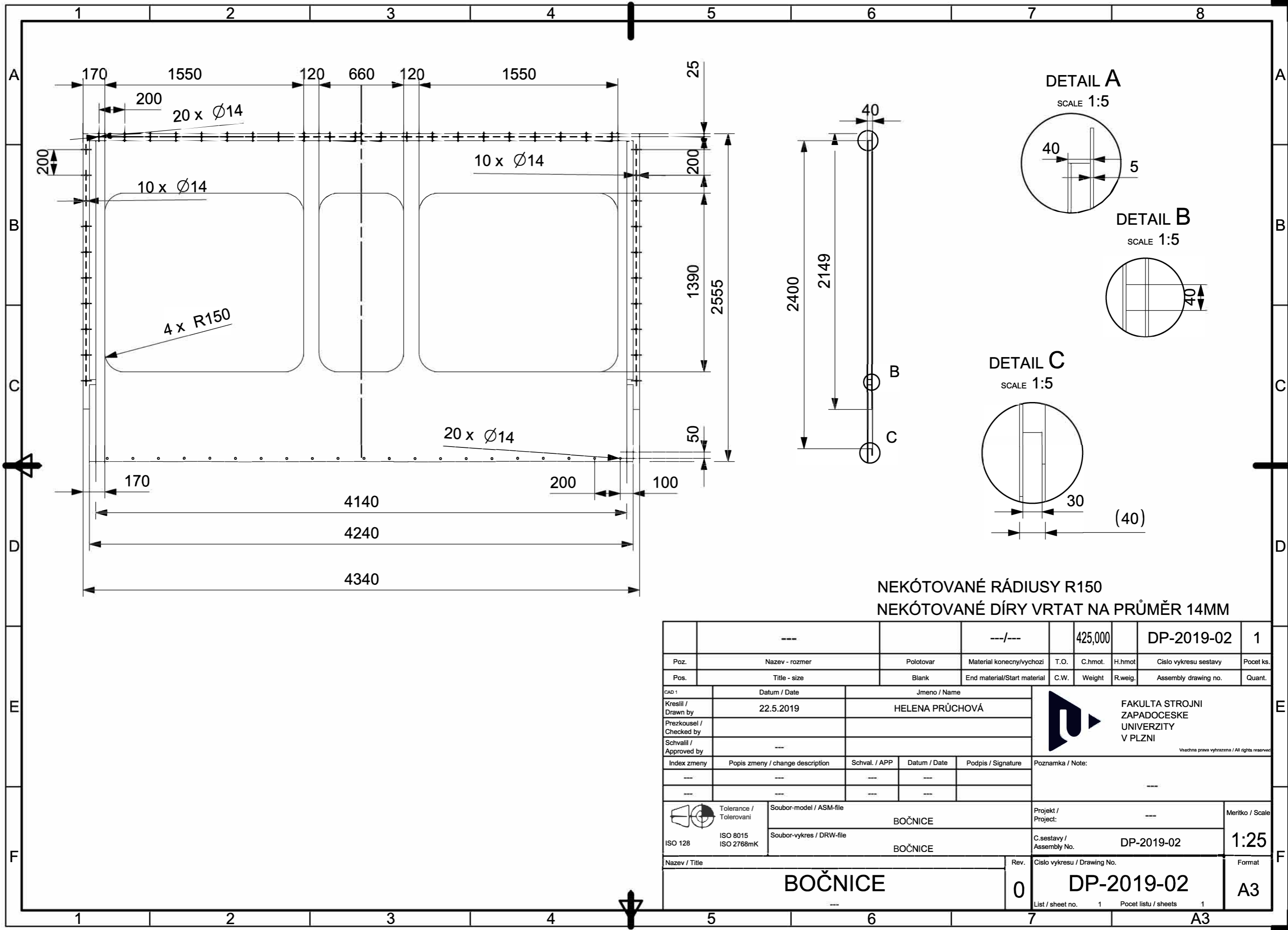


SECTION A - A





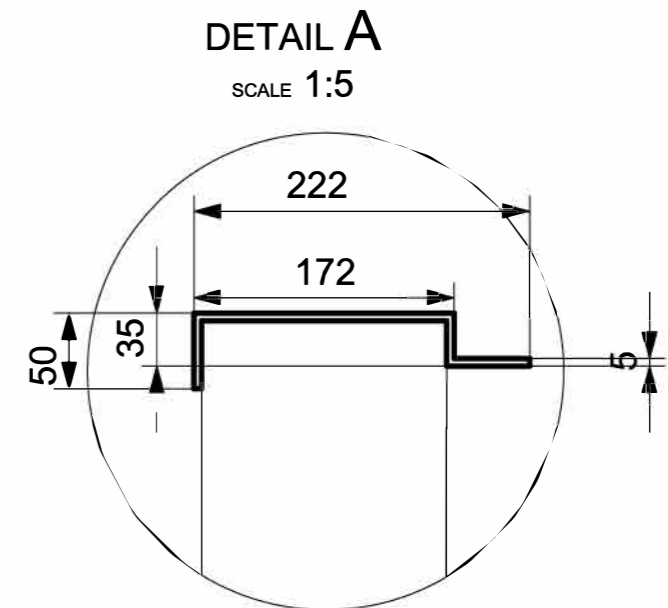
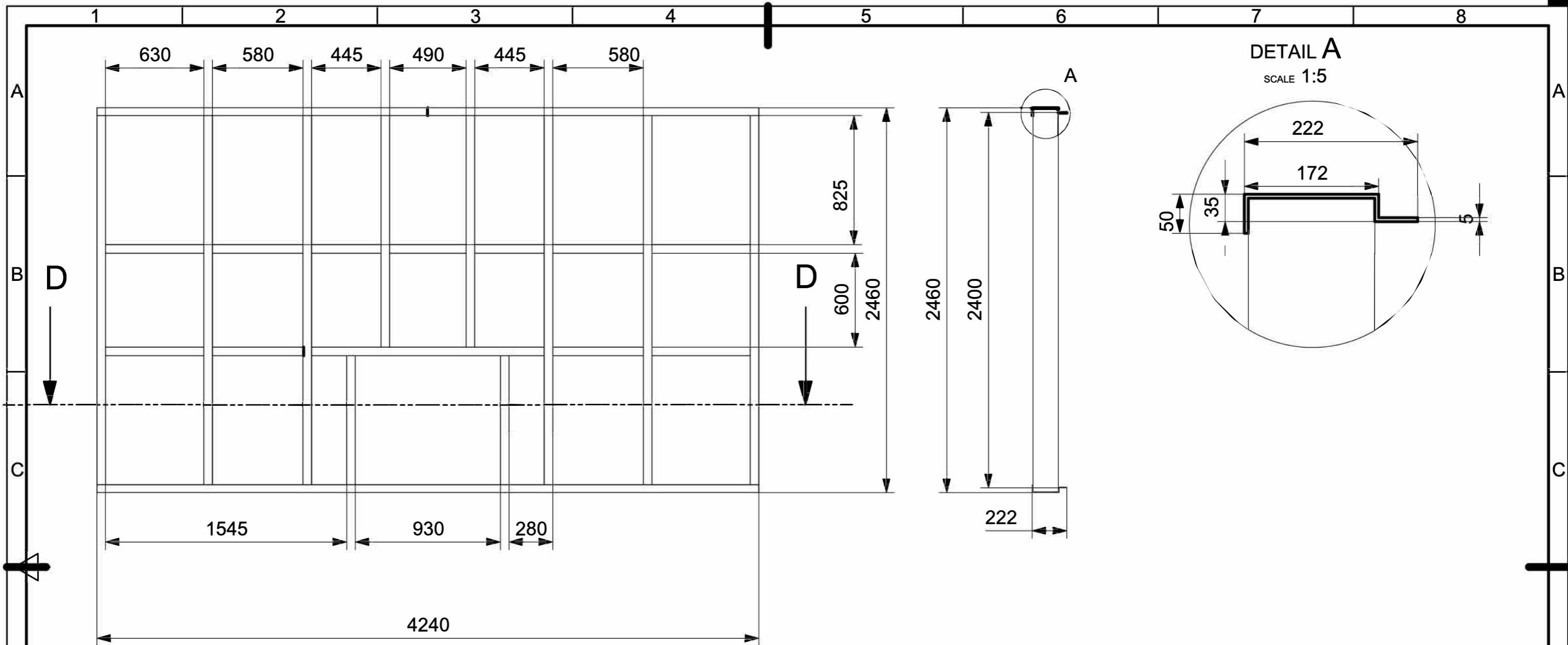
POZ	NÁZEV	MATERIÁL	Hm[Kg]	Mn
19	VLNITÝ PLECH	DOMEX 700	985,16	1
18	VYZTUŽENÍ STŘECH	DOMEX 700	375,25	1
17	STŘECHA	DOMEX 700	420,10	1
16	OKNO - KABINA	KOMPOZIT	326,05	1
15	OKNO - VELKÉ	KOMPOZIT	425,15	1
14	OKNO - ZADNÍ ČÁST	KOMPOZIT	232,04	1
13	OKNO - STŘED	KOMPOZIT	215,03	1
12	OKNO - PODVOZEK	KOMPOZIT	2244	4
11	DVEŘE - KABINA	KOMPOZIT	180,59	1
10	DVEŘE - STŘED PRAVÉ	KOMPOZIT	230,79	1
9	DVEŘE - STŘED LEVÉ	KOMPOZIT	230,79	1
8	DVEŘE - ZADNÍ ČÁST	KOMPOZIT	332,17	1
7	ČELO - ZADNÍ ČÁST	DOMEX 700	95,10	1
6	ČELO - KABINA	DOMEX 700	120,33	1
5	PODLAHA - ZADNÍ ČÁST	DOMEX 700	377,64	1
4	PODLAHA - STŘED	DOMEX 700	635	1
3	PODLAHA - PODVOZEK	DOMEX 700	1040,24	2
2	PODLAHA - KABINA	DOMEX 700	485,12	1
1	PODVOZEK	S33J2G	4430	2

Dělník: 22.2.2019		Jméno: HELENA PROCHÁZOVÁ		
Projekt: 22.2.2019		HELENA PROCHÁZOVÁ		
Stupeň: 22.2.2019		HELENA PROCHÁZOVÁ		VYKRES SESTAVY 1:20
Stupeň: 22.2.2019		HELENA PROCHÁZOVÁ		
Název: HRUBÁ STAVBA		Název: HRUBÁ STAVBA		0 DP-2019-00 A0
Název: HRUBÁ STAVBA		Název: HRUBÁ STAVBA		

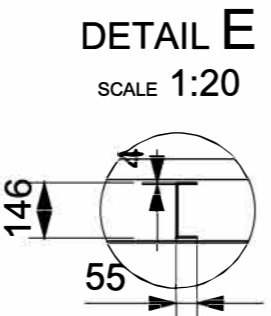
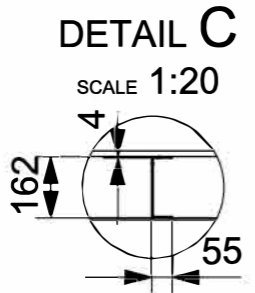
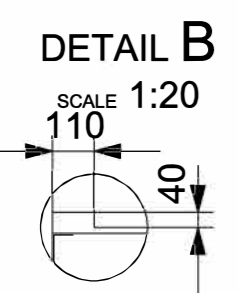
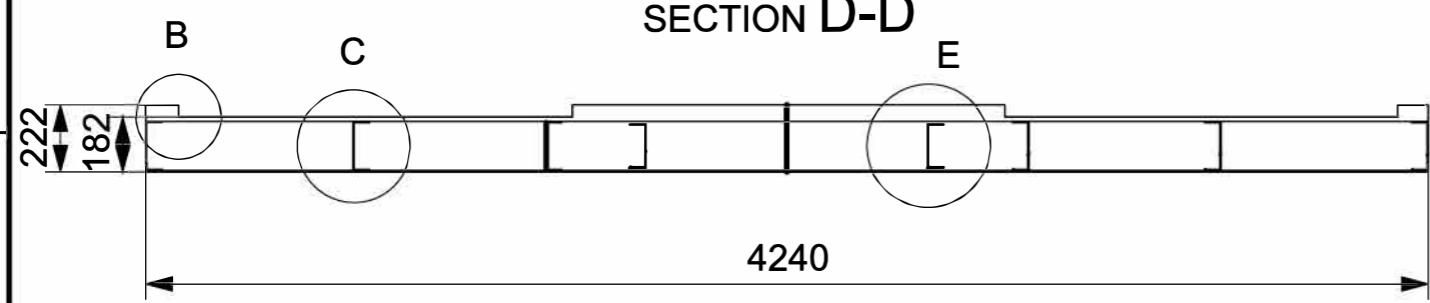




NEKÓTOVANÉ RÁDIUSY R150
 NEKÓTOVANÉ DÍRY VRTAT NA PRŮMĚR 14MM

---	---	---	---	425,000	DP-2019-02	1		
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOČESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>				
Kreslil / Drawn by	22.5.2019	HELENA PRŮCHOVÁ						
Prezkoušel / Checked by								
Schválil / Approved by								
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznámka / Note:			
---	---	---	---		---			
---	---	---	---		---			
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		BOČNICE		Projekt / Project:	---		Meritko / Scale 1:25
	Soubor-vykres / DRW-file		BOČNICE		C.sestavy / Assembly No.	DP-2019-02		
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
BOČNICE				0	DP-2019-02			A3
				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets		1



SECTION D-D



---	---	---	---/---	---	635,000	---	DP-2019-03	1
Poz.	Nazev - rozmer	Polotovar	Material konecny/vychozi	T.O.	C.hmot.	H.hmot	Cislo vykresu sestavy	Pocet ks.
Pos.	Title - size	Blank	End material/Start material	C.W.	Weight	R.weig.	Assembly drawing no.	Quant.
CAD 1	Datum / Date	Jmeno / Name		 FAKULTA STROJNI ZAPADOCESKE UNIVERZITY V PLZNI <small>Vsechna prava vyhrazena / All rights reserved</small>				
Kreslil / Drawn by	22.5.2019	HELENA PRŮCHOVÁ						
Prezkoušel / Checked by	---	---						
Schválil / Approved by	---	---						
Index zmeny	Popis zmeny / change description	Schval. / APP	Datum / Date	Podpis / Signature	Poznamka / Note:			
---	---	---	---	---	---			
---	---	---	---	---	---			
 Tolerance / Tolerovani ISO 128 ISO 8015 ISO 2768mK	Soubor-model / ASM-file		STUDIE STŘEDNÍ ČÁSTI PODVOZKU		Projekt / Project:	---		Meritko / Scale
	Soubor-vykres / DRW-file		STUDIE STŘEDNÍ ČÁSTI PODVOZKU		C.sestavy / Assembly No.	DP-2019-03		1:25
Nazev / Title				Rev.	Cislo vykresu / Drawing No.			Format
PODLAHA_STŘED				0	DP-2019-03			A3
---				List / sheet no.	1	Pocet listu / sheets		1