

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: N 2301      Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Dopravní a manipulační technika

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Dvoupodlažní elektrická jednotka pro příměstskou dopravu

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

Akademický rok 2015/2016

## **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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr MACHER**  
Osobní číslo: **S14N0024P**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Dopravní a manipulační technika**  
Název tématu: **Dvoupodlažní elektrická jednotka pro příměstskou dopravu**  
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:

Návrh modulární koncepce jednotky, tří a více vozové, složené z elektrického motorového vozu, nástupního modulu a řídicího vozu. Porovnat hliníkovou a ocelovou konstrukci skříně jednoho z vozů.

#### Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

#### Osnova diplomové práce:

1. Rešerše dvoupodlažních vozidel
2. Návrh vlastní koncepce
3. Studie vybrané vozové skříně
4. Pevnostní výpočet podle ČSN EN 12663-1
5. Výrobní výkres vybraného dílu

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

**DOSTÁL, J., HELLER, P. Kolejová vozidla I. Plzeň: ZČU v Plzni, 2010**

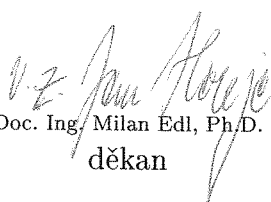
**HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla II. Plzeň: ZČU v Plzni, 2009**

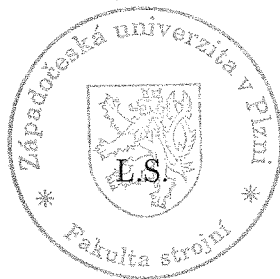
**HELLER, P., DOSTÁL, J. Kolejová vozidla III. Plzeň: ZČU v Plzni, 2011**


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

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Petr Heller, CSc.**  
Regionální technologický institut  
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Kořínek**  
Katedra konstruování strojů

Datum zadání diplomové práce: **21. září 2015**  
Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2016**

  
Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 21. září 2015

# ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Bc. Macher	<b>Jméno</b> Petr	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	N2301 „Dopravní a manipulační technika“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Doc. Ing. Heller, CSc.	<b>Jméno</b> Petr	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<del><b>BAKALÁŘSKÁ</b></del>	<b>Nehodící se škrtněte</b>
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Dvoupodlažní elektrická jednotka pro příměstskou dopravu		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KKS	<b>ROK ODEVZD.</b>	2016
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	72	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	64	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	8
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p>Práce se zabývá návrhem koncepce dvoupodlažní jednotky pro příměstskou dopravu, která se oproti běžným jednotkám liší nástupním modulem. Z výsledné koncepce je provedena studie jednoho z vozů, jejíž součástí je typový výkres a návrh konstrukce hrubé stavby. Skříň vozidla je na závěr ověřena pevnostním výpočtem.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Hrubá stavba, koncepce, konstrukce, nástupní modul, svar</p>

## SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Bc. Macher	<b>Name</b> Petr	
<b>FIELD OF STUDY</b>	B2301 “Transport Vehicles and Handling Machinery“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Doc. Ing. Heller, CSc.	<b>Name</b> Petr	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	<b>Delete when not applicable</b>
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Double-deck EMU for suburban transport		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machine Design	<b>SUBMITTED IN</b>	2016
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	---------------------	------

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

<b>TOTALLY</b>	72	<b>TEXT PART</b>	64	<b>GRAPHICAL PART</b>	8
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The dissertation deals with the conception project of the Double-deck EMU for suburban transport which differs in the boarding module from common units. From the resulting conception, the study of a vehicle which includes the characteristic drawing and the construction project of the car body, is carried out. The vehicle crate is checked by the calculation of strength.
<b>KEY WORDS</b>	Car body, concept, construction, boarding module, weld

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Doc. Ing. Petru Hellerovi, CSc. za odborné vedení diplomové práce, za jeho ochotu, poskytnuté cenné rady a v neposlední řadě za vedení předmětu Kolejová vozidla, díky kterému jsem získal cenné znalosti pro tvorbu diplomové práce.

## Obsah

1	Rešerše dvoupodlažních vozidel .....	3
1.1	Úvod .....	3
1.2	Příklady existujících jednotek .....	4
1.3	Porovnání dvoupodlažních jednotek pro příměstskou dopravu .....	4
1.4	Modulární koncepce .....	7
1.4.1	Regio 2N .....	7
1.4.2	City Elefant .....	9
1.4.3	Stadler KISS CF2300 .....	10
1.4.4	Siemens Viaggio Twin a Bombardier Twindexx Vario .....	11
1.5	Skříně elektrických jednotek .....	12
1.5.1	Konstrukční stavby .....	13
1.5.2	Svařování kolejových vozidel .....	16
1.5.3	Nekonvenční metody spojování HS .....	17
1.5.4	Materiály hrubých staveb .....	18
2	Návrh vlastní koncepce .....	18
2.1	Návrh funkční a orgánové struktury technického systému .....	18
2.1.1	Návrh provozního transformačního procesu TfP – Černá skříňka .....	18
2.1.2	Funkční struktura .....	19
2.1.3	Návrh orgánové struktury TS .....	20
2.2	Návrh a vyhodnocení variant .....	21
2.2.1	Navržené varianty .....	21
2.2.2	Vyhodnocení navrhovaných variant .....	24
2.2.3	Konstrukce HS u zvolené koncepce .....	24
3	Studie vybrané vozové skříně .....	25
3.1	Výpočet kinematického zúžení .....	25
3.1.1	Kvazistatická výchylka vozidla .....	27
3.1.2	Vnitřní zúžení $E_i$ .....	28
3.1.3	Vnější zúžení .....	29
3.1.4	Výsledky .....	31
3.2	hrubá stavba – konstrukční návrh .....	33
3.2.1	Popis konstrukce .....	34
4	Pevnostní výpočet podle ČSN EN 12663-1 .....	48



4.1	Výpočtový model .....	49
4.2	Zatěžovací stavy .....	51
4.2.1	Tlaková síla v oblasti spřáhel .....	52
4.2.2	Maximální provozní zařízení .....	56
4.2.3	Kombinace tlakové síly v oblasti spřáhel s maximálním provozním zařízením	59
5	Závěr.....	62
6	Seznam použité literatury .....	63

## Zadání

Název: Dvoupodlažní elektrická jednotka pro příměstskou dopravu

Zadavatel: RTI

Popis: Návrh modulární koncepce jednotky, tří a více vozové, složené z elektrického motorového vozu, nástupního modulu a řídicího vozu. Porovnat hliníkovou a ocelovou konstrukci skříně jednoho z vozů.

Osnova práce:

1. Rešerše dvoupodlažních vozidel
2. Návrh vlastní koncepce
3. Studie vybrané vozové skříně
4. Pevnostní výpočet podle ČSN EN 12663-1
5. Výrobní výkres vybraného dílu

# 1 Rešerše dvoupodlažních vozidel

## 1.1 Úvod

Elektrické jednotky pro příměstskou dopravu jsou určeny pro dopravu cestujících v městských aglomeracích. Mohou být v jednopodlažním nebo dvoupodlažním provedení. Používají se různé modulární uspořádání, ve většině případů se skládají z elektrického, řídicího a vloženého vozu. Zpravidla lze spojit i více souprav.

Obecným požadavkem současných elektrických jednotek je moderní, pohodlné a bezpečné cestování. Z toho vyplývají další nároky, jako jsou široké dveřní vstupy (až 1600mm) se sníženou úrovní podlahy, které slouží k rychlejší výměně cestujících na zastávkách, nebo klimatizace, či informační a bezpečnostní prvky zvyšující komfort a pohodlí.

Hrubá stavba (dále HS) jednotlivých vozů bývá obvykle zhotovena z protlačovaných velkoplošných hliníkových profilů (integrální HS), nebo z ocelových profilů a výpalků z plechu (diferenciální ocelová). Výběr konstrukce HS je závislý na koncepci vozu, možnostech a zkušenostech výrobce.

Tato práce se bude zabývat návrhem modulární koncepce jednotky, tří a více vozové, složené z elektrického motorového vozu, nástupního modulu a řídicího vozu. Z navržené modulární koncepce vznikne konstrukční návrh jednoho z vozů, který bude podroben vybraným zatěžovacím stavům dle ČSN EN 12 663.

## 1.2 Příklady existujících jednotek

Na obrázcích jsou uvedeny příklady dvoupodlažních elektrických jednotek provozovaných na evropském kontinentu. Obrázek 1 zachycuje dvoupodlažní jednotku Regio 2N provozovanou ve Francii a v Rusku, na obrázku 3 je Twindexx Vario, výrobcem obou těchto jednotek je firma Bombardier. Na druhém obrázku je elektrická jednotka firmy Stadler s obchodním názvem Kiss. Český zástupce City Elefant (řada 471) od společnosti Škoda Transportation se nachází na obrázku č. 4. Posledním uvedeným příkladem je Viaggio Twin (obrázek 5) společnosti Siemens. Na první pohled se od sebe jednotlivé soupravy liší především designem čela, vložené vozy jsou pro většinu případů podobné, až na jednotku Regio 2N, parametry těchto jednotek budou v následujícím textu porovnány.



Obrázek 1 - Regio 2N – Bombardier [20]



Obrázek 2- Kiss – Stadler [21]



Obrázek 3- City Elefant - Škoda Transportation [10]



Obrázek 4 – Twindexx Vario - Bombardier



Obrázek 5 – Viaggio Twin - Siemens [18]

## 1.3 Porovnání dvoupodlažních jednotek pro příměstskou dopravu

Uvedené příklady jednotek z předchozí kapitoly budou porovnány v tabulkách 1, 2 a rozdíly podrobně popsány v následující podkapitole.

Tabulka 1 - Srovnání parametrů vybraných jednotek

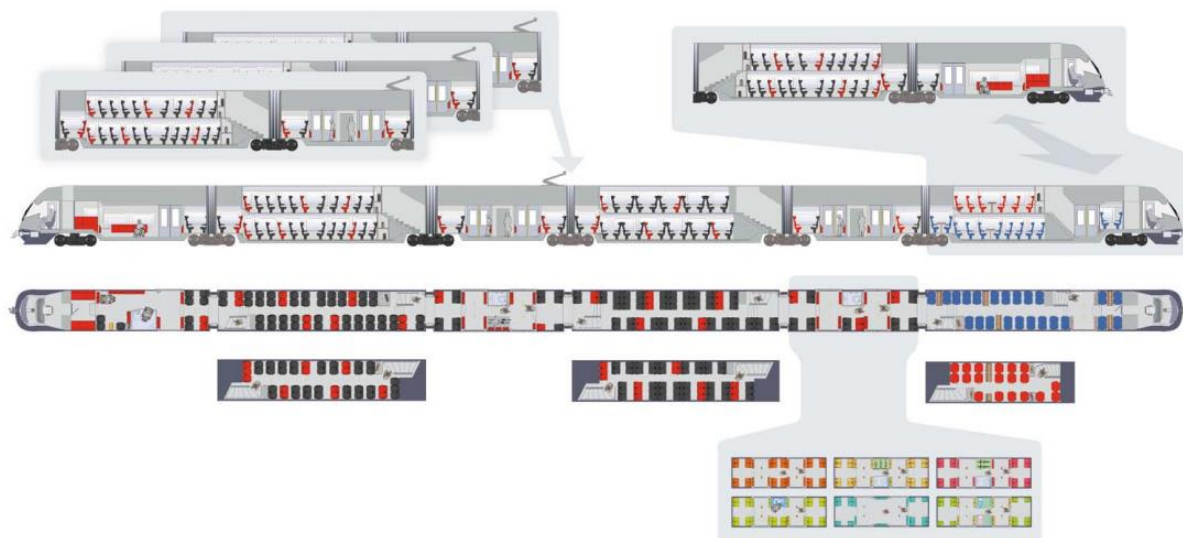
TYP JEDNOTKY / PARAMETR	BOMBARDIER REGIO 2N	STADLER KISS CFL 2300	ŠKODA CITY ELEFANT	BOMBARDIER TWINDEXX VARIO	SIEMENS VIAGGIO TWIN
počet vozů	6	3	3	4	4
délka soupravy [mm]	80 900	79 840 mm	79 200 mm	105 550 mm	105 600 mm
šířka skříně [mm]	2987 - 3050 mm	2800 mm	2820 mm	2784 mm	2780 mm
výška od temene kolejnice	4320 mm	4630 mm	4635 mm	4631 mm	4600 mm
rozchod [mm]	1435	1435	1435	1435	1435
nástupní výška [mm]	600	580	550	600	600/720
šířka dveří [mm]	1600	1300	1300	1300	1400
počet sedadel	2+2/2+3 380/440	2+2 284	2+2 307 - 327	2+2 425	2+2 324 - 332
celkový počet cestujících	2+2/2+3 710/755	výrobce neuvádí	2+2 655	-	2+2 718
hmotnost soupravy [t]	CN/CE 19/20 - náprava	170	155	-	202
napěťové soustavy	1,5 kV DC, 25 kV DC	25 kV, 50Hz a 15 kV, 16Hz	3 kV DC, 3 kV DC+25kV/50Hz, 25 kV/50Hz	-	1 kV AC 16.7 / 50 Hz; 1,5 kV AC 50 Hz; 1,5 / 3 kV DC; 3 kV AC 50 Hz; 3 AC 400 V 50Hz
výkon trakčních motorů [kW]	2 400 nebo 3 200	4 x 750	4 x 500	4 x 575	-
maximální rychlost [km/h]	160	160	140 - 160	160	189
maximální výkon [kW]	2400	3000	2000	-	-
maximální zrychlení [m/s <sup>2</sup> ]	0,78	0,83	1,4	-	-
hrubá stavba	diferenciální ocelová	hliníková integrální	hliníková integrální	-	-

Tabulka 2- srovnání podvozků

TYP JEDNOTKY / PARAMETR	BOMBARDIER REGIO 2N	STADLER KISS CFL 2300	ŠKODA CITY ELEFANT	BOMBARDIER TWINDEXX VARIO	SIEMENS VIAGIO TWIN
typ podvozku	Jakobsův/trakční	trakční/běžný	trakční/běžný	trakční/běžný	trakční/běžný
označení	FlexxCompact	-	-	FlexxCompact	SF100
primární vypružení	šroubovitá pružina	šroubovitá pružina	2x Flexi-coil	šroubovitá pružina	šroubovitá pružina
sekundární vypružení	pneumatické	pneumatické	pneumatické	pneumatické	pneumatické
vedení	kývačka	kývačka	ojnička	kývačka	kývačka

## 1.4 Modulární koncepce

### 1.4.1 Regio 2N



Obrázek 6 - Modulární koncepce vozu - Regio 2N [11]

Ve srovnání s ostatními dvoupodlažními el. jednotkami není tato koncepce vozu obvyklá. Jednotka Regio 2N se skládá z kombinace jednopodlažních a dvoupodlažních vozů tří typů:

- Čelní jednopodlažní vůz (14,3m) nebo čelní dvoupodlažní vůz (19,215m)
- Krátké vložené nástupní vozy jednopodlažní (10,02m)
- Dlouhé vložené vozy dvoupodlažní (13,695 nebo 15,445)

Hrubá stavba je diferenciální konstrukce z vysokopevnostní oceli. V dlouhých vložených patrových vozech nejsou dveře, odpadají tedy velké otvory, které konstrukci zeslabují. K nástupu cestujících slouží krátké nástupní jednopodlažní články se sníženou úrovní podlahy a čelní vozy. Rychlejší výměnu cestujících u nástupních článků zajišťují dvoje dvoukřídlé dveře na obou stranách článku. Další dveře se nacházejí v čelních článcích (na každé straně jedny), kde se zároveň nachází bezbariérové oddíly. Šířka dveří je 1600mm, což je o 300mm více oproti porovnávaným jednotkám, dveře tak umožňují současný průchod dvou osob. Důvodem širokého vstupu může být vyšší pevnost použitého materiálu a typu konstrukce. Zatímco u integrální hliníkové stavby je nutno oblast dveří v horní i dolní části vyztužit celistvým frézovaným dílem, u ocelové HS toto opatření potřeba zpravidla není, do oblasti rohů se přivařují rohovníky nebo jiná zpevňující opatření.

Výška vozu od TK je přibližně o 300mm nižší ve srovnání s vybranými jednotkami, boční plocha vozu je při jízdě méně zatížena bočním větrem a jednotka tak může být při špatných povětrnostních podmínkách stabilnější. V některých oblastech to může hrát

významnou roli, například na tratích severního Německa jsou vzhledem k místnímu klimatu nastaveny přísnější podmínky pro výpočet na boční vítr. Oproti České republice je zde kvůli tomuto jevu větší pravděpodobnost vykojení soupravy.

Jednotka je plně průchozí. U jednopodlažních článků je prostor na střeše pro umístění elektrického zařízení.

Koncepce vozu Regio 2N nabízí nejvyšší přepravní kapacitu. V porovnání s jednotkou 471 a jednotkou Kiss je širší o cca 180mm, je to především kvůli kratším vozům a delšímu rozvoru Jakobsových podvozků (2800mm), vozy tak mají širší linii vztažného obrysu. Úsporu šířky interiéru Bombardier zajistil umístěním topení do podlahy místo klasického umístění v bočnici. Díky tomu si výrobce může dovolit nabízet uspořádání sedaček 2+3, čímž navýší přepravní kapacitu vozu.

Použité podvozky patří do rodiny Flexx Compact, krajní podvozky jsou trakční, vnitřní podvozky typu Jakobs. Primární vypružení je zajištěno šroubovitou pružinou, vedení dvojkolí kývačkou. Sekundární vypružení je pneumatické, k natáčení podvozku v oblouku není zapotřebí použití kolébky. Toto vypružení dále umožňuje měnit tlak v měchu, proto je zajištěna stálá výška podlahy od temene kolejnice nezávisle od svislého zatížení. Stabilizaci skříně ve vodorovné poloze zajišťuje torzní stabilizátor.

Podvozky Flexx Compact mají příznivé jízdní vlastnosti, Jakobsovy podvozky navíc oproti dvěma běžným podvozkům uspoří hmotnost. Při použití podvozků typu Jakobs se při zachování stejných délek vozů využije méně podvozků na celou soupravu.

Podvozek nese celou hmotnost skříně, což u některých koncepcí může být nevýhoda, proto se skříně u těchto podvozků vyrábějí kratší, z toho plyne více vozů na stejnou délku soupravy oproti konkurenci a následně více podvozků. Na druhou stranu si výrobce může dovolit širší vozidlo. Mírná komplikace nastane u vyvazování podvozků, kdy je nutné vyvázat 2 vozy.

Použití Jakobsových podvozků pod každým z vozů může mít za důsledek vyšší hlučnost ve srovnání s variantou nesených článků. Kdyby byl dlouhý dvoupodlažní vůz pouze nesený, hluk od podvozku by se přenášel převážně v čelních a nástupních modulech. Na druhou stranu by si tato varianta žádala složitější konstrukci ve spojení článků.



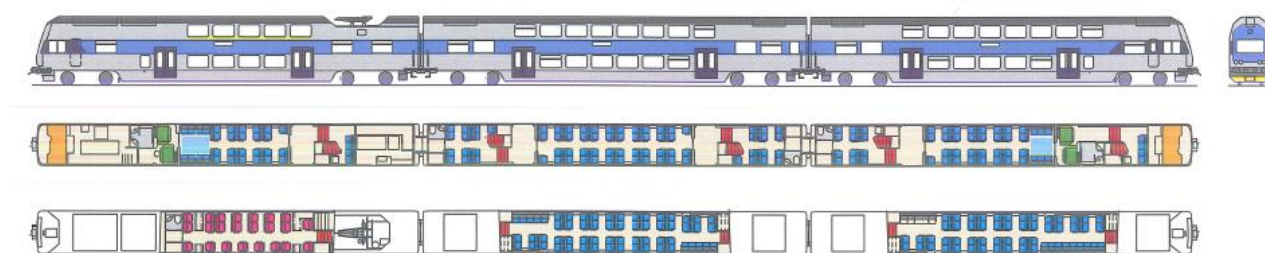
Obrázek 7 - Podvozek krajní - Regio 2N





Obrázek 8 - podvozek typu Jakobs - Regio 2N

## 1.4.2 City Elefant



Obrázek 9 - 471 - City Elefant [13]

Jedná se o obvyklou koncepci dvoupodlažní elektrické jednotky. City Elefant se skládá z dvoupodlažních vozů tří typů:

- elektrický motorový vůz (26,4m)
- řídicí vůz (26,4m)
- vložený vůz (26,4m)

Hrubá stavba je hliníkové integrální konstrukce. Jednotka má 6 podvozků, každý článek je nesen dvěma. V každém z vozů se nacházejí dvoje dvoukřídle dveře šířky 1300mm. Bezbariérové oddíly jsou ve všech vozech a prostor, který zaujímají, je větší než u Regio 2N. Souprava je plně průchozí. Prostor pro elektrickou výbavu je nad podvozky. Koncepce vozu nabízí maximální přepravní kapacitu 655 cestujících. City Elefant má v porovnání s jednotkou Regio 2N a jednotkou Kiss nejnižší nástupní výšku 550mm.

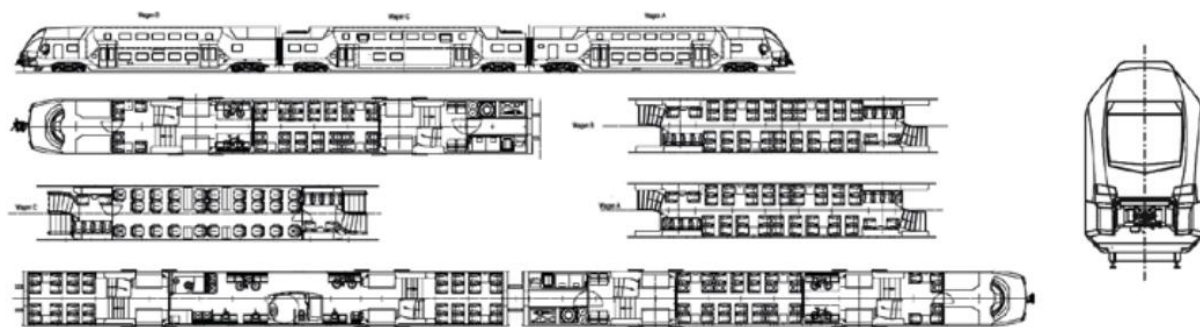
Podvozky zabírají více prostoru, který mohl být nízkopodlažní, což je na druhou stranu kompenzováno delšími vozy. Jízdní vlastnosti jsou velmi dobré. Primární vypružení



trakčního podvozku je zajištěno šroubovitými pružinami Flexi-coil, které jsou namáhány svisle i příčně. Vedení dvojkolí zajišťuje podélná ojníčka. Sekundární vypružení je pneumatické, k natáčení podvozku v oblouku není zapotřebí použití kolébky. Toto vypružení dále umožňuje měnit tlak v měchu, proto je zajištěna stálá výška podlahy od temene kolejnice nezávisle od svislého zatížení. Stabilizaci skříně ve vodorovné poloze obstarává torzní stabilizátor. Přenos tažných sil zajišťuje lemniskátový mechanismus. Běžný podvozek má primární vypružení šroubovitou pružinou umístěnou nad ložiskovou skříní a vedení dvojkolí zajišťuje kývačka. Sekundární vypružení je zde opět pneumatické.

Podvozky ve srovnání s jednotkou Regio 2N nesou pouze polovinu hmotnosti skříně, články tak mohou být delší. Omezením může být menší šířka vozu, kde navíc další prostor ubírá topení v bočnici.

### 1.4.3 Stadler KISS CF2300

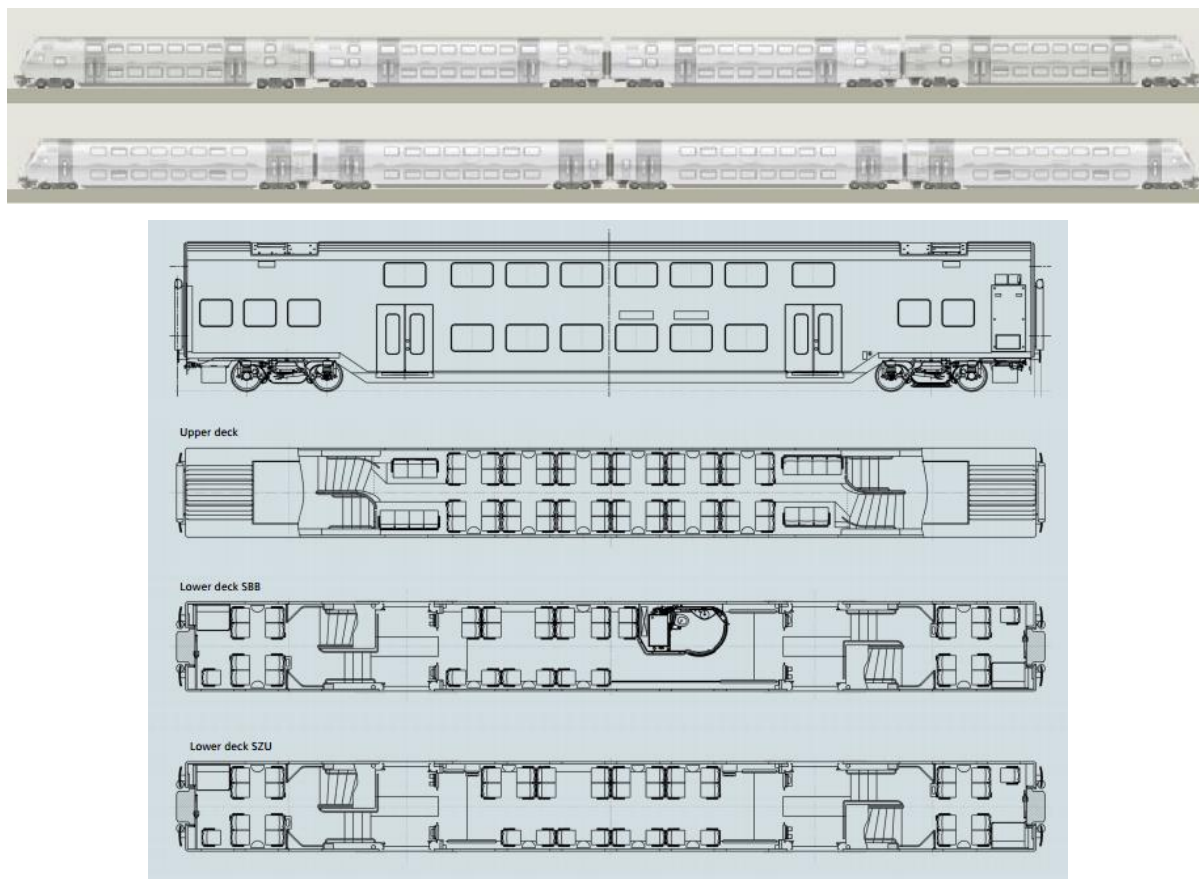


Obrázek 10 - Stadler KISS CF2300 [12]

Jedná se o modulárně stejnou koncepci, jakou je City Elefant. Rozdíly jsou v uspořádání sedaček, Stadler uvádí 284 sedících cestujících, což je u porovnávaných jednotek nejnižší údaj. Oproti City Elefantu je Kiss o 15t těžší. Jednotka je vybavena výkonnějšími trakčními motory o výkonu 750kW.

Primární vypružení zajišťuje šroubovitá pružina, vedení kývačka. Sekundární vypružení je pneumatické. Stabilizaci skříně ve vodorovné poloze obstarává torzní stabilizátor.

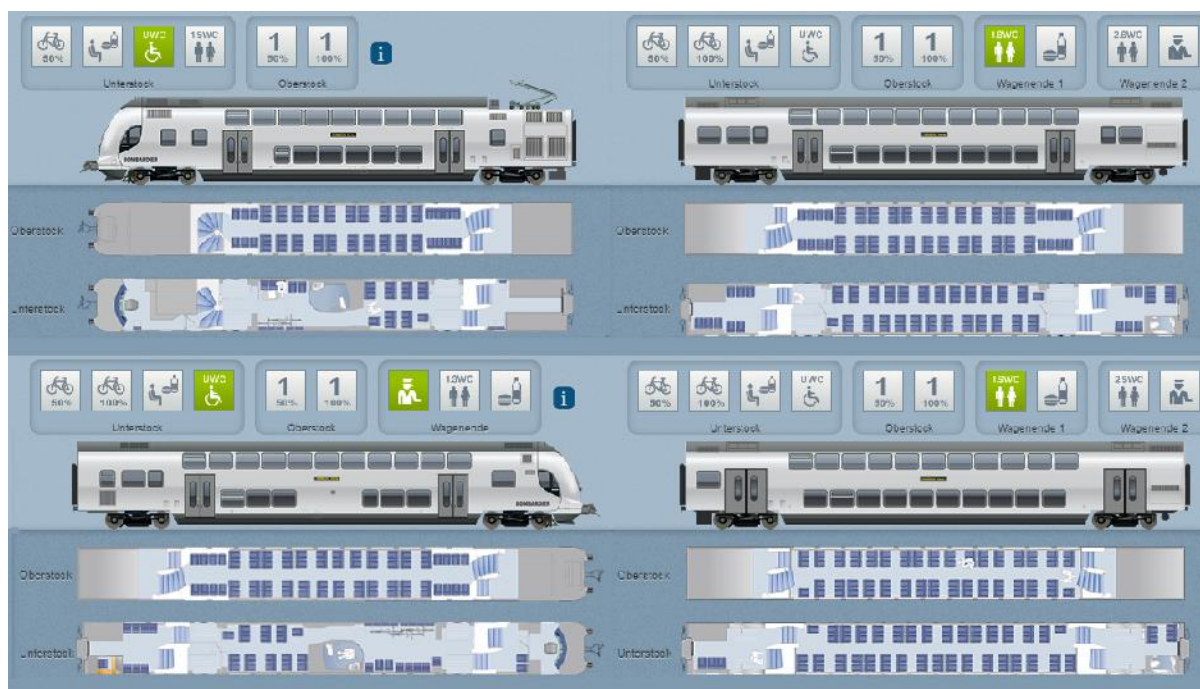
#### 1.4.4 Siemens Viaggio Twin a Bombardier Twindexx Vario



Obrázek 11 - Siemens Viaggio Twin [15]

Koncepce obou jednotek je podobná jako u City Elefant nebo Kiss. Siemens navíc oproti těmto běžným koncepcím nabízí moduly s umístěním dveří nad podvozky (horní část - obrázek 11), čímž se zvýší nástupní výška z původních 600 mm na 720 mm nad temenem kolejnice. Toto řešení je vhodné pro vysoká nástupiště. Dveře sousedních modulů se posunou blíže k sobě a oblast mezi podvozky sousedních vozů se využije především jako nástupní. Odebrané sedačky se mohou umístit do klidnější části se sníženou úrovní podlahy. Bombardier nabízí provedení s nástupem v oblasti podvozku pouze u vloženého vozu (obrázek 12).

Primární vypružení u obou jednotek zajišťuje šroubovitá pružina, vedení kývačka. Sekundární vypružení je pneumatické. Stabilizaci skříně ve vodorovné poloze obstarává torzní stabilizátor.



Obrázek 12 – Bombardier Twindexx Vario [16]

## 1.5 Skříň elektrických jednotek

Skříň kolejového vozidla je obecně veškerá nosná konstrukce nad systémem vypružení. Zahrnuje hrubou stavbu, vnitřní i vnější obložení a vybavení interiéru.

### Hrubá stavba (HS)

Jedná se o samotnou nosnou konstrukci. Skládá se ze spodku, bočnic, čelnic, střechy, návarků a v případě dvoupodlažních jednotek i podlahy horního oddílu. Požadavky na konstrukci skříňe určuje zákazník, norma spolu s předpisy pro daný typ vozidla a v neposlední řadě obecně předpokládané požadavky.

Jedním z obecně předpokládaných požadavků na konstrukci HS elektrických jednotek je dosažení nízké vlastní hmotnosti, při tom je nutné zachovat další důležité vlastnosti a to zejména pevnost (dle ČSN EN 12 663), spolehlivost, bezpečnost a požární odolnost. Všechny požadavky musí být garantovány po celou dobu životnosti vozidla (obvykle 30 let).

V uvedeném vzorci pro výpočet jízdního odporu je patrný významný vliv hmotnosti, která zaujímá 12 – 18% celkové hmotnosti vozidla.

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

W – jízdní odpor vozidla

- $m$  – celková hmotnost vozidla
- $c_1$  – součinitel odporu valení
- $C_1$  – součinitel odporu vzduchu
- $A$  – čelní plocha
- $\rho$  – hustota vzduchu
- $g$  – tíhové zrychlení

Další důvody pro lehkou hrubou stavbu:

- s klesající hmotností vozu klesá celková spotřeba elektrické energie jednotky
- méně spotřebovaného materiálu na konstrukci
- nižší spotřeba energie při výrobě polotovaru a jeho přepravě
- nižší opotřebování dvojkolí a železničního svršku

### 1.5.1 Konstrukční stavby

V počátcích kolejových vozidel (kolem r. 1830) bylo jediným materiálem hrubých staveb dřevo, které začala nahrazovat ocel a později i hliníkové slitiny. Postupem času se měnila i technologie spojování, kdy bylo zcela upuštěno od nýtování, jakožto od hlavní spojovací technologie, a začaly se používat svarové spoje. V současné době jsou používány tři hlavní druhy konstrukce hrubých staveb:

- diferenciální
- integrální
- hybridní

#### Diferenciální stavba

U diferenciální hrubé stavby vzniká každý stavební díl spojováním jednotlivých elementů. Příkladem může být bočnice, která je svařena z několika sloupků, podélných výztuh, poprsnice, rohovníků atd. (obrázek 13). Diferenciální hrubá stavba může být hliníková nebo ocelová. Častěji používaným materiálem pro tento typ HS je však ocel, která je pro ruční svařování vhodnější, navíc je snadno dostupná a opravitelná. Poslední trendy v oblasti elektrických jednotek ukazují používání vysokopevnostních ocelí (např. DOMEX 700 nebo WELDOX 700, kde  $R_e=700\text{MPa}$ ), které v porovnání s běžnou ocelí (S355) dovolí použití menší tloušťky stěn profilů při zachování stejné pevnosti konstrukce, hmotnost skříně se tak může snížit přibližně o 20%. Pro odlehčení konstrukce bývají v profilech různé výřezy.



Obrázek 13 - Diferenciální ocelová hrubá stavba Viaggio Comfort firmy Siemens [14]

### Nejčastější metody svařování dle ČSN EN ISO 4063:

#### metoda 135

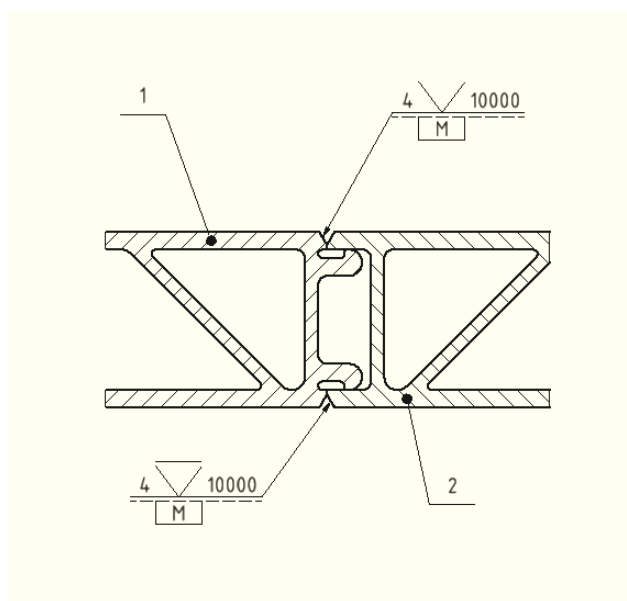
- obloukové svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu (MAG)
- svařování s minimem vneseného tepla - použití tenkých elektrod („šňůrkování“)
- aktivní plyny: CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> (přidáván na zvýšení průvaru)

### **Integrální hliníková stavba**

Základem jsou protlačované hliníkové profily, které probíhají po celé délce vozu. Každý stavební díl je tak složen z jednoho stavebního prvku. Kromě toho, že integrovaný profil tvoří nosnou strukturu skříně, jsou v něm zároveň začleněny i prvky pro upevnění zařízení interiéru, profil tak zajišťuje více funkcí. Prvky pro upevnění zařízení interiéru jsou u diferenciální stavby ve většině případů řešeny návarkem.

Na obrázku 14 jsou v řezu znázorněny dva integrované hliníkové profily. Na profilu 1 je tvarový zámeček, který kromě zajištění správné polohy dílů plní funkci svarové podložky. V označení svaru je reálný údaj možné délky housenky 10m, na takto dlouhé svary jsou používány svařovací automaty.





Obrázek 14 - spojení integrovaných profilů

Zatímco velkoplošné profily bočnic a střechy jsou umístěny podélně a využívá se jejich délka, podlahové profily jsou uloženy příčně, důvodem je vyšší pevnost konstrukce.

Polotovary ve formě protlačovaného profilu je dražší než výpalky z plechu, HS se skládá z výrazně menšího počtu dílů, z toho plyne i menší počet svarů. Samotná výroba dlouhých svařovaných vozů je oproti diferenciální HS levnější a rychlejší, výroba vloženého vozu jednotky City Elephant (26m) trvá cca 240h. Pokud se porovná hrubá stavba stejného článku integrované hliníkové konstrukce a diferenciální konstrukce z vysokopevnostní oceli, je výsledná cena téměř srovnatelná.

Řídící vozy elektrických jednotek s integrální hrubou stavbou mají kabinu řidiče odlišné konstrukce, používá se diferenciální ocelová stavba. Důvodem je bezpečnost cestujících a vlakového personálu, vozidlo musí splňovat různé scénáře srážek dle příslušné normy. Svařování a obrábění hliníkových dílů je nutné zcela oddělit od výroby ocelových konstrukcí.

### Svařování

Hliníkové slitiny vytvářejí na svém povrchu nevodivou vrstvu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  o vysokém bodu tání (cca  $2050^\circ\text{C}$ ). Tato vrstva poskytuje spolehlivou ochranu před korozi. Její tloušťka obvykle dosahuje  $0,01\ \mu\text{m}$ , v některých případech lze tloušťku vrstvy zvýšit eloxováním až na  $0,25\ \mu\text{m}$ .

Na druhou stranu způsobuje přítomnost této vrstvy při svařování vážné komplikace, zhoršuje například podmínky pro místní natavení materiálu, tvorbu svarové lázně a formování svaru.

Pro svařování Al slitin je vhodné používat obloukové svařování střídavým proudem. Důvodem je čistící účinek. Ten je dán porušováním povrchu svarové lázně ionty v okamžiku, kdy má netavící se elektroda kladnou polaritu a základní materiál polaritu zápornou. Čistící účinek spočívá v mechanickém rozrušování tvořícího se povlaku  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , příčinou je

odtrhávání částecí oxidu z povrchu slitiny během kladné půlvlny a během záporné půlvlny natavováním základního materiálu.

Ve svarových spojích mohou vznikat dutiny, důvodem je schopnost hliníku a jeho slitin rozpouštět v tekutém stavu vodík ve velkém množství. Pro zamezení tohoto jevu jsou používány inertní plyny vysoké čistoty, přídavný materiál s nízkým obsahem H, vhodné svařovací parametry atd. Svarové plochy se připravují broušením nebo obráběním.

### Nejčastější metody svařování hliníkových slitin dle ČSN EN ISO 4063:

#### metoda 131

- obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (MIG)
- méně kvalitní svarový spoj oproti metodě TIG, požadované kvality však lze dosáhnout i touto metodou
- produktivnější a ekonomičtější
- inertní plyny: Ar, He, směs Ar + He

#### metoda 141

- obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu (TIG)
- výhodou je vysoká kvalita svarových spojů a operativnost v různých polohách
- na svary s minimem vnitřních vad s požadavkem na rentgenové a ultrazvukové zkoušky
- pro kratší svary (podávání přídavného materiálu)
- méně ekonomické oproti MIG
- inertní plyny: Ar, He, směs Ar + He

## **Hybridní stavba**

Jedná se o nejnovější směr konstrukce hrubých staveb. Hybridní stavba je kombinací několika částí z různých materiálů. Příkladem je vůz, který má hliníkový spodek a bočnice, hliníkový lepený sendvič na střeše a laminátové čelo. Mimo svařování se zde více používají studené spoje jako je lepení, šroubování nebo nýtování. Výhodou této koncepce je využití specifických vlastností materiálů. Nevýhodou pak obtížná recyklace na konci životního cyklu výrobku.

### **1.5.2 Svařování kolejových vozidel**

Svařování kolejových vozidel je na evropském kontinentu předepsáno normou ČSN EN 15085 pro železniční aplikace. Mimo tuto normu je pak nutné řídit se i předpisy jednotlivých provozovatelů.

Zákazník po výrobci vyžaduje certifikát o způsobilosti svařování kolejových vozidel. Certifikační úrovně nesou označení CL 1 až CL 4, certifikát CL 1 například mimo jiné opravňuje výrobce svařovat hrubé stavby a rámy podvozku.

Každý svar je zařazen do bezpečnostní kategorie a to do nízké, střední, nebo vysoké podle toho, jaké nastanou důsledky v případě jeho porušení. U nízké bezpečnostní kategorie

se nepředpokládá zranění osob ani zhoršení funkce konstrukce, vysoká bezpečnostní kategorie je opakem. Dále se u svaru určuje kategorie namáhání dle dovoleného napětí ve svaru, označení je opět nízká, střední a vysoká.

Podle bezpečnostní kategorie a kategorie namáhání je následně určena třída provedení svaru, která je uvedena na výkrese (včetně certifikační úrovně výrobce). Její označení je CP A, CP B, CP C1, CP C2, CP C3 a CP D. Obsahuje v sobě minimální požadavky na kontrolu svaru, druhy zkoušek, stupně jakosti svaru. Norma ČSN EN 15085 dále obsahuje například informace o přípravě svarových spojů, doporučených kořenových mezer pro jednotlivé tloušťky svařovaných plechů, otupení a další.

### **1.5.3 Nekonvenční metody spojování HS**

#### **Lepení**

Nejčastějším využitím této technologie je lepení dveří, oken nebo laminátu čela tramvajových vozů. Při konstrukci diferenciální HS lze touto technologií dosáhnout uspokojivých výsledků při dynamickém namáhání. Na druhou stranu spoj degraduje a časem ztrácí mechanické vlastnosti, kterými se vyznačoval na začátku své životnosti. Dále lze u spoje obtížně provést nedestruktivní zkoušky, ty jsou v namáhaných místech nezbytné. Některé metody, jako například kapilární zkouška běžná u svarů, nejsou možné vůbec. Lepený spoj navíc vyžaduje větší kontaktní plochy (často přeplátované spoje), čímž narůstá hmotnost skříně. Lepená konstrukce diferenciální HS, s přihlédnutím k požadované životnosti 30 let, nevyhovuje.

Lepený spoj může být naopak přínosem u hybridních skříní, kdy se použije v kombinaci se šroubovým spojením, toto spojení by mělo vyhovět požadavku životnosti skříně.

#### **Nýtování**

Tento typ konstrukce se již několik desetiletí v kolejových vozidlech nepoužívá, proto v současné době nejsou ani dostačující technologie na kvalitní hrubou stavbu, která svými vlastnostmi předčí současnou svařovanou konstrukci. Další roli hraje požadavek na bezúdržbovou konstrukci, z těchto důvodů nýtovaná hrubá stavba nevyhovuje současným trendům.



## 1.5.4 Materiály hrubých staveb

Tabulka 3 - vlastností vybraných materiálů hrubých staveb

materiál / vlastnosti	Weldox 700	S355J2C + N	EN AW-ALSiMg(A)
mez pevnosti v tahu $R_m$ [MPa]	750 - 950	470 - 630	260
mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	700	355	215
tažnost A [%]	12	20	8
hustota $\rho$ [ $kg/dm^3$ ]	7,86	7,86	2,7
modul pružnosti E [GPa]	203	203	69,5
cena polotovaru	+	+	-
náklady na výrobu HS	-	-	+

Hlavní roli u výběru hliníku hraje měrná hustota, kvůli jeho nízké pevnosti jsou používány protlačované profily (obrázek 14), které svým tvarem a tloušťkou stěny dosáhnou požadované pevnosti. Cenově nejdostupnějším materiálem je ocel S355J2, polotovar je dodáván ve formě válcovaných plechů. Tento materiál je používán především na hrubé stavby tramvají. U dvoupodlažních jednotek je potřeba dosáhnout nízké hmotnosti při zachování vysoké pevnosti, toho lze dosáhnout použitím vysokopevnostní oceli např. Weldox 700 (popřípadě Domex 700 MC).

## 2 Návrh vlastní koncepce

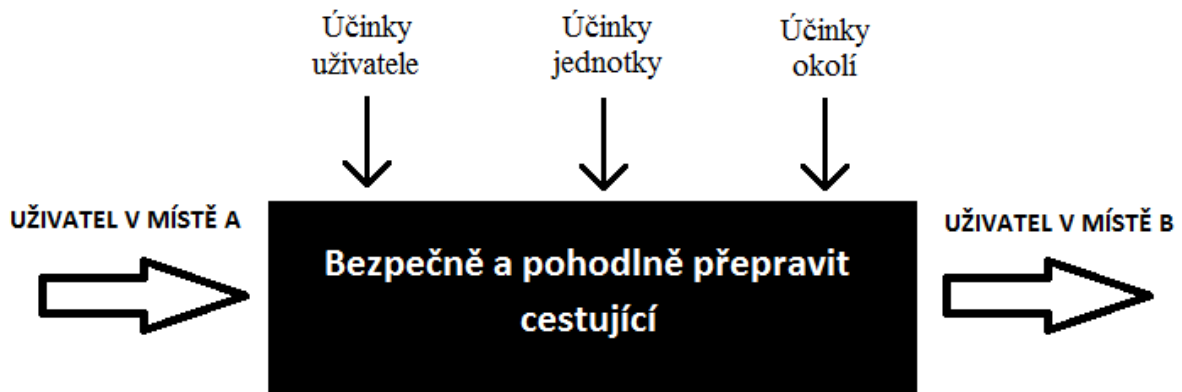
Pomocí funkční a orgánové struktury technického systému budou navrženy tři varianty dvoupodlažní elektrické jednotky, ze kterých bude v závěru této kapitoly vybráno nejvhodnější řešení.

Vstupním předpokladem je pětivozová jednotka provozovaná na českých tratích. Dále se předpokládá, že výrobce není technologicky ani kapacitně omezen na jeden druh konstrukce hrubé stavby.

### 2.1 Návrh funkční a orgánové struktury technického systému

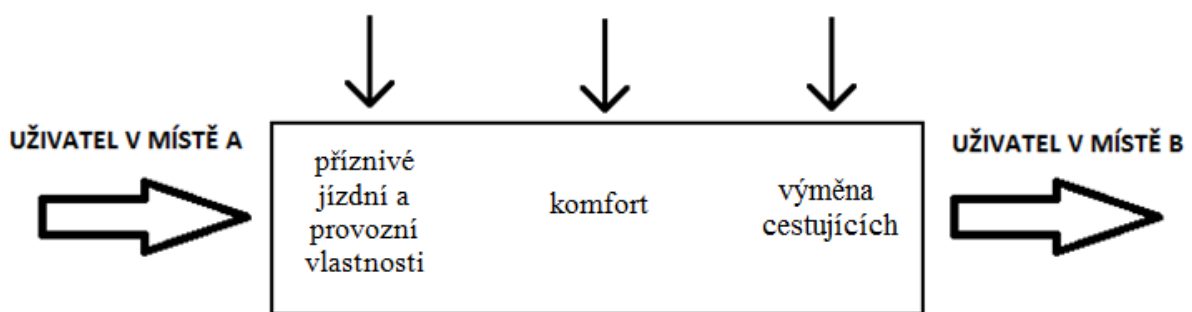
#### 2.1.1 Návrh provozního transformačního procesu TFP – Černá skříňka

Při navrhování transformačního procesu je vycházeno z tzv. černé skříňky. Následně se identifikují účinky tří operátorů, které zajišťují požadovanou transformaci.



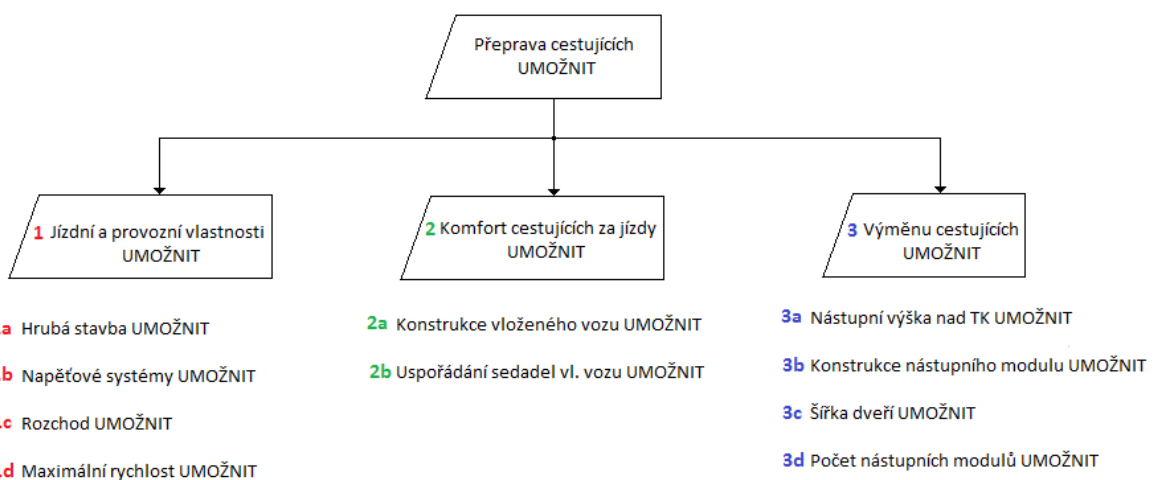
Obrázek 15 - Provozní transformační/technický proces (TrfP) – černá skříňka

K tomu, aby výrobce uspokojil zákazníka, jsou zapotřebí příznivé jízdní a provozní vlastnosti soupravy, komfort pro cestující a snadná výměna cestujících.



Obrázek 16 - Provozní transformační/technický proces (TrfP) – návrh hlavních funkcí

### 2.1.2 Funkční struktura



Obrázek 17 - Návrh funkční struktury

### 2.1.3 Návrh orgánové struktury TS

Návrh orgánů, které zajistí požadované funkce TS, je zpracován pomocí morfologické matice.

Tabulka 4 - Morfologická matice

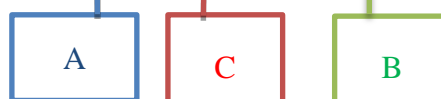
hlavní funkce	č.	vedlejší funkce	orgány		
jízdni a provozní vlastnosti	1a	hrubá stavba	integrální hliníková	diferenciální ocelová	kombinace
	1b	napěťové systémy	jednosystémová	dvousystémová	vícesystémová
	1c	rozchod [mm]	1520	1435	1668
	1d	max. rychlost [km/h]	120	160	200
jízdni komfort	2a	konstrukce vloženého vozu	nesený	2x běžný podvozek	2x Jakobsův podvozek
	2b	uspořádání sedadel vl. vozu	2+1, 2+2	2+2	2+2, 2+3
výměna cestujících	3a	nástupní výška nad TK [mm]	550	600	720
	3b	konstrukce nást. modulu	jednopodlažní	dvoupodlažní	-
	3c	šířka dveří [mm]	1600	1500	1300
	3d	počet nást. modulů	1	2	3

## 2.2 Návrh a vyhodnocení variant

Z navržených orgánů jsou spojením vybrány tři varianty, jejichž výběr lze vidět v následující tabulce.

Tabulka 5 - Morfologická matice s vyhodnocením variant

hlavní funkce	č.	vedlejší funkce	orgány		
jízdni a provozní vlastnosti	1a	hrubá stavba	integrální hliníková	diferenciální ocelová	kombinace
	1b	napěťové systémy	jednosystémová	dvousystémová	vícysystémová
	1c	rozchod [mm]	1520	1435	1668
	1d	max. rychlost [km/h]	120	160	200
jízdni komfort	2a	konstrukce vloženého vozu	nesený	2x běžný podvozek	2x Jakobsův podvozek
	2b	uspořádání sedaček vl. vozu	2+1, 2+2	2+2	2+2, 2+3
výměna cestujících	3a	nástupní výška nad TK [mm]	550	600	720
	3b	konstrukce nást. modulu	jednopodlažní	dvoupodlažní	-
	3c	šířka dveří [mm]	1600	1500	1300
	3d	počet nást. modulů	1	2	3



### 2.2.1 Navržené varianty

Jak již bylo řečeno, předpokladem pro navrhovanou dvoupodlažní jednotku je provoz na českých tratích, tomu odpovídá rozchod 1435mm a maximální rychlost 160 km/h. Koncepce je zvolena jako dvou a vícysystémová a bude určena pro tratě s trakčním napětím 25kV, 50Hz a 3kV ss.

Navržené varianty A, B, C (obrázek 18) jsou pětivozové. Skládají se z motorového vozu, vloženého vozu, nástupního modulu a varianta B i z řídicího vozu. Varianta X je zde pouze pro srovnání, jedná se o běžnou koncepci popsanou v úvodním textu, která má nástupní prostory spojené s oddíly pro cestující. Firma Bombardier Transportation šla se svou

jednotkou Regio 2N odlišnou cestou, zcela oddělila prostor pro cestující od nástupního prostoru vložení nástupního modulu. Z této myšlenky navržené varianty vycházejí.

V nástupním modulu jsou dva dveřní otvory na každé straně. V motorovém a řídicím voze jsou na každé straně umístěny jedny dveře. Nástupní modul je jediný navržen jako jednopodlažní. Získaný prostor na střeše lze využít pro umístění elektrozařízení jako je například transformátor, klimatizace apod.

U variant A a C se při srovnání výkonů ostatních vozidel došlo k závěru, že je výhodnější použít 2 motorové vozy s jedním trakčním podvozkem. Výkon motorů činí 500kW, celkový výkon navržených jednotek je tedy 2MW.

Koncepce mají díky Jakobsovým podvozkům nebo neseným vozům pouze 6 podvozků. Aby nedošlo k jejich přetěžování (dimenze podvozků, nápravové tlaky atd.), jsou vozy těchto koncepcí oproti jednotkám City Elefant a Kiss (délka vozů cca 26m) kratší po vzoru soupravy Regio 2N. Nejdelší čelní vozy měří cca 20m, vložený vůz přibližně 16m a nástupní modul mezi 10 a 14m v závislosti na provedení podvozků.

### **Varianta A**

Uspořádání dle pojezdu:  $B_0'2'2'2'2'B_0'$

Toto řešení se koncepčně shoduje s vozem Regio 2N. Nástupní modul je uprostřed soupravy a odbavuje cestující z vložených vozů. Krajní podvozky jsou hnací, vnitřní podvozky běžné typu Jakobs. Výhodou je vysoká variabilita skládání vozů. Nevýhodou pak může být vyvazování podvozků a hluk od Jakobsových podvozků, který se ponese každým z vozů. Hrubá stavba je z velkoplošných hliníkových profilů, kabiny strojvedoucího jsou ocelové konstrukce.

### **Varianta B**

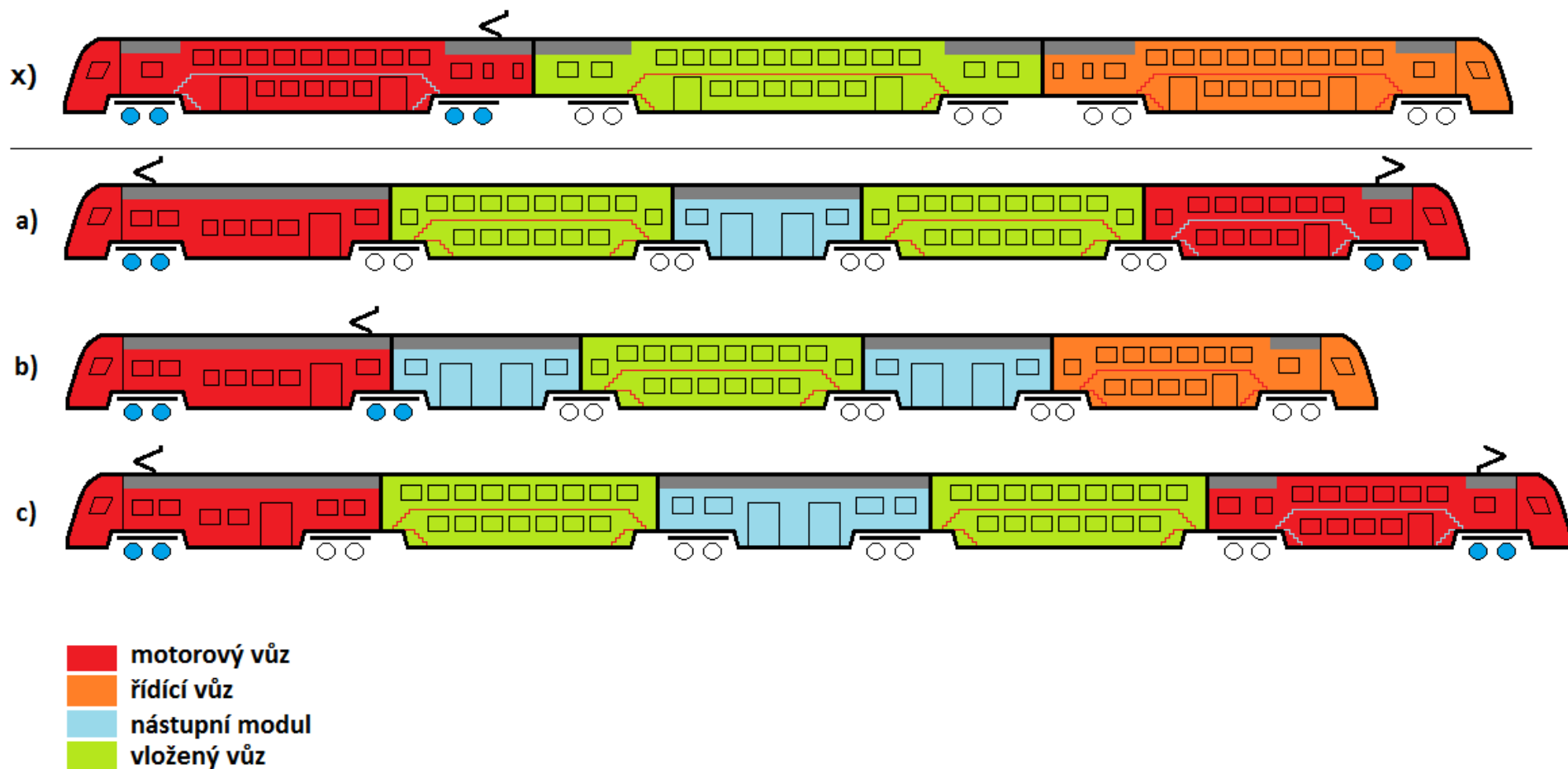
Uspořádání dle pojezdu:  $B_0'B_0'2'2'2'2'$

Jedná se o obdobu varianty A, kdy se za použití Jakobsových podvozků vyměnil vložený vůz za nástupní modul. To má za následek jiné přepravní možnosti. Je zde více prostoru na stání a umístění jízdních kol, na druhou stranu se odebráním vloženého vozu snížila přepravní kapacita pro sedící cestující. Toto řešení může být vhodné pro tratě s častými zastávkami.

### **Varianta C**

Uspořádání dle pojezdu:  $B_0'2' - 2'2' - 2'B_0'$

Řazení vozů je shodné s variantou A, rozdíl spočívá v použití běžných podvozků namísto Jakobsových. Čelní vozy jsou motorové, podvozky pod nástupním modulem jsou běžné. Nástupní modul je prodloužen o 3,5m. Vložené vozy jsou pouze nesené, konstrukčně si tato změna žádá náročnější spojení vozů a při vyvazování podvozků je nutné tento vůz podložit. Odměnou by mělo být odhlučnění vložených vozů, které jsou koncipovány pro největší počet sedících cestujících. Hrubá stavba jednotlivých vozů je kombinací diferenciální ocelové a integrální hliníkové konstrukce.



Obrázek 18 -- návrh koncep

## 2.2.2 Vyhodnocení navrhovaných variant

Tabulka 6 - Vyhodnocení navrhovaných variant

Kritéria		Varianta A	Varianta B	Varianta C	Ideál D
Kritéria provedení	Jízdní a provozní vlastnosti	4	4	4	4
	Komfort cestujících	3	3	4	4
	Výměna cestujících	4	4	4	4
	Celkové součtové hodnocení	11	11	12	12
	Celkové normativní hodnocení	0,92	0,92	1	1
Kritéria nákladů	Výrobní náklady na HS	4	3	4	4
	Náklady na materiál HS	2	4	3	4
	Náklady podvozky	3	3	4	4
	Náklady na opravy HS	1	4	2	4
	Náklady na servis (vyvazování podvozků)	2	2	4	4
	Celkové součtové hodnocení	12	16	17	20
	Celkové normativní hodnocení	0,6	0,8	0,85	1
<b>Pořadí variant po vyhodnocení</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	

V kritériích provedení nejlépe uspěla varianta C, která mírně převyšuje ostatní především díky komfortu v neseném vloženém voze. V nákladových kritériích jsou přednostně uvažovány náklady spojené s hrubou stavbou a podvozky, v ostatních kritériích se předpokládá vysoká podobnost. Varianta B je oproti variantám A a C kratší, proto jsou její výrobní náklady ohodnoceny lépe, než kdyby soupravy dosahovaly stejných délek.

Z tabulky č. 6 vyplývá, že nejvýhodnějšími řešeními jsou varianty B a C. Z důvodu vyšší přepravní kapacity a lepšího jízdního komfortu je však upřednostněna varianta B, která bude v následujících kapitolách zpracována. Vybraná varianta vychází z již existující jednotky Regio 2N od společnosti Bombardier Transportation, inovací je změna typu podvozků a s tím spojená koncepce nesených vozů.

### 2.2.3 Konstrukce HS u zvolené koncepce

Jak již bylo zmíněno v jedné z předchozích kapitol, současným trendem výroby hrubých staveb dvoupodlažních jednotek je diferenciální ocelová nebo integrální hliníková HS. Pro nezávislost v řešení se předpokládá, že výrobce vlastní příslušné certifikáty a splňuje podmínky nutné pro obě metody svařování.

Každý výrobce upřednostňuje jiný typ konstrukce. Škoda Vagonka v Ostravě ve svých dílnách svařuje pouze hliník a jiné než integrální HS nevyrobí, naproti tomu Bombardier v České Lípě dává přednost vysokopevnostní oceli s vyšší mezí kluzu ke svařování diferenciálních konstrukcí. Siemens využívá pro dvoupodlažní jednotky převážně hliník, ale jednotka Zürich S-Bahn má diferenciální HS z vysokopevnostní oceli. Obě technologie mají své přednosti, ale ve výsledku jsou dle slov odborníků z praxe cenově i hmotnostně

srovnatelné. Mírnou převahu může mít ocel, která je po deformaci mnohem lépe opravitelná. Ve spoustě případů lze zdeformovaný plech nahřát a vrátit jej do původní polohy. U hliníkových profilů je nutné zdeformované části nahradit novými. Protože je výroba protlačovaných profilů mnohem technicky náročnější a dražší, než vypalování dílů z ocelového plechu, musí se výrobci hrubých staveb obrátit na externího dodavatele (2 výrobci v Evropě). To má mnohdy za následek delší dodací lhůty. Pro diferenciální stavby si drtivá většina výrobců vypaluje profily sama a je tak závislá pouze na polotovaru ve formě plechových tabulí. Na druhou stranu má integrální konstrukce lepší vzhled, bočnice z velkoplošných profilů jsou hladké bez hrbolů.

Nástupní článek je relativně krátký, navíc jsou v obou bočnicích dva velké dveřní otvory v těsné blízkosti, proto se zdá jako výhodnější diferenciální konstrukce HS. Vyrobít krátký protlačovaný profil je ekonomicky méně výhodné než vypálit několik dílů z plechu, které jej nahradí. Navíc je v tomto případě zanedbatelná přednost Al profilů v podobě počtu svarů, ta má svůj význam především u dlouhých vozů (CityElefant - řídicí vůz - 27m). Srovnatelnou hmotnost HS z Al profilů lze získat u diferenciální HS použitím vysokopevnostní oceli namísto oceli konstrukční (S355J2C).

Vložené vozy mají v bočnici pouze okna, odpadá zde nutnost použití objemných frézovanců v oblasti dveří. Proto se u nich spíše nabízí varianta hliníkových profilů. Pro čelní vozy je zvolena kombinace hliníkových profilů a oceli. V době vzniku jednotky City Elefant se čela řídicích a motorových vozů vyráběla z protlačovaných profilů jako celá konstrukce této soupravy. V současné době už toto řešení není možné, důvodem jsou přísnější požadavky na crashtesty nařízené normou, které by hliníkové čelo v případě srážky nesplňovalo. Proto se kabina strojvedoucího vyrobí z oceli a tělo vozu za kabinou strojvedoucího bude, z důvodu využití některých shodných konstrukčních prvků s vloženým vozem, z hliníkových profilů.

Navržená dvoupodlažní jednotka je tedy kombinací diferenciální a integrální HS, kdy nástupní moduly budou čistě diferenciální konstrukce z vysokopevnostní oceli, čelní a vložené vozy pak z velkoplošných Al profilů s ocelovou kabinou strojvedoucího.

U takto zvoleného provedení je zásadní, aby u hotové soupravy nebyl navenek patrný rozdíl v konstrukci HS u sousedních vozů. Integrální hliníková HS má na bočnicích minimum svarů, proto je povrch takovéto bočnice hladký bez hrbolků. Pokud ale výrobce dokáže vyrobít diferenciální HS kvalitně, může se čerpat z předností obou typů konstrukce.

### 3 Studie vybrané vozové skříně

V této kapitole budou vypočteny základní rozměry vozidla, ze kterých vznikne studie vybraného vozu zvolené koncepce. Tímto vozem je nástupní modul, proto k němu bude vztažena většina výpočtů a příslušných obrázků. Referenčním vozem je elektrická jednotka Regio 2N, ze které jsou převzaty některé rozměry a rozvržení interiéru vozu.

#### 3.1 Výpočet kinematického zúžení

Následující výpočty a informace o průjezdných průřezích jsou v souladu s ČSN 28 0312 a ČSN 73 6320. Výpočet bude proveden pro podvozkové vozy, tj. pro nástupní modul délky 13,5m a řídicí vůz délky 21m. Nesený vůz bude při průjezdu zatáčkou mírně



vybočovat, to je způsobeno polohou bodů, kolem kterých se vůz natačí, toto vybočení bude zohledněno při stanovení profilu vozidla.

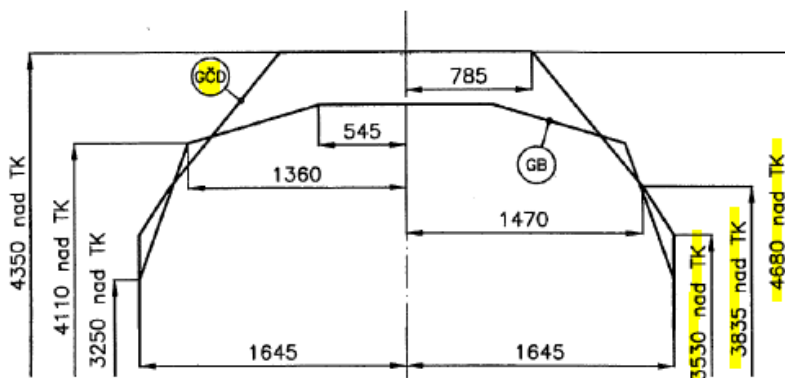
### Vstupní hodnoty

součinitel naklonění vozidla	$s = 0,4$
maximální posuv podvozku v ložisku	$q = 0,0027 \text{ m}$
úhel náklonu (symetrie)	$\eta_0 = 0$
výška pólu naklápění	$h_c = 0,7 \text{ m}$
příčná vůle vnější v oblouku R 250	$w_{a(250)} = 0,048 \text{ m}$
příčná vůle vnitřní v oblouku R 250	$w_{i(250)} = 0,023 \text{ m}$
příčná vůle vnější v oblouku R 150	$w_{a(150)} = 0,045 \text{ m}$
příčná vůle vnitřní v oblouku R 150	$w_{i(150)} = 0,018 \text{ m}$
příčná vůle v přímé trati	$w_\infty = 0,058 \text{ m}$
vzdálenost styčných kružnic	$2s = 1500 \text{ mm}$
vzdálenost středu ložisek	$2b = 2000 \text{ mm}$
vzdálenost otočných čepů - nástupní modul	$a = 10000 \text{ mm}$
vzdálenost vyšetřovaného místa od osy podvozku - nástupní modul	$n_i = 5000 \text{ mm}$
vzdálenost vyšetřovaného místa od osy podvozku - nástupní modul	$n_a = 1750 \text{ mm}$
rozvor podvozku	$p = 2500 \text{ mm}$
Rozchod maximálně opotřebovaného dvojkolí	$d = 1410 \text{ mm}$
Délka vozu - nástupní modul	$L = 13500 \text{ mm}$
vzdálenost otočných čepů - řídicí vůz	$a = 17000 \text{ mm}$
vzdálenost vyšetřovaného místa od osy podvozku - motorový/řídicí vůz	$n_i = 8500 \text{ mm}$
vzdálenost vyšetřovaného místa od osy podvozku - motorový/řídicí vůz	$n_a = 1750 \text{ mm}$
Délka vozu - řídicí vůz	$L = 20,5 \text{ m}$

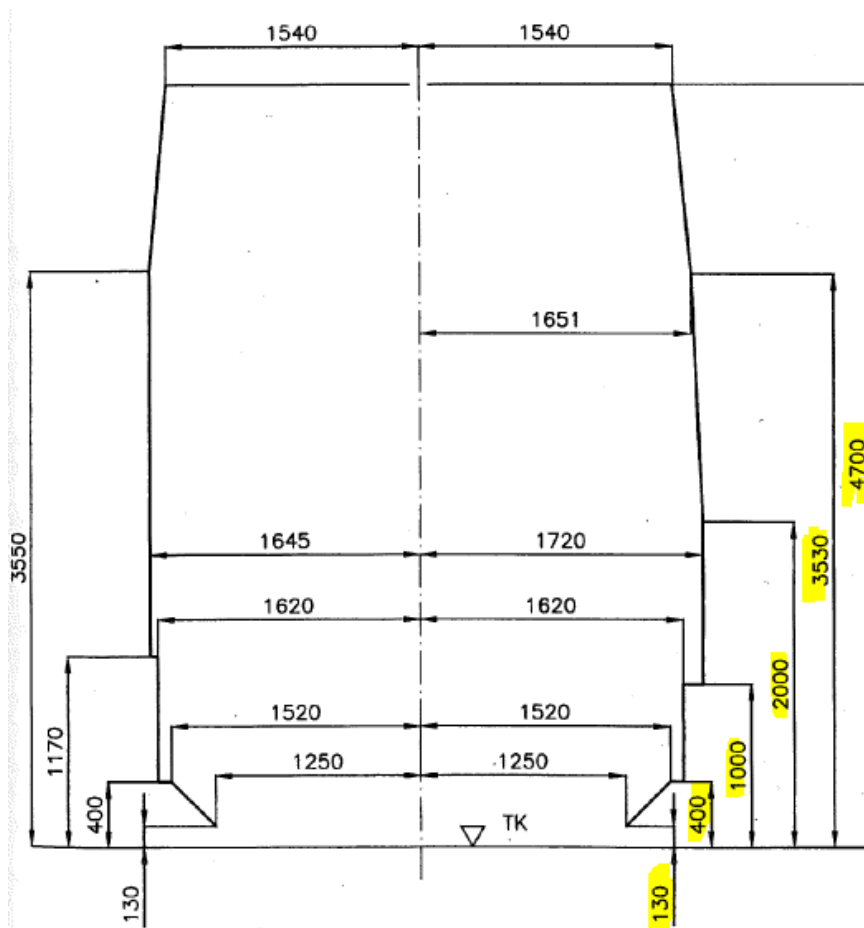
Vyhláška UIC 505-1 stanovuje vztažnou linii kinematického obrysu pro vozidla s rozchodem 1435 mm na mezinárodních tratích. Pro větší přepravní kapacitu nákladních vozů a v tomto případě i většího komfortu cestujících lze vozy rozšířit na vztažnou linii GČD (obrázek 19) a GC (obrázek 20 – rozšířená pravá část). Vztažné linie GC a GČD se od sebe liší pouze v horní části, GČD je normována u Českých drah. Jednou ze zásad rekonstrukcí na regionálních tratích, vydaných organizací Správa železniční a dopravní cesty, je zajistit prostorovou průchodnost danou průjezdným průřezem Z-GČD, i z tohoto důvodu bude elektrická jednotka v této práci navržena ke vztažné linii kinematického obrysu GČD.

Výpočet kvazistatické výchylky a hodnot vnitřního/vnějšího zúžení bude pro názornost rozepsán pro tři výšky h nástupního modulu, ostatní vypočtené hodnoty jsou

zaznamenány na konci kapitoly v souhrnné tabulce. Kompletní výpočet je proveden v programu MS Excel.



Obrázek 19 - vztažné linie kinematických obrysů GB a GČD [2]



Obrázek 20 - vztažné linie kinematických obrysů GC [2]

### 3.1.1 Kvazistatická výchylka vozidla

a) Pro  $h > 0,5$

$$z = \left[ \frac{s}{30} \right] \cdot |h - h_c|$$

b) Pro  $h < 0,5$

$$z = \left[ \frac{4s}{30} \right] \cdot |h_c - h|$$

- pro výšku  $h = 130$  mm platí:

$$z = \left[ \frac{4 \cdot 0,4}{30} \right] \cdot |0,7 - 0,13| = 0,030m$$

- pro výšku  $h = 400$  mm platí:

$$z = \left[ \frac{4 \cdot 0,4}{30} \right] \cdot |0,7 - 0,4| = 0,016m$$

- pro výšku  $h = 1000$  mm platí:

$$z = \left[ \frac{0,4}{30} \right] \cdot |1 - 0,7| = 0,004m$$

### 3.1.2 Vnitřní zúžení $E_i$

- podmínky pro výpočet  $E_i$ :

- $a \cdot n - n^2 + \frac{p^2}{4} - 500 \cdot (w_\infty - w_{i(250)}) \leq 250 \cdot (1,465 - d) - \begin{matrix} 2,5^1 \\ 0^2 \end{matrix}$
- $a \cdot n - n^2 + \frac{p^2}{4} - 500 \cdot (w_\infty - w_{i(250)}) > 250 \cdot (1,465 - d) - \begin{matrix} 2,5^1 \\ 0^2 \end{matrix}$

1) platí pro části s maximální výškou 400mm nad TK

2) platí pro části s minimální výškou 400mm nad TK

$$10 \cdot 5 - 5^2 + \frac{2,5^2}{4} - 500 \cdot (0,058 - 0,023) < 250 \cdot (1,465 - 1,41) - \begin{matrix} 2,5^1 \\ 0^2 \end{matrix}$$

- pro výšky  $h \leq 400$ mm nad TK platí:  
9,063 < 11,250

- pro výšky  $h > 400$ mm nad TK platí:  
9,063 < 13,750

- ze splnění první podmínky platí pro  $E_i$  následující vztah:

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

- kde  $x_i$  je:

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

$$x_i = \frac{1}{750} \cdot \left( 10 \cdot 5 - 5^2 + \frac{2,5^2}{4} - 100 \right) + 0,018 - 0,023 = -0,103$$

- $x_i$  je záporné, z tohoto důvodu nebude dále uvažováno

- pro  $E_{i130}$  platí:

$$E_i = \frac{1,465 - 1,41}{2} + 0,0027 + 0,058 + 0,030 - 0,015 = 0,104m$$

- pro  $E_{i400}$  platí:

$$E_i = \frac{1,465 - 1,41}{2} + 0,0027 + 0,058 + 0,016 - 0,015 = 0,089m$$

- pro  $E_{i1000}$  platí:

$$E_i = \frac{1,465 - 1,41}{2} + 0,0027 + 0,058 + 0,004 - 0,015 = 0,077m$$

### 3.1.3 Vnější zúžení

- podmínky pro výpočet  $E_i$ :

$$\bullet \quad a \cdot n + n^2 - \frac{p^2}{4} - 500 \cdot \left[ (w_\infty - w_{i(250)}) \cdot \frac{n}{a} + (w_\infty - w_{a(250)}) \frac{n+a}{a} \right] \leq 250 \cdot (1,465 - d) \cdot \frac{n}{a} + \left| \frac{5^1}{7,5^2} \right|$$

$$\bullet \quad a \cdot n + n^2 - \frac{p^2}{4} - 500 \cdot \left[ (w_\infty - w_{i(250)}) \cdot \frac{n}{a} + (w_\infty - w_{a(250)}) \frac{n+a}{a} \right] > 250 \cdot (1,465 - d) \cdot \frac{n}{a} + \left| \frac{5^1}{7,5^2} \right|$$

1) platí pro části s maximální výškou 400mm nad TK

2) platí pro části s minimální výškou 400mm nad TK

$$10 \cdot 1,75 + 1,75^2 - \frac{2,5^2}{4} - 500 \cdot \left[ (0,058 - 0,023) \cdot \frac{1,75}{10} + (0,058 - 0,048) \cdot \frac{1,75 + 10}{10} \right]$$

$$> 250 \cdot (1,465 - 1,41) \cdot \frac{1,75}{10} + \left| \begin{matrix} 5^1 \\ 7,5^2 \end{matrix} \right|$$

- pro výšky  $h \leq 400\text{mm}$  nad TK platí:  
 $3,398 < 7,406$

- pro výšky  $h > 400\text{mm}$  nad TK platí:  
 $3,398 < 9,906$

- ze splnění první podmínky platí pro  $E_a$  následující vztah:

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

- kde  $x_a$  je:

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

$$x_a = \frac{1}{750} \cdot \left( 10 \cdot 1,75 - 1,75^2 + \frac{2,5^2}{4} - 120 \right) + (0,018 - 0,023) \cdot \frac{1,75}{10} + (0,045 - 0,048) \cdot \frac{1,75 + 8,5}{10} = -0,139$$

-  $x_a$  je záporné, z tohoto důvodu nebude dále uvažováno

- pro  $E_{a130}$  platí:

$$E_a = \left( \frac{1,465 - 1,41}{2} + 0,0027 + 0,058 \right) \frac{2 \cdot 1,75 + 10}{10} + 0,030 - 0,015 = 0,134m$$

- pro  $E_{a400}$  platí:

$$E_a = \left( \frac{1,465 - 1,41}{2} + 0,0027 + 0,058 \right) \frac{2 \cdot 1,75 + 10}{10} + 0,016 - 0,015 = 0,120m$$

- pro  $E_{a1000}$  platí:

$$E_a = \left( \frac{1,465 - 1,41}{2} + 0,0027 + 0,058 \right) \frac{2 \cdot 1,75 + 10}{10} + 0,004 - 0,015 = 0,108m$$

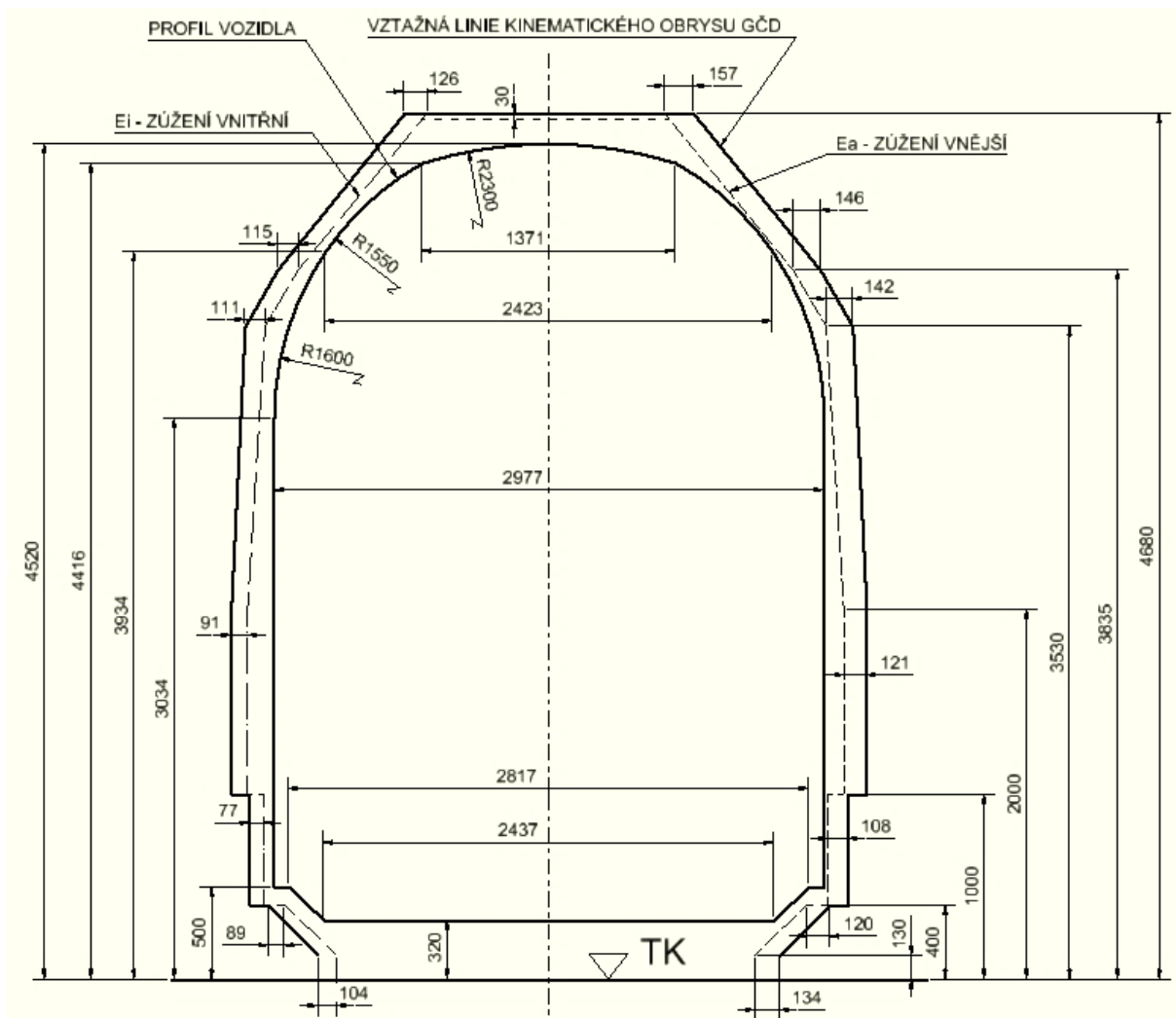
### 3.1.4 Výsledky

**Tabulka 7 - přehled vypočtených hodnot pro nástupní modul v závislosti na výšce nad TK (délka vozu = 13,5m)**

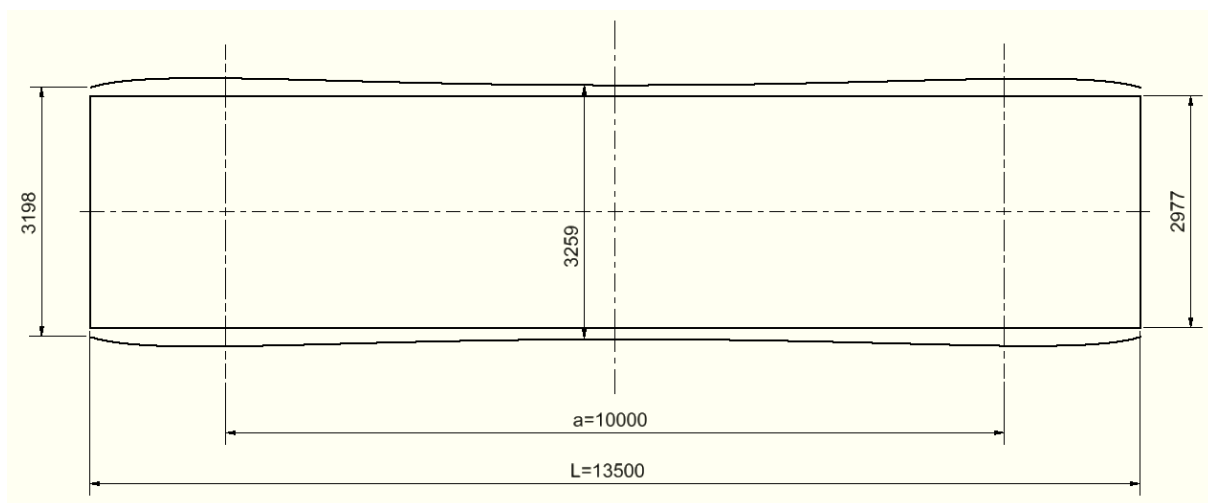
stav	h [m]	z	podmínka Ei [m]:	$x_i \Rightarrow E_i$	Ei [m]	podmínka Ea [m]:	$x_a \Rightarrow E_a$	Ea [m]
1	0,130	0,030	9,063 < 11,250	-0,103	0,104	3,938 < 7,406	-0,139	0,134
2	0,400	0,016	9,063 < 11,250	-0,103	0,089	3,938 < 7,406	-0,139	0,120
3	1,000	0,004	9,063 < 13,750	-0,103	0,077	3,938 < 9,906	-0,139	0,108
4	2,000	0,017	9,063 < 13,750	-0,103	0,091	3,938 < 9,906	-0,139	0,121
5	3,530	0,038	9,063 < 13,750	-0,103	0,111	3,938 < 9,906	-0,139	0,142
6	3,835	0,042	9,063 < 13,750	-0,103	0,115	3,938 < 9,906	-0,139	0,146
7	4,680	0,053	9,063 < 13,750	-0,103	0,126	3,938 < 9,906	-0,139	0,157

**Tabulka 8 - přehled vypočtených hodnot pro motorový/řídící vůz v závislosti na výšce nad TK (délka vozu = 20,5m)**

stav	h [m]	z	podmínka Ei [m]:	$x_i \Rightarrow E_i$	Ei [m]	podmínka Ea [m]:	$x_a \Rightarrow E_a$	Ea [m]
1	0,130	0,030	56,313 > 11,250	-0,040	0,194	17,809 > 6,415	-0,122	0,096
2	0,400	0,016	56,313 > 11,250	-0,040	0,179	17,809 > 6,415	-0,122	0,082
3	1,000	0,004	56,313 > 13,750	-0,040	0,162	17,809 > 8,915	-0,122	0,065
4	2,000	0,017	56,313 > 13,750	-0,040	0,176	17,809 > 8,915	-0,122	0,078
5	3,530	0,038	56,313 > 13,750	-0,040	0,196	17,809 > 8,915	-0,122	0,098
6	3,835	0,042	56,313 > 13,750	-0,040	0,200	17,809 > 8,915	-0,122	0,103
7	4,680	0,053	56,313 > 13,750	-0,040	0,211	17,809 > 8,915	-0,122	0,114



Obrázek 21 - obrys vozidla - nástupní modul



Obrázek 22 - půdorys vozu - nástupní modul, h = 2m

Na obrázku 21 je naznačeno vnější a vnitřní zúžení nástupního modulu vzhledem ke vztažné linii kinematického obrysu vozidla. Naznačený profil vozidla odpovídá pouze tomuto modulu, řídicí vůz je kvůli své délce 20,5m užší o 60mm, tzn. že jeho šířka ve výšce 2m nad TK se rovná 2907mm.

Z půdorysu (obrázek 22) jsou patrné vřle mezi hodnotou šířky vztažné linie (2m nad TK), zmenšené o vnitřní a vnější zúžení, a navrženou šířkou vozu 2977mm. Vřle je ponechána záměrně pro již zmíněné větší zúžení ostatních vozů tak, aby rozdíl šířek vozů zůstal nepatrný a nekazil tak estetický vzhled soupravy.

### 3.2 hrubá stavba – konstrukční návrh

Při konstruování jsou dodržovány rozměry plechových tabulí a pásů tak, aby byl profil vyrobitelný. Dále jsou dodrženy minimální ohybové rádiusy, které stanovil výrobce pro jednotlivé tloušťky plechů. Hrubá stavba je vytvořena v programu Autodesk Inventor 2015, profily z plechu jsou kresleny v modulu sheet metal. Stanovený materiál je Domex 700MC (S690).

Tabulka 9 - rozměry válcovaných polotovarů

polotovar	rozměry		
plech	1000 x 2000	1250 x 2500	1500 x 3000
pás	1000 x 13000 (ohýbačka max. 6m)		

Tabulka 10 – doporučené minimální ohybové rádiusy

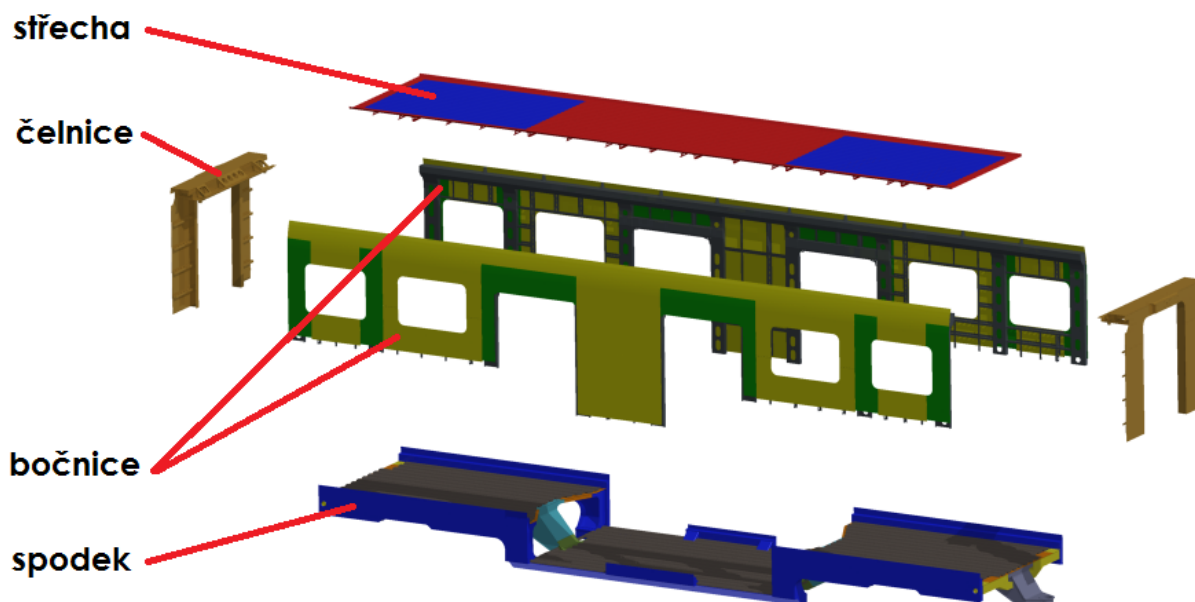
tloušťka plechu	vnitřní ohybový rádius
$t \leq 3$	$0,8 \cdot t$
$3 \leq t \leq 6$	$1,2 \cdot t$
$t > 6$	$1,6 \cdot t$

Cílem je dosáhnout hmotnostně úsporné konstrukce, tomu odpovídají tloušťky použitých plechů, odlehčení a konstrukční řešení jednotlivých uzlů s ohledem na požadovanou pevnost hrubé stavby.



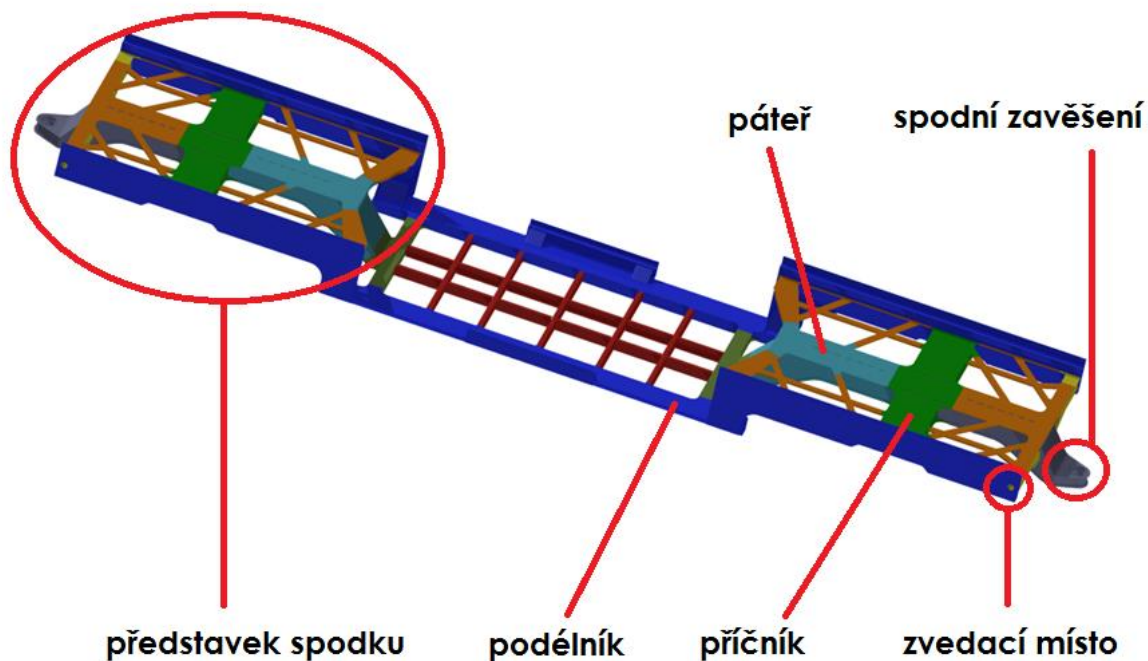
### 3.2.1 Popis konstrukce

Skříň vozu se skládá ze spodku, bočnic, čelnic a střechy, jednotlivé sestavy budou popsány v následujícím textu. Navržená hrubá stavba se skládá z 684 dílů a váží 7124kg.



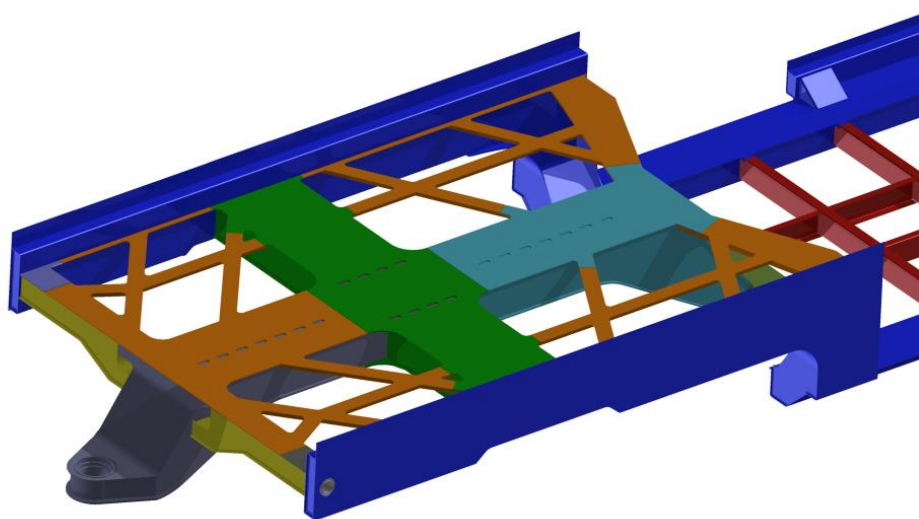
Obrázek 23 - rozpad sestavy hrubé stavby (jedna úroveň)

## Spodek

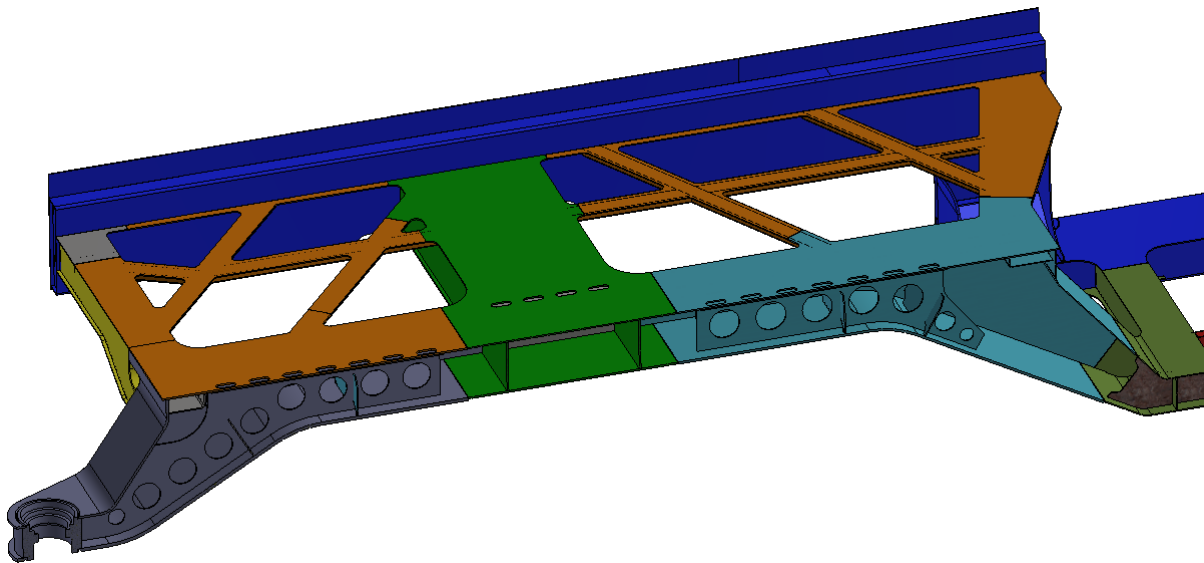


Obrázek 24 - spodek

Spodek je složen ze spodní nástupní části a vyvýšeného představku, pod kterým je umístěn podvozek. Jednotlivé podsestavy jsou barevně oddělené. Hlavní napětí nese páteřový nosník spolu s podélníky, na konci páteře je umístěn nos pro spodní zavěšení vloženého vozu.

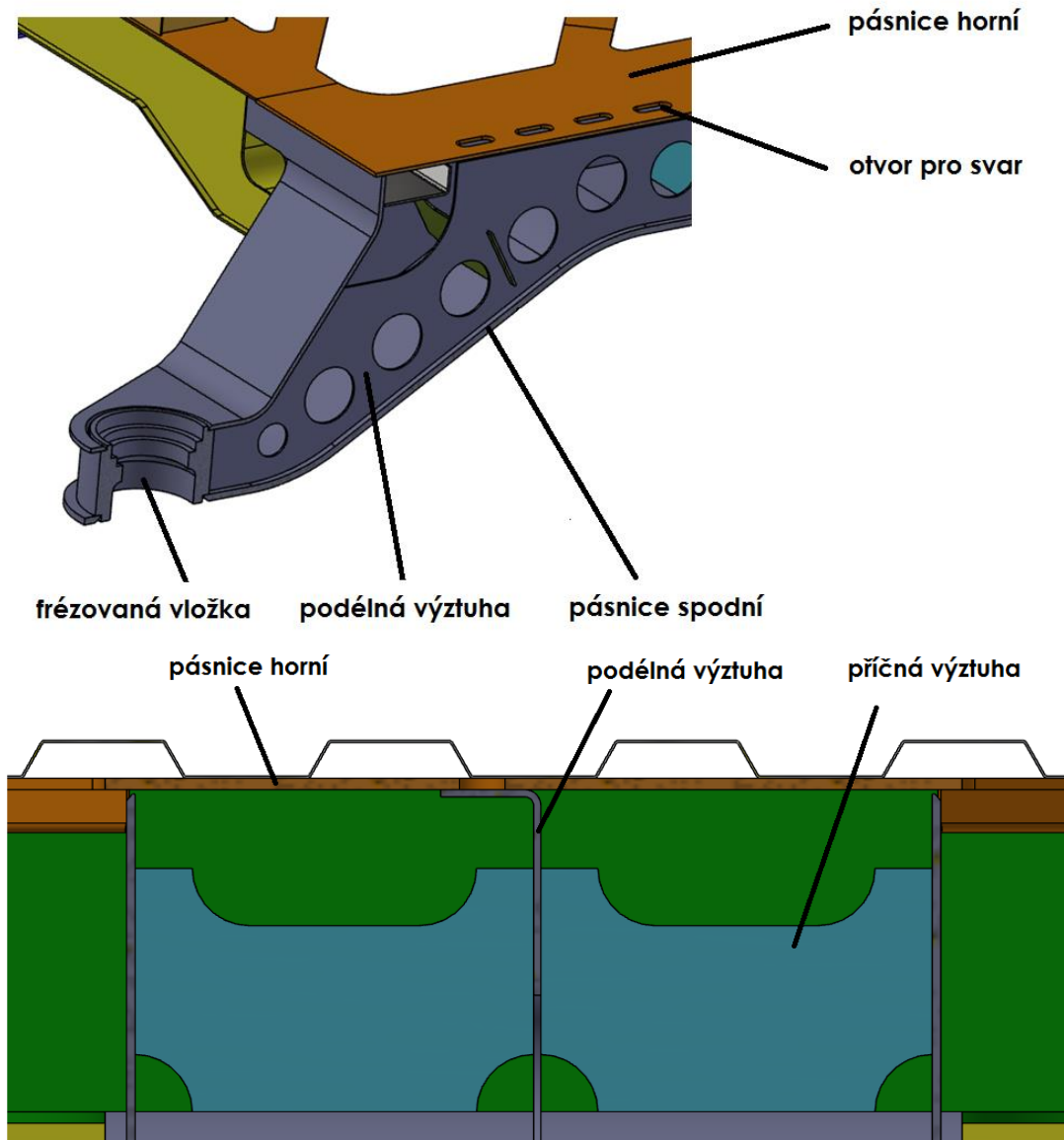


Obrázek 25 - detail představku

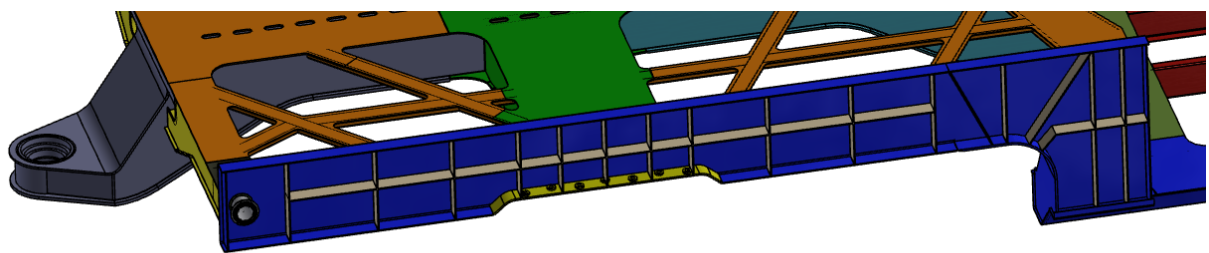
**Obrázek 26 - řez představkem**

Uvnitř páteřového nosníku se nachází podélné a příčné výztuhy. V horních pásnicích jsou vypálené oválné otvory, pomocí kterých budou podélné výztuhy tvaru L přivařeny obvodovým koutovým svarem. Nejlépe to lze vidět na obr. 27, kde je navíc pohled na detail nosu zavěšení. V místě spojení vozů je frézovaná vložka, do ní bude umístěna miska spojení. Nejprve se k sobě přivaří šedé pásnice, stojiny, výztuhy a vložka, následně se sestava zavře oranžovou horní pásnicí. Svařováním nelze dosáhnout požadovaných geometrických tolerancí a rozměrů (zkroucení konstrukce, nepřesnost svařování), z tohoto důvodu bude miska součástí sestavy až po svařování.

Z důvodu přenášení napětí jsou samotné otvory v pásnici nepřípustné. Pokud se ale otvor vyplní svarem, bude se pásnice chovat jako plný materiál. U tohoto řešení musí být zajištěno dolehnutí obruby výztuhy na pásnici tak, aby mezi nimi při svařování nevznikla mezera. Potřebný rozměr výztuhy lze zajistit rozvolněním obruby, které se zakótuje ve výkrese. Při svařování sestavy přesnost nejvíce ovlivní šikovnost svářeče.

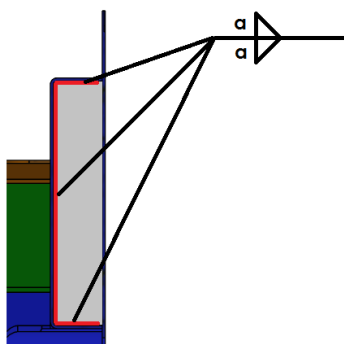


Obrázek 27 - řez nosem zavěšení



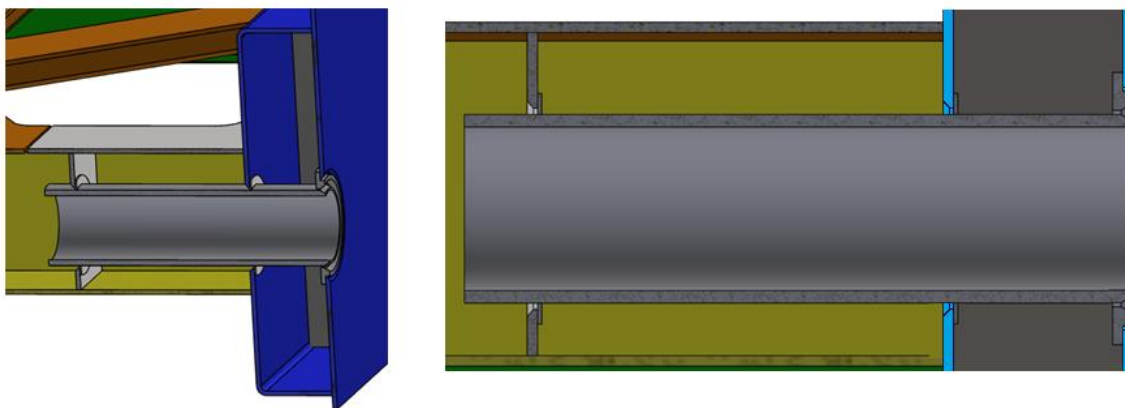
Obrázek 28 - výztuhy v podélníku

Na obrázku 28 jsou odkryty výztuhy v podélníku, ty jsou přivařeny ze tří stran k C profilu, který zavírá vnější plech.



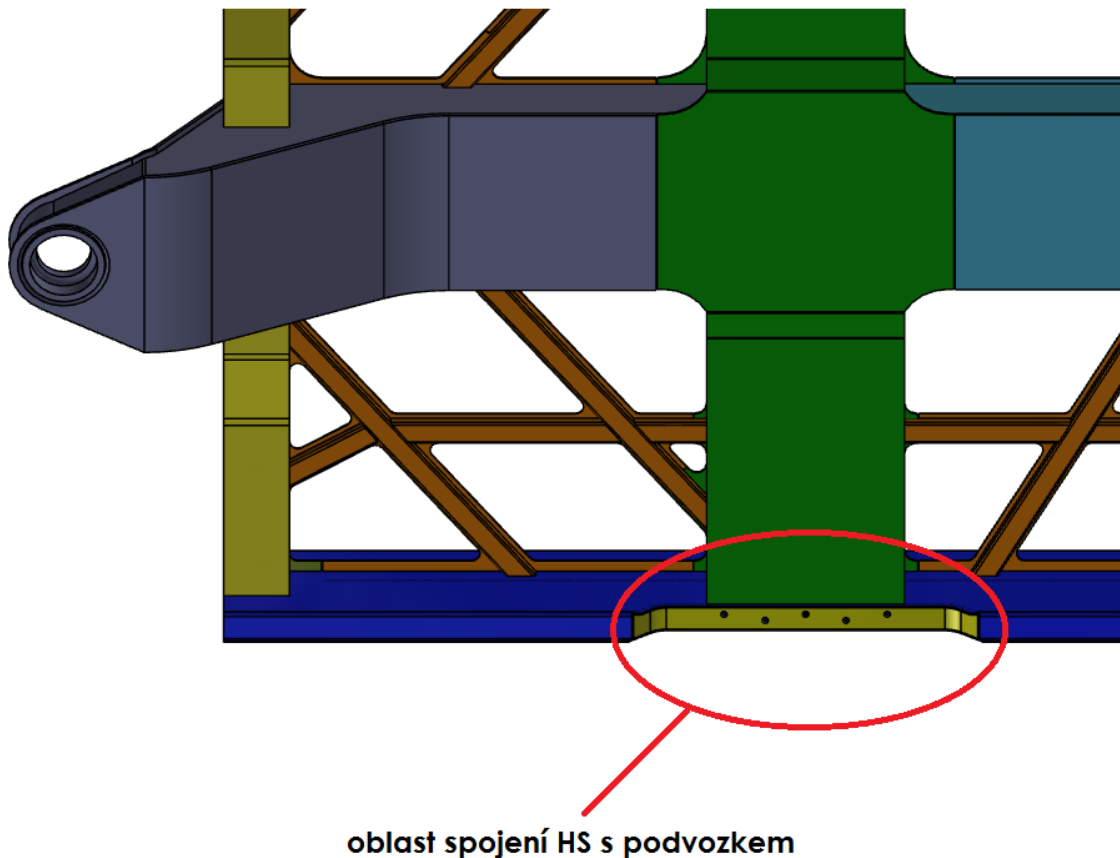
Obrázek 29 - řez podélníkem v oblasti výztuhy

Nezbytnými konstrukčními uzly pro manipulaci se skříní jsou zvedací místa, která slouží pro umístění hrubé stavby na podvozek či vyvazování podvozků. Provedení bývá formou trubek umístěných ve spodku konstrukce. Nástupní modul má 4 zvedací místa umístěná v podélníku v oblasti pod čelnicí. Další možnosti umístění může být v podélníku v oblasti hlavního příčnicku. Obrázek 30 znázorňuje řez navrženým zvedacím místem. Trubka je zavařena na třech místech podloženým obvodovým  $\frac{1}{2}$  V svarem.



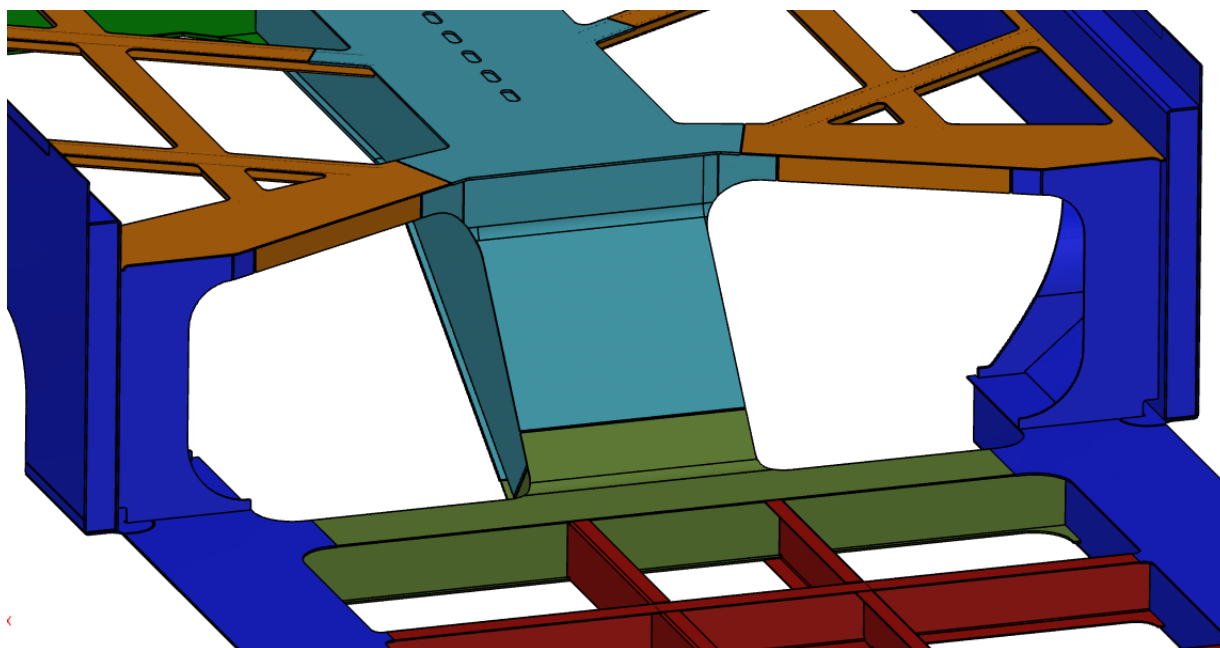
Obrázek 30 - řez zvedacím místem

Spojení podvozku s hrubou stavbou je naznačeno na obrázku 31, v modrém podélníku je v místě spojení žlutý plech tloušťky 8mm se závitovými dírami. Otočný čep bude součástí traverzy podvozku, v níž bude uložen. Spodní pohled také ukazuje vyztužení oranžové pásnice U profily.

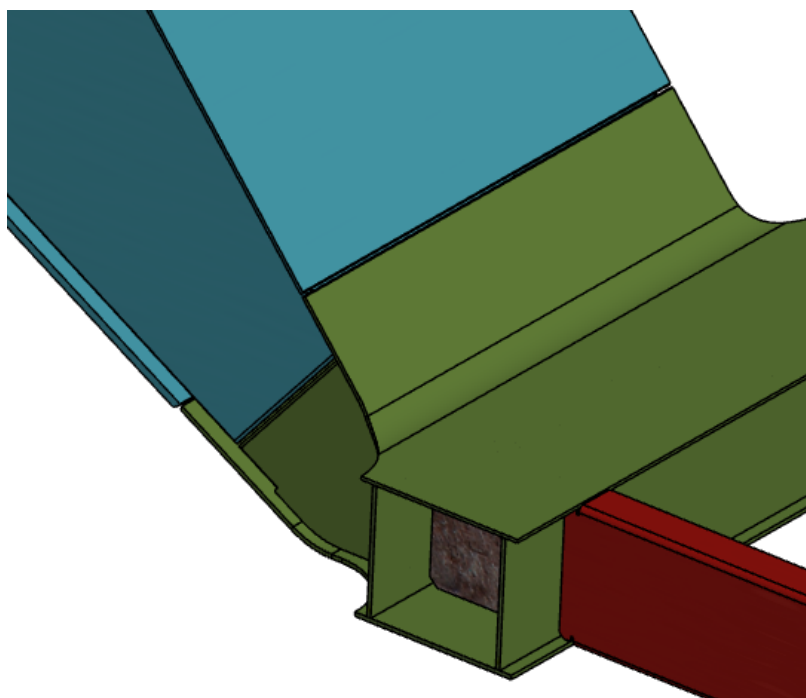


Obrázek 31 - spojení podvozku s HS

Další pevnostně významné místo je oblast přechodu mezi nástupním prostorem a předstávkem spodku. Předpokládá se, že napětí z hlavní páteře bude rozneseno na podélníky. Uprostřed vozu v místě hlavní páteře budou umístěny schody.



Obrázek 32 - oblast přechodu z nástupního prostoru na představek

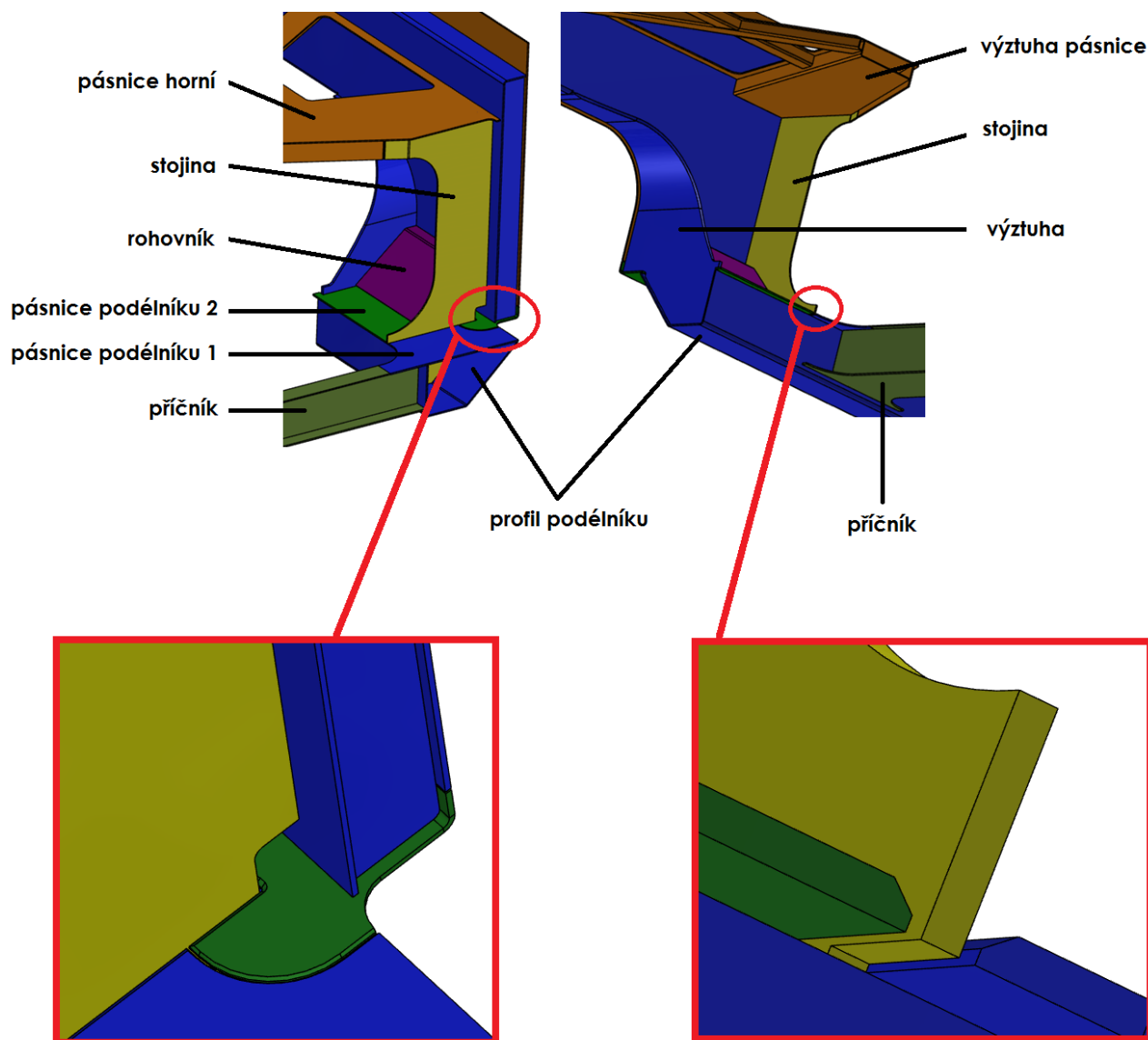


Obrázek 33 - napojení páteřového nosníku na příčník

Na obrázku 34 je znázorněno snížení podélníku do nástupní části. Stojina zasahuje do pásnice podélníku, ta je proto rozdělena na 2 části. Masivní výztuha tloušťky 10mm spojuje jednotlivé díly podélníku, mezi výztuhou a stojinou se nachází rohovník.



Levý detail ukazuje napojení dvou pásnic, z hlediska pevnosti je vhodné ukončit svarové spojení dvou pásnic kolmo na hranu plechu. V pravém detailu je vidět napojení pásnic na stojinu s přípravou na  $\frac{1}{2}$  V svar.



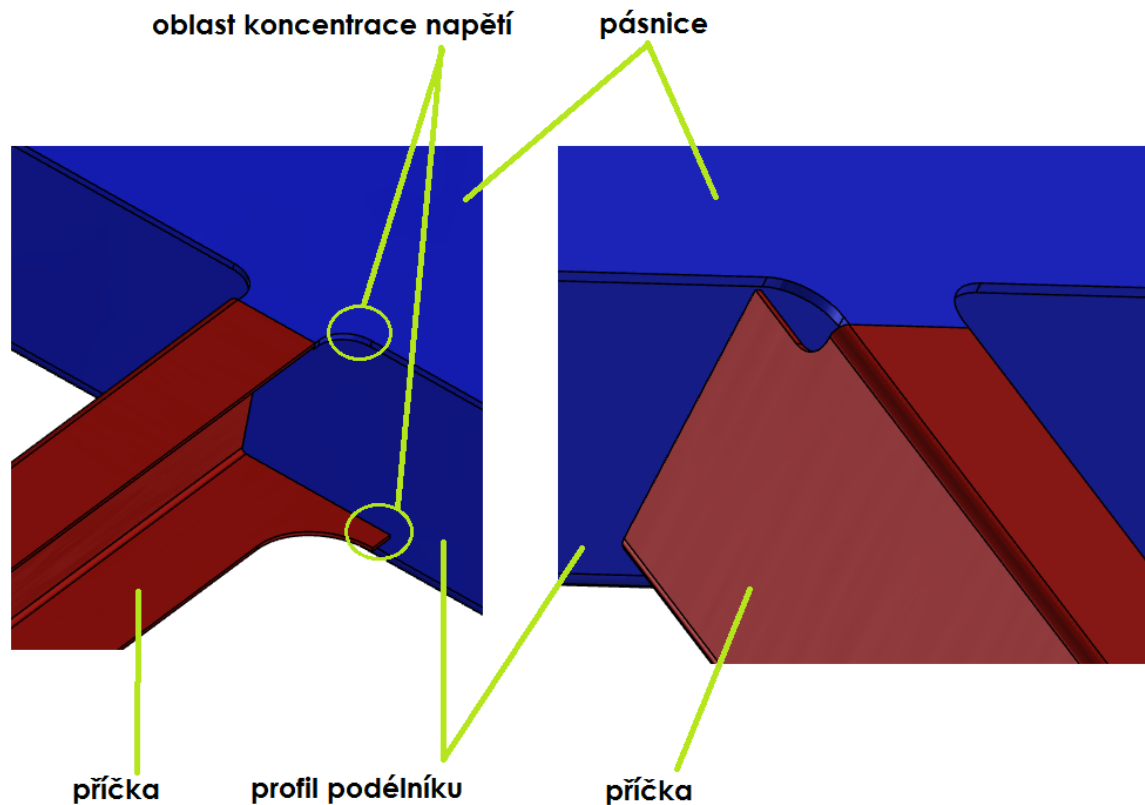
Obrázek 34 - detail přechodu podélníku

Místa znázorněná v obrázku 35 představují oblasti s vyšší koncentrací napětí. Pomocí jednoduchých konstrukčních úprav lze posunout vrub (svar) do pevnostně příznivějších míst.

V horním napojení profilu na pásnici je díky tvaru pásnice odsunut vrub (svar) směrem do materiálu příčky. V dolním napojení C profilu na podélník už toto řešení nelze realizovat, konec profilu se ale může doplnit o odlehčující rádius. Místo s největším napětím se tak posune dále od nosné části profilu. Začátky svarů bývají často méně kvalitní, při

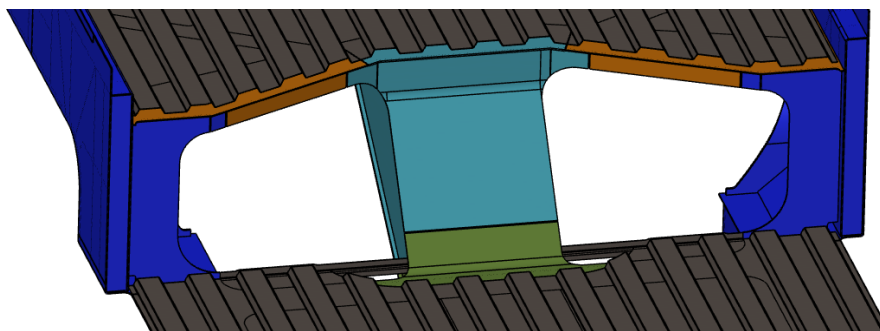


napojení dvou pásnic se dají použít nájezdové desky, které se po svaření odstraní, v tomto případě je jediným řešením již zmíněný odlehčující rádius.



Obrázek 35 - napojení příčky na podélník

Na závěr je ke spodku připojena podlaha, zastoupená slabým signovaným plechem tloušťky 1mm.

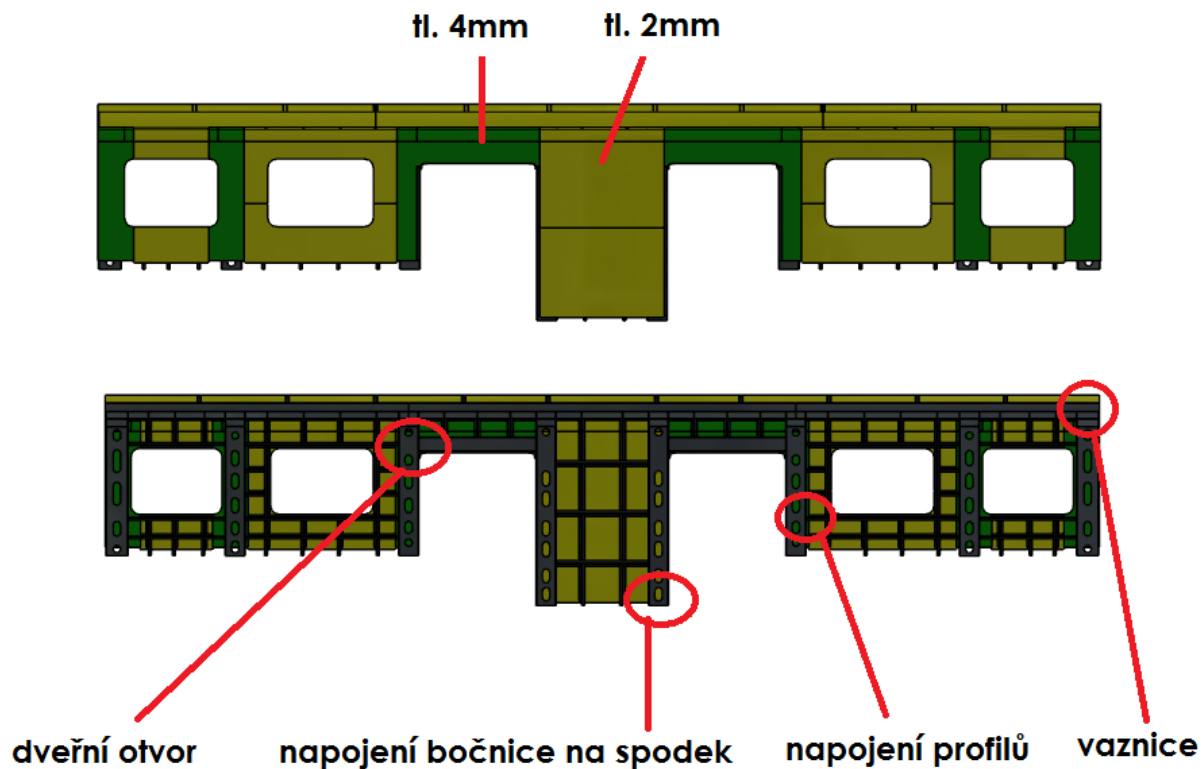


Obrázek 36 – podlaha – signovaný plech

## Bočnice

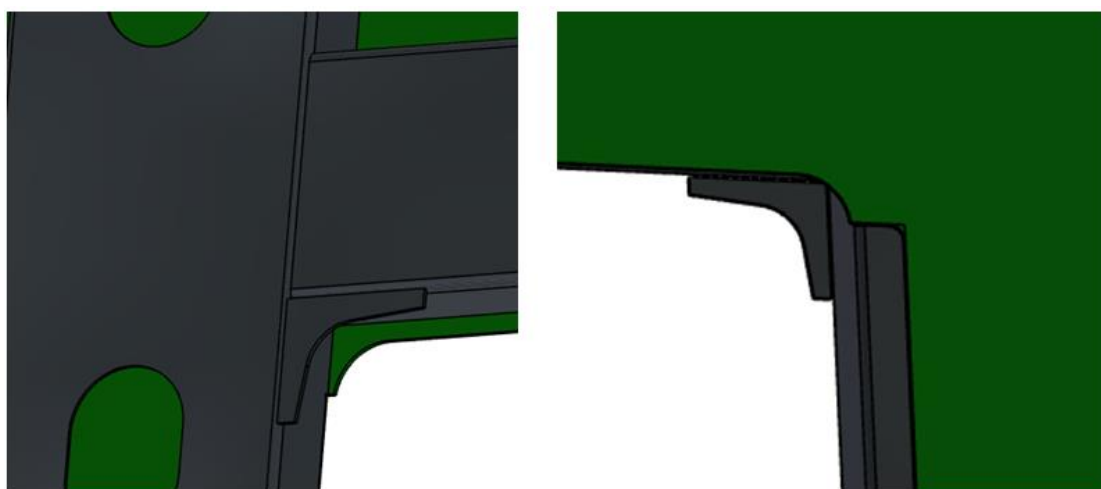
Bočnice se skládá ze sloupků, výztuh, opláštění, vaznice a rohovníků. Většinu výztuh tvoří profily typu Z, které jsou použity především kvůli nižším tepelným můstkům. Pro opláštění, které má kromě estetické funkce i pevnostní význam, se v místech předpokládaného

vyššího namáhání používá plech tloušťky 4mm (tmavě zelená). Zbytek opláštění (žlutá barva) jsou plechy tloušťky 2mm. Z důvodu dosažení hmotnostně úsporné konstrukce, jsou v jednotlivých profilech vypáleny otvory pro odlehčení.



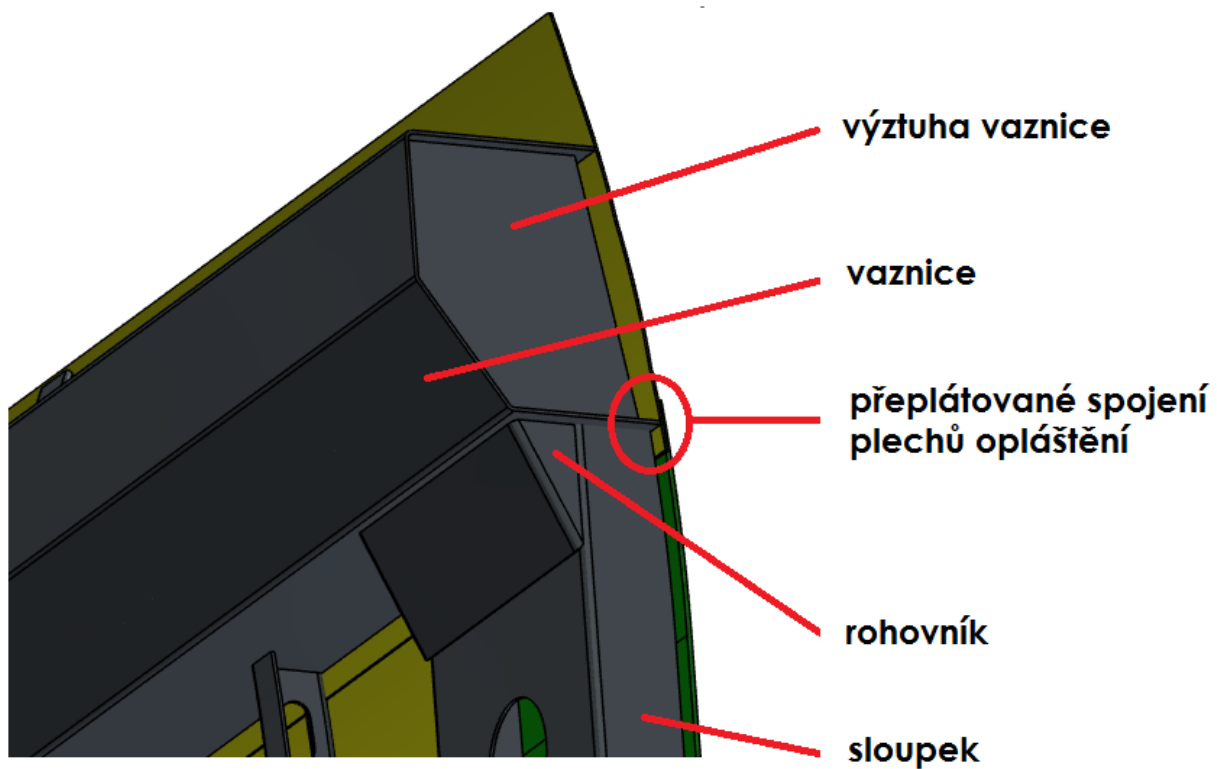
Obrázek 37 - sestava bočnice

Detail na obr. 38 poukazuje na vyztužení horního rohu dveří. Z vnitřní strany je dovařen rohovník, z vnější potom výtuhu tvoří plech opláštění napojený na sloupek.



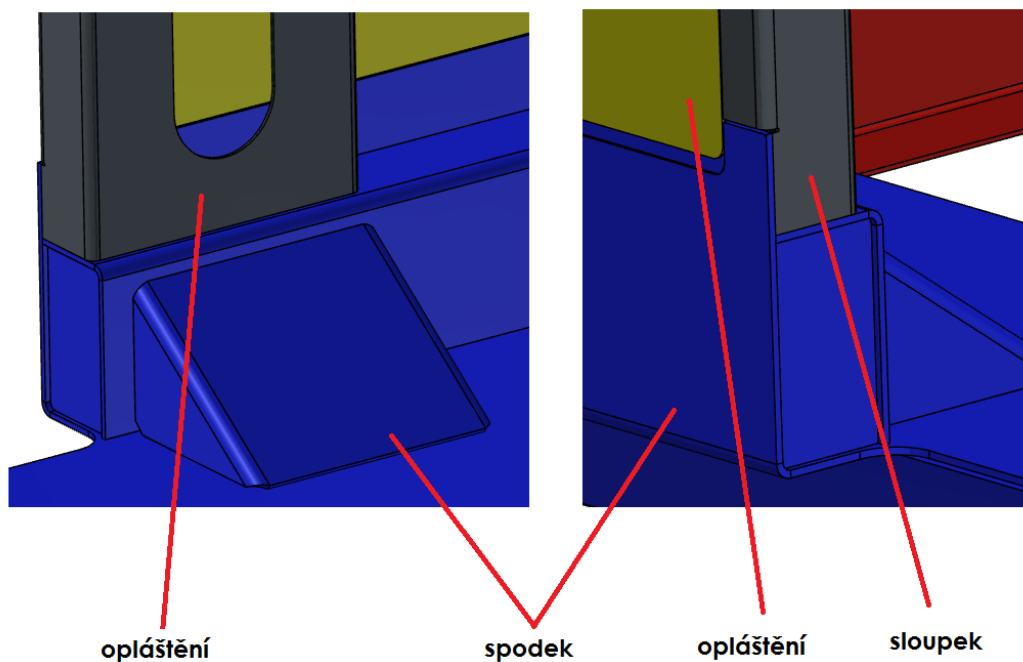
Obrázek 38 - detail výtuhy dveří

Vaznice je ohýbaný profil, rozdělený kvůli své délce na 3 kusy. V místě napojení sloupku na vaznici je pro vyztužení také rohovník. Samotná vaznice je pak po celé své délce zpevněna několika výztuhami. Na obrázku 39 je vidět i místo napojení plechů opláštění, mezi plechy vznikne přeplátovaný spoj.

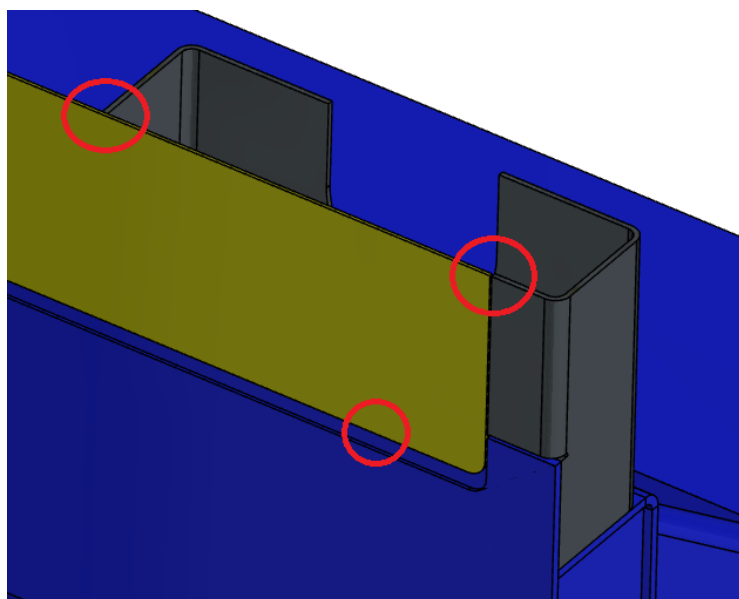


Obrázek 39 - detail vaznice

Řešení napojení bočnice na spodek je na obr. 40. Tvarový sloupek bočnice dosedá na spodek. Po zavaření se přiloží plech opláštění tl. 2mm, který se spojí se sloupkem podloženým  $\pi$  svarem z jedné strany, koutovým svarem ze strany druhé. V horní části spodku je vyfrézovaná drážka pro spojení s plechem opláštění.

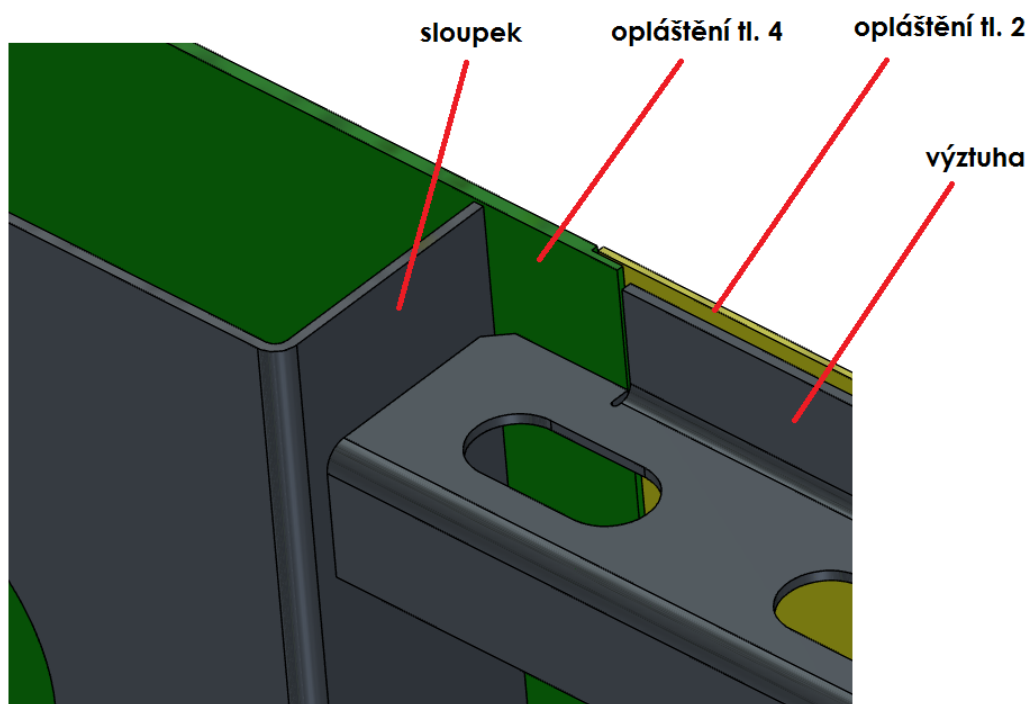


Obrázek 40 - detail napojení bočnice a spodku v oblasti dveří



Obrázek 41 - napojení bočnice a spodku – místa pro svaření plechu opláštění

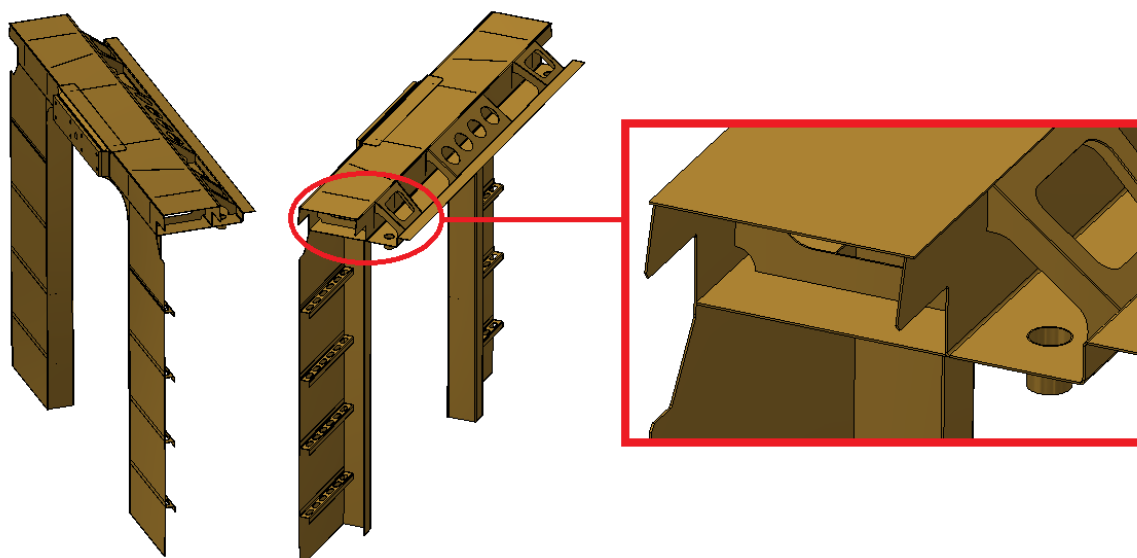
Dalším přiblíženým místem je detail napojení profilů. Silný plech opláštění tl. 4mm má na svém okraji drážku, do které se přiloží plech opláštění tl. 2mm. Drážka kromě tvarového spojení plní i funkci svarové podložky. Rozdílným tloušťkám opláštění je podřízen i tvar Z profilu.



Obrázek 42 – detail napojení profilů

## Čelnice

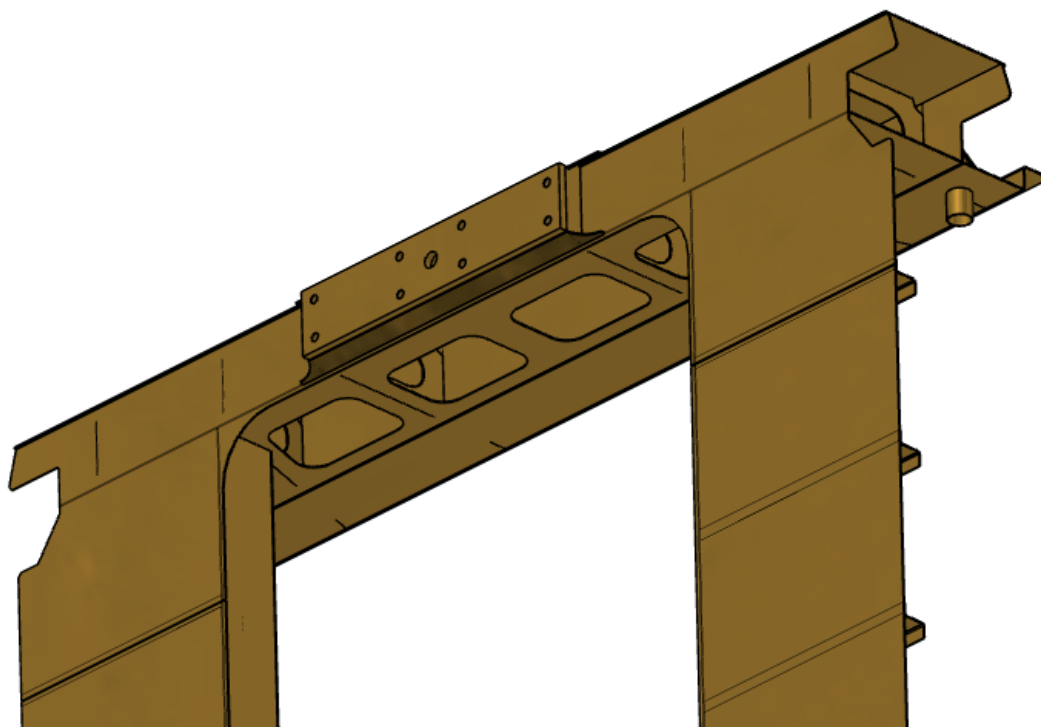
Rám dveří v čelnici tvoří dva L profily, nad kterými je vaznice čelnice, v němž je příprava pro horní spojení vozu. Toto spojení musí umožňovat pohyb vozu ve směru jízdy a bude řešeno nakupovaným odlitkem, proto se jím tato práce nadále nebude zabývat. Opláštění čela tvoří plech tloušťky 3 mm, důvodem takto silného plechu je umístění nýtovacích matic pro přechodový měch. Dalším konstrukčním prvkem je svod vody zobrazený v detailu, jedná se o žlab, do kterého ze střechy steče voda, na koncích žlabu jsou umístěna potrubí pro svod.



Obrázek 43 - sestava čelnice

Deska pro horní spojení obsahuje díry pro šrouby a otvor pro vodící čep, obráběna načisto bude až po svaření celé konstrukce.

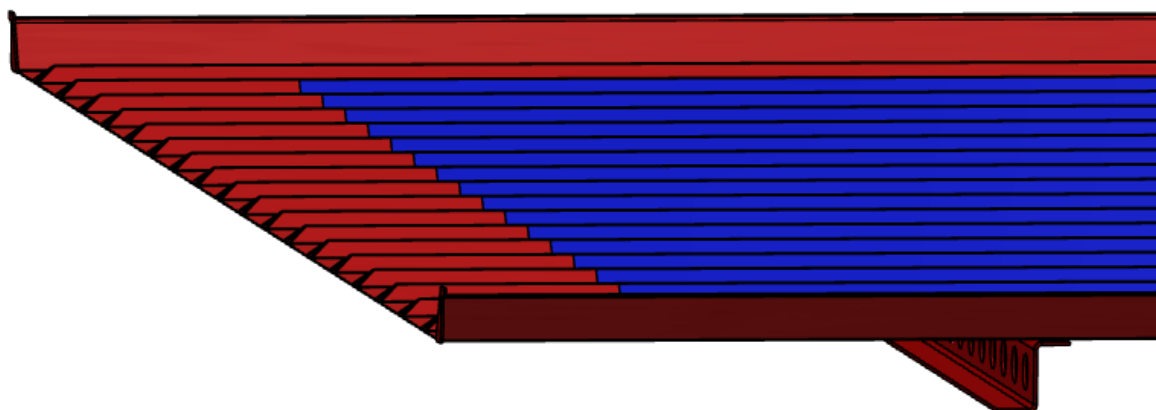
Ve spodní části vaznice čelnice jsou kapsy pro svařování vnitřních žeber, jejich velikost umožňuje přístup svařovací pistole.



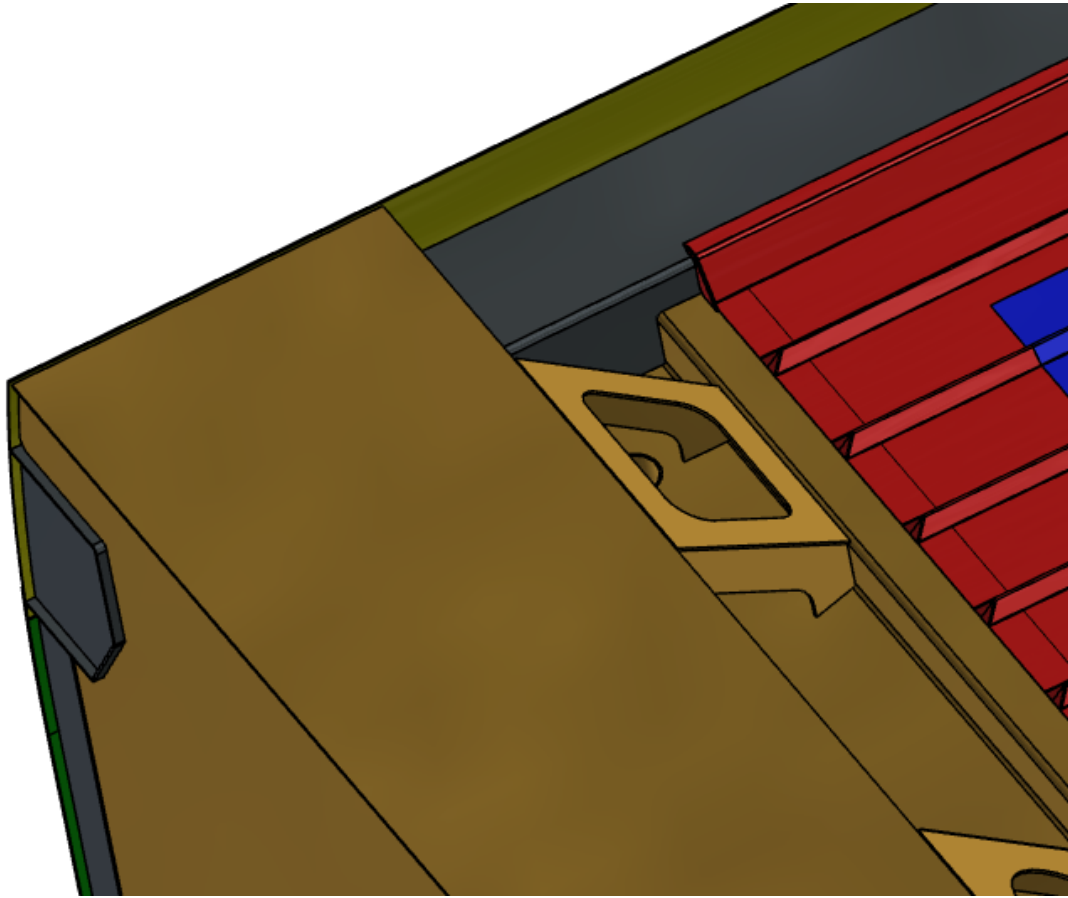
Obrázek 44 - pohled zespoda na vaznici čelnice

### **Střecha**

Sestava střechy je tvořena vlnitým plechem podloženým Z profily. Rozmístění profilů je dle požadavků na elektrozařízení, které bude na střeše umístěno. Modrá plocha znázorňuje místo vyhrazené pro zmíněné elektrozařízení.



Obrázek 45 - sestava střechy



Obrázek 46 - detail připojení střechy k hrubé stavbě

## 4 Pevnostní výpočet podle ČSN EN 12663-1

### Informace o materiálu Domex 700MC

Mez kluzu  $R_{p0,2}$  : 700MPa

Mez pevnosti  $R_m$  : 750MPa

Tažnost A: 12%

Hodnocení napětí v úloze je řešeno pomocí kapitoly 5.4 dle výše uvedené normy. Prokázání statické pevnosti a stability konstrukce je provedeno na základě hodnocení vypočtených napětí MKP analýzou vůči dovolenému napětí vypočteném dle vzorce:

$$U = \frac{\sigma_c \cdot S_1}{R} \leq 1$$

kde:

U – využití prvku

$S_1$  – bezpečnostní součinitel pro mez pružnosti nebo kluzu

$R_{p0,2}$  – smluvní mez kluzu

$\sigma_c$  – vypočítané napětí

Vzorec pro hodnocení špičkových napětí je převzatý z přílohy A: *Analytická řešení místních koncentrací napětí* a je založen na Guestově hypotéze pevnosti maximálních smykových napětí. V jiné literatuře je též tato hypotéza pevnosti označována jako hypotéza pevnosti TRESCA. Ve vzorci je použitý bezpečnostní koeficient  $S_1$ , který je roven hodnotě 1,15 (pokud bude výpočet ověřen zkouškou, může se použít hodnota 1,0). Tento koeficient je zaveden kvůli poměrovým rozdílům mezi Guestovou pevnostní hypotézou a hypotézou Von-Mises, která se běžně používá pro hodnocení napětí pomocí MKP.

$$|\sigma_{max} - \sigma_{min}| \leq 2 \cdot \frac{R_{p0,2}}{S_1}$$

### Dovolená napětí v konstrukci pro posouzení výpočtu

Dovolené napětí v materiálu:  $\sigma_D = \frac{R_{p0,2}}{S_1} = \frac{700}{1,15} = 608MPa$

Dovolené napětí v těsné blízkosti svaru:  $\sigma_{D\ svaru} = \frac{\sigma_D}{1,1} = \frac{608}{1,1} = 553MPa$

### Dovolená napětí při pevnostních zkouškách

Změřená napětí na tenzometrech uchycených na základním kovu musí být dle podmínek:

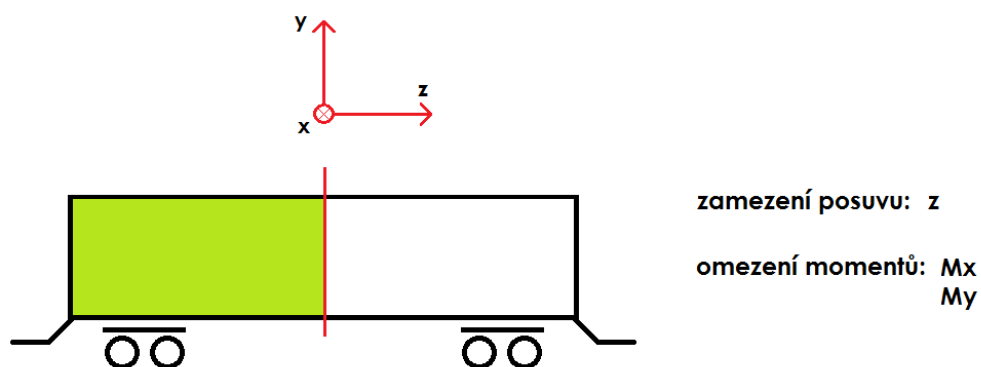
$$R_p > 0,8 \cdot R_m \text{ a } A > 10\%$$

menší než mez kluzu materiálu, tzn. 700MPa ( $\sigma = R_p$ ). V bezprostřední blízkosti svaru je pak hodnota mezního napětí rovna mezi kluzu materiálu podělené bezpečností 1,1 ( $\sigma = R_p/1,1$ ). Po odlehčení konstrukce nesmí dojít k trvalým deformacím.

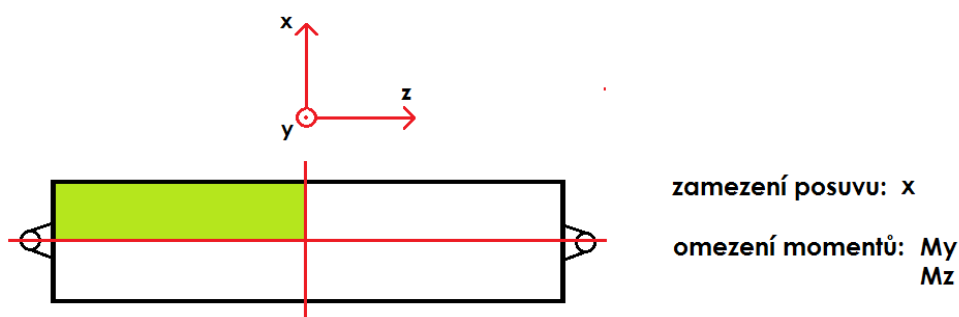
## 4.1 Výpočtový model

Výpočtová část proběhla v programu Siemens NX v modulu Advanced Simulation. Díky symetrii vozu tvoří výpočtový model pouze čtvrtinu skříně. Symetrie je definována pomocí okrajových podmínek popsanych v obrázcích 47 a 48.



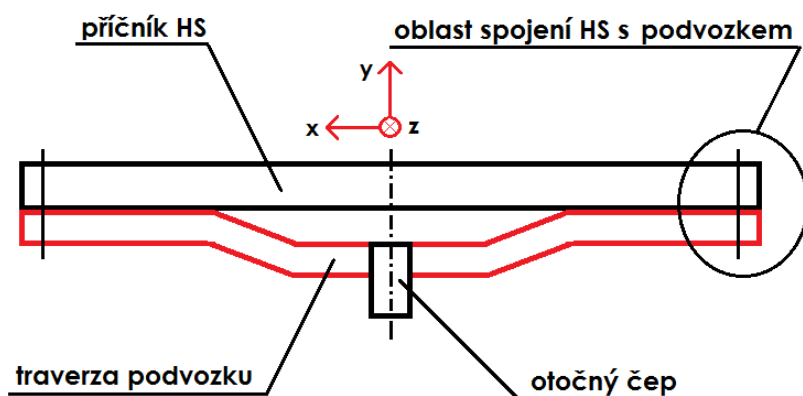


Obrázek 47 - definice symetrie v rovině x, y



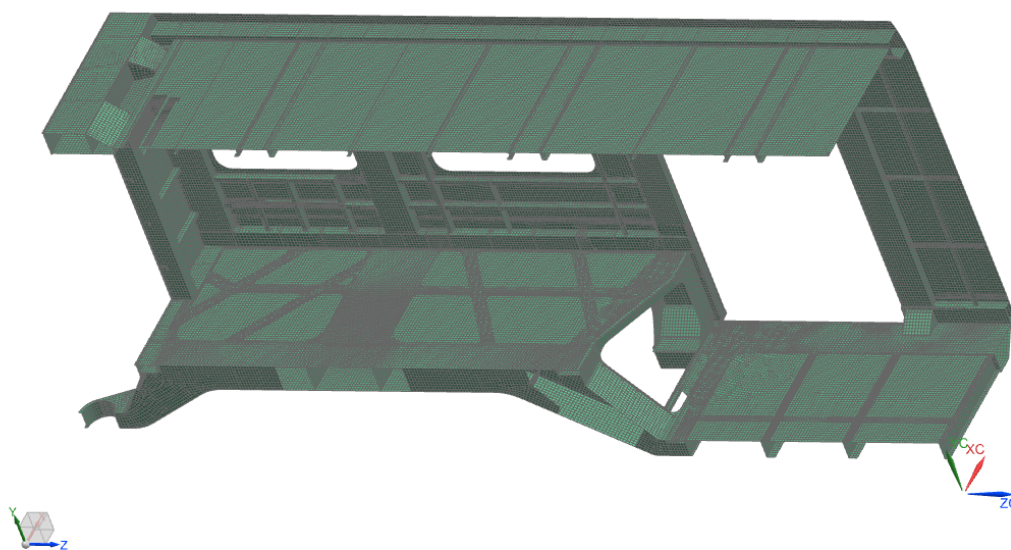
Obrázek 48 - definice symetrie v rovině y, z

Na schématu (obr. 49) je znázorněno spojení hrubé stavby s podvozkem, to je realizováno na krajích příčnicku, kde je zamezen pohyb ve směru osy y. Otočný čep je uložen v traverze podvozku.

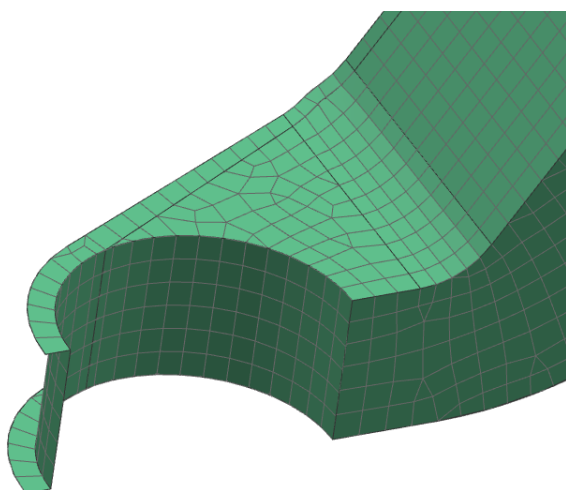


Obrázek 49 - schéma spojení hrubé stavby s podvozkem

Z důvodu složitosti konstrukce je síťový model tvořen střednicemi plechů, ke kterým je přiřazena tloušťka. Použity jsou 2D prvky typu QUAD4.



Obrázek 50 - síť konečných prvků



Obrázek 51 - detail návaznosti uzlů sousedních sítí

## 4.2 Zatěžovací stavy

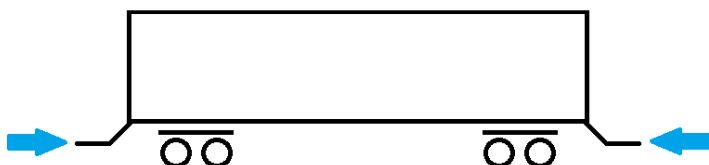
Norma ČSN EN 12663-2 posuzuje v kapitole 6.2 druhy zatížení z hlediska přípustného napětí. Z definovaných zatěžovacích stavů jsou vybrány:

- tlaková síla v oblasti spráhel
- maximální provozní zatížení
- kombinace a) a b)

Dvoupodlažní jednotka pro příměstskou dopravu je dle zmíněné normy zařazena do konstrukční kategorie P-II, která v jednotlivých zátěžných stavech definuje hodnoty zatížení.

#### 4.2.1 Tlaková síla v oblasti spřáhel

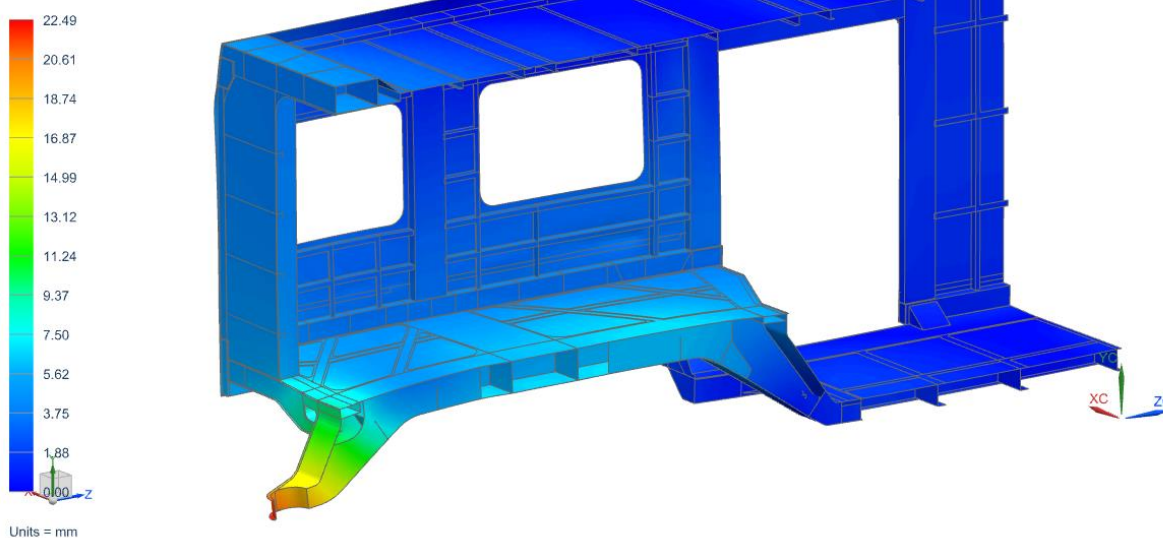
Pro kategorii P-II platí hodnoty síly působící v oblasti spřáhel 1500kN.



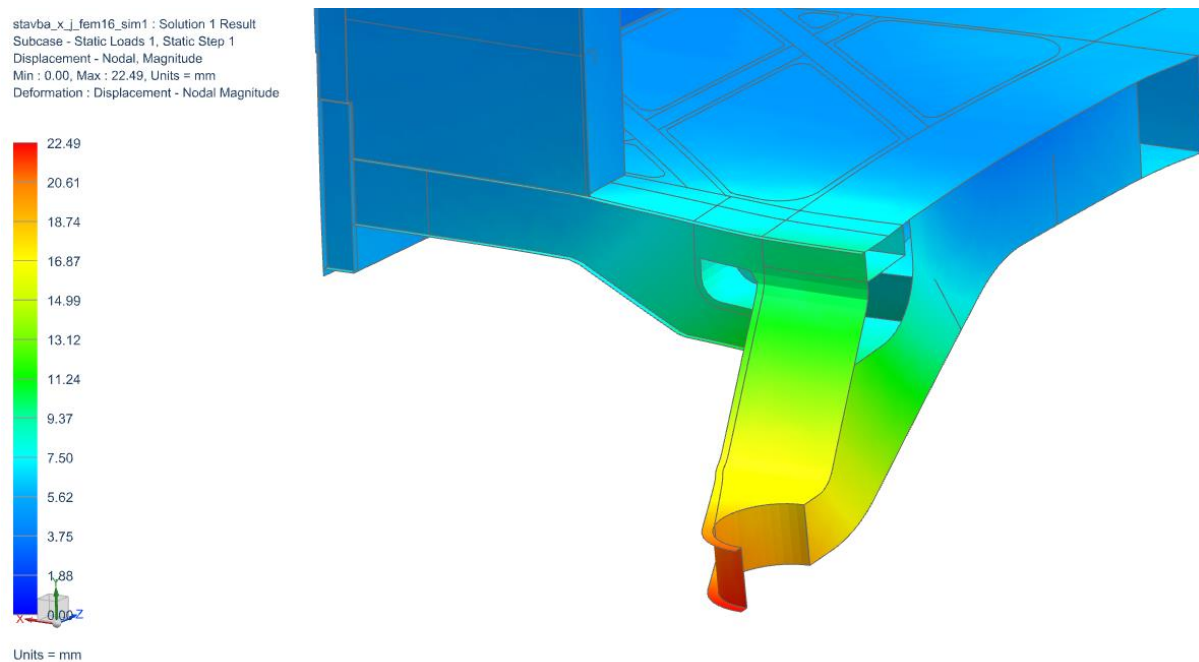
Obrázek 52 - schéma zatížení

#### Deformace

stavba\_x\_i\_fem16\_sim1 : Solution 1 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.00, Max : 22.49, Units = mm  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



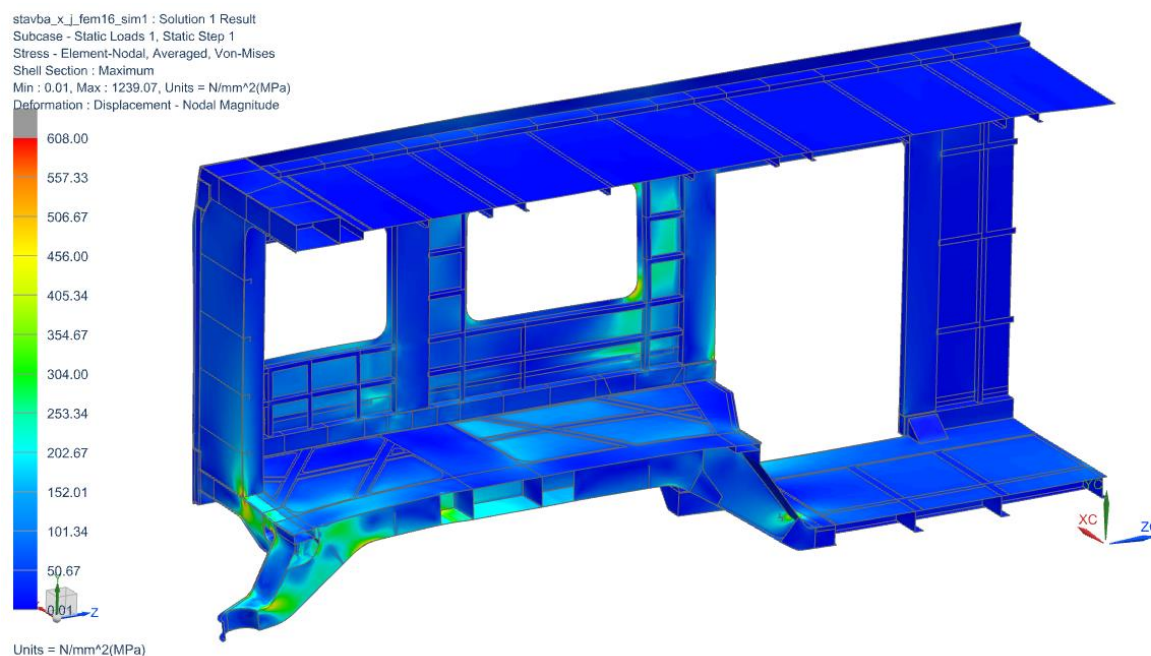
Obrázek 53 - tlaková síla v oblasti spřáhel - deformace



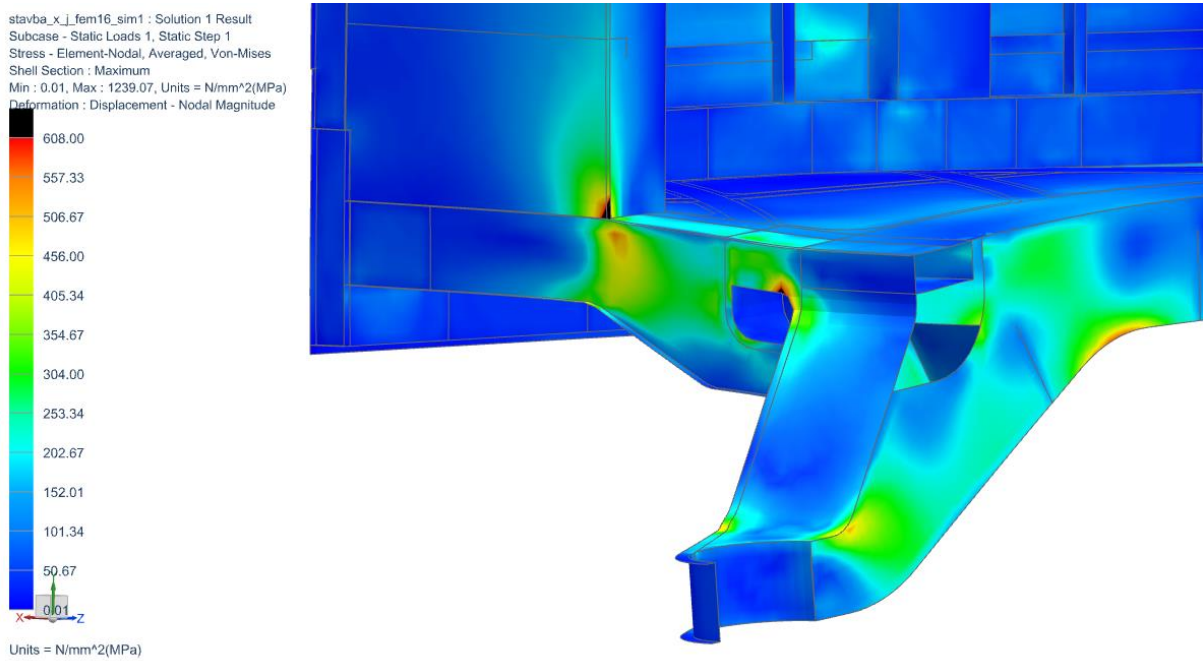
**Obrázek 54 - tlaková síla v oblasti spřáhel - deformace**

Při zatížení silou 1500kN jsou největší deformace v místě protínání čelního příčnicku a páteře, ty mají za důsledek posunutí spodní části nosu spojení o více než 2cm.

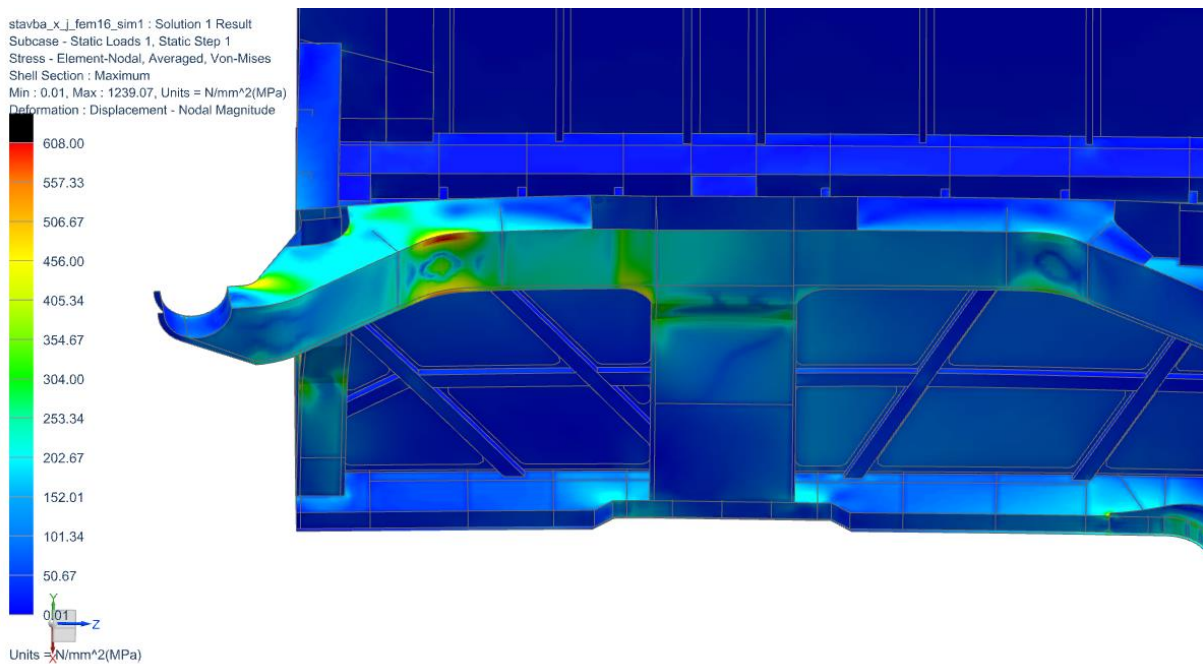
### Napětí



**Obrázek 55 - tlaková síla v oblasti spřáhel – napětí**

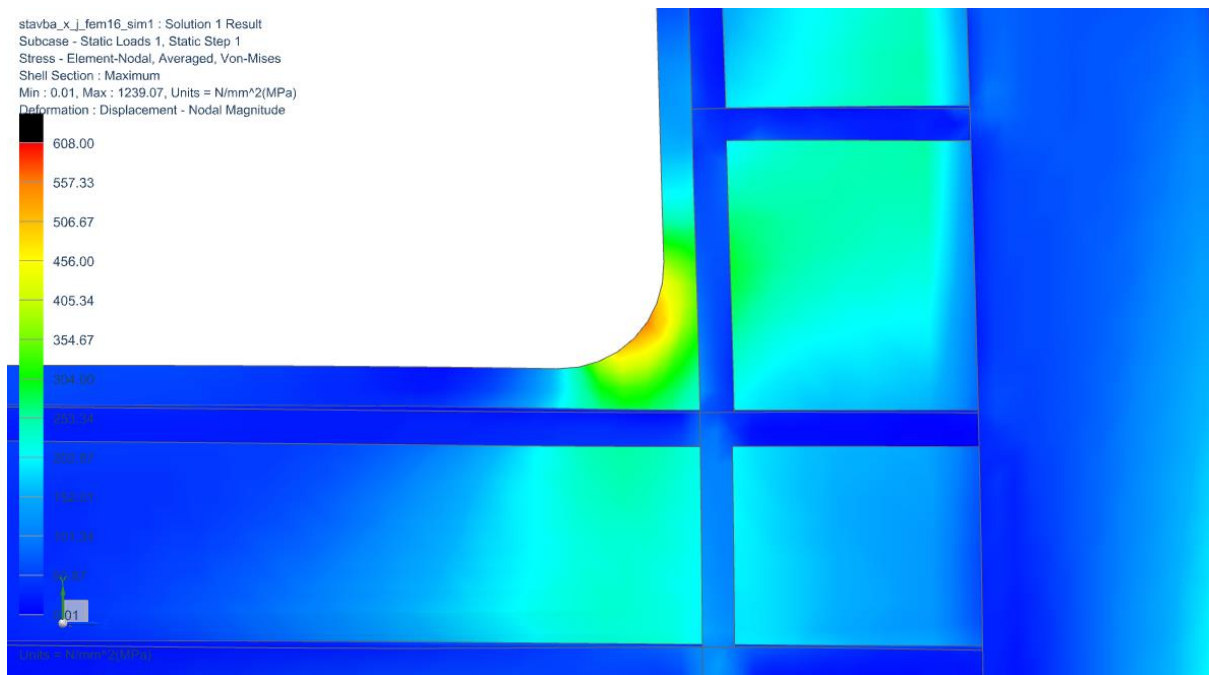


**Obrázek 56 - tlaková síla v oblasti spřáhel – napětí; pohled na špičky napětí**

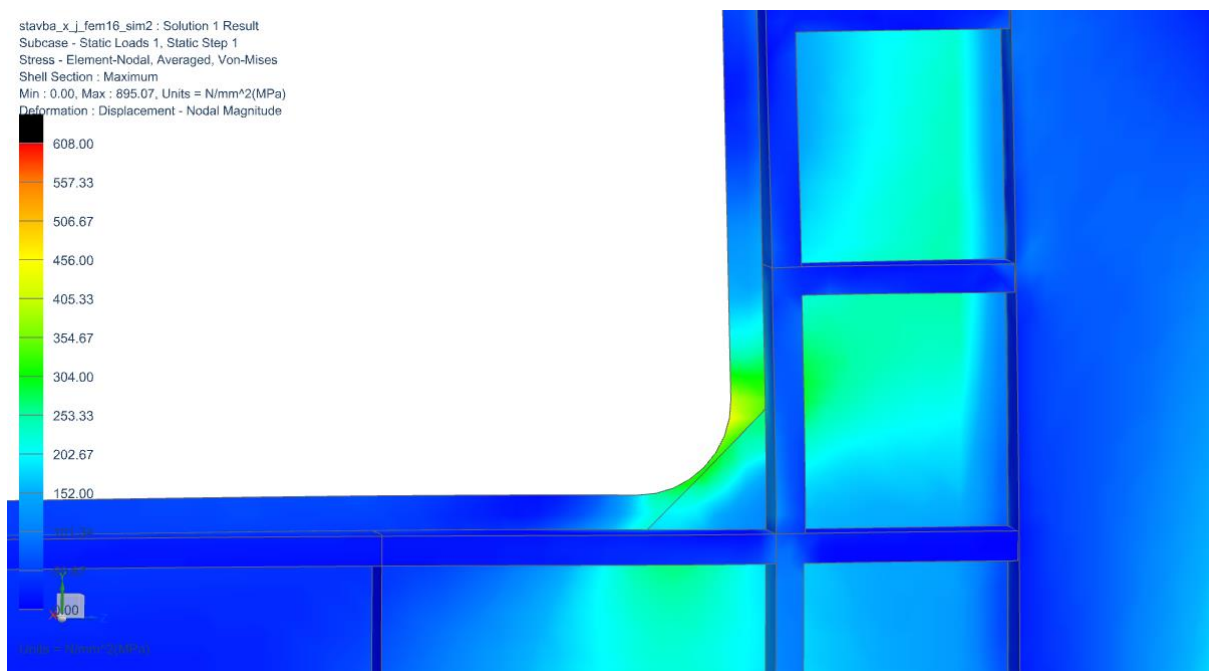


**Obrázek 57 - tlaková síla v oblasti spřáhel – napětí; namáhání dolní pásnice v místě svaru**





**Obrázek 58 - tlaková síla v oblasti spřáhel – napětí; detail rohu středního okna – bez rohovníku**



**Obrázek 59 - tlaková síla v oblasti spřáhel – napětí; detail rohu středního okna - vyztužení rohovníkem**

Podle očekávání jsou nejvyšší hodnoty napětí na páteřovém nosníku a čelním příčniku, místa vykreslená černou barvou ukazují špičky s hodnotou napětí nad 608MPa, jedná se však o malé množství elementů, které se dají vyřešit jednoduchou konstrukční úpravou např. zakončením čelního plechu v oblasti podlahy do rádiusu nebo vhodným rohovníkem. Významnější jsou vyšší hodnoty napětí blízko svaru mezi spodní pásnicí páteřového nosníku a stojinami, ke snížení napětí může přispět větší přechodový rádius, nebo vyztužení místa

ohybu silnějším plechem. Další namáhanou částí jsou rohy středních oken, ty jsou vyztuženy slabším opláštěním, než je tomu u oken krajních. Pro snížení napětí poslouží výztuha formou navařeného rohovníku nebo protažení plechu opláštění tl. 4mm až za rádius, jak je tomu u krajního okna viz obr. č. 37. Jednoduchou optimalizací, realizovanou přidáním rohovníku, se snížilo napětí v rohu okna přibližně o 100MPa (obr. 58 a 59).

#### 4.2.2 Maximální provozní zařízení

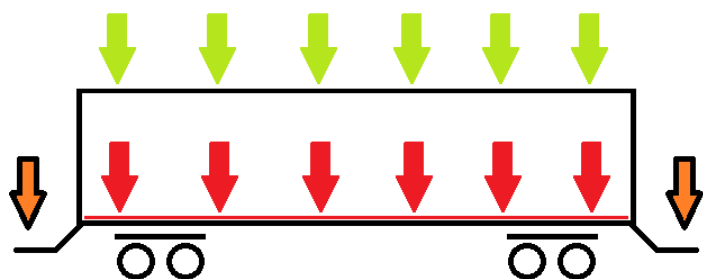
Pro kategorii P-II platí:

$$1,3 \cdot g \cdot (m_1 + m_4)$$

$m_1$  – konstrukční hmotnost skříně vozidla v provozním stavu

$m_4$  – výjimečné užitečné zatížení

Výjimečné užitečné zatížení vychází z normy ČSN EN 15663-1. Pro osobní vlaky jiné než vysokorychlostní je uvažována hmotnost sedícího cestujícího 70kg, zatížení v prostorech ke stání  $500 \text{ kg/m}^2$  (pokud provozovatel nestanovil jinak) a v prostorech pro zavazadla  $100 \text{ kg/m}^2$ . Ve schématu na obrázku 52 je červeně naznačeno užitečné zatížení, zeleně potom zatížení na střeše vyvozené od elektrozařízení. Hmotnost elektrozařízení se předpokládá 3t. Dále je uvažováno zatížení od zavěšeného vozu, jeho hodnota vychází z hmotnosti vloženého vozu a spolu s užitečným zatížením je odhadnuta na 125 kN.



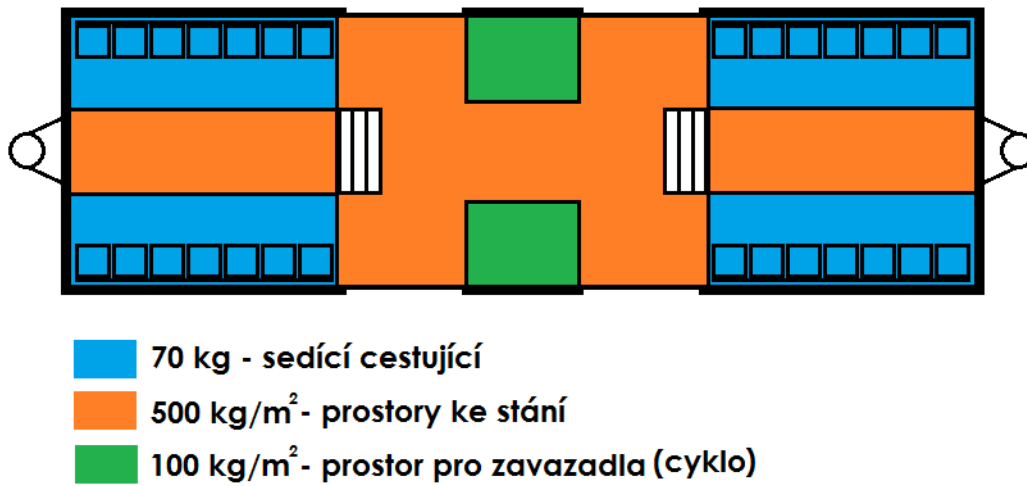
Obrázek 60 - schéma zatížení

Zatížení pro představky spodku: 49,6 kN

Zatížení pro nástupní část: 58,4 kN

Zatížení na střeše: 30 kN

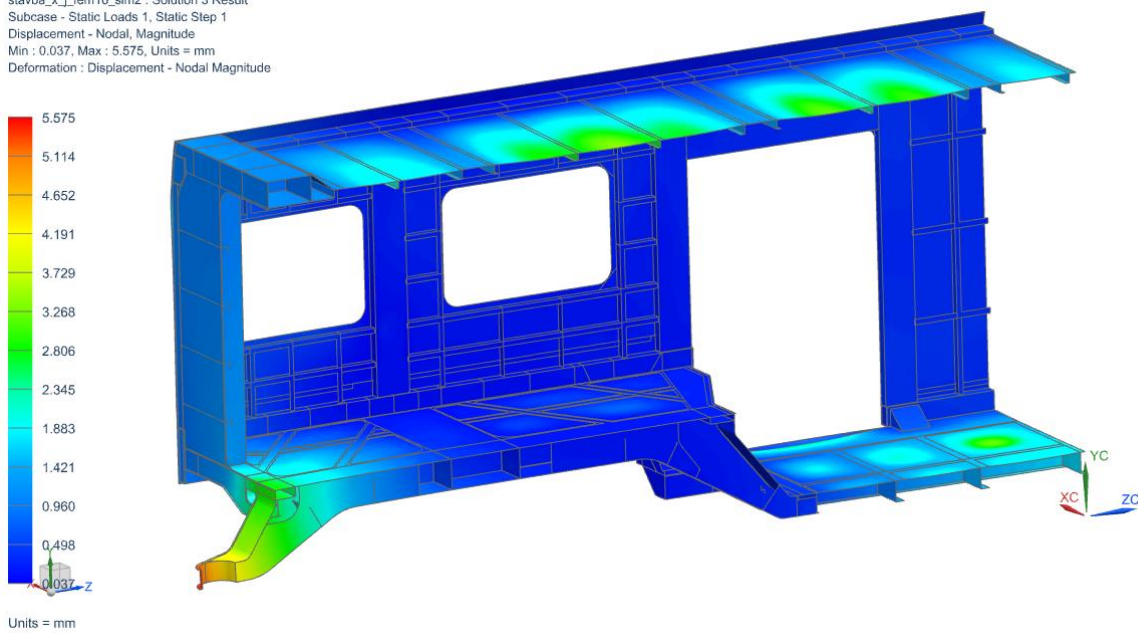
Zatížení od zavěšeného vozu: 125 kN (odhad hmotnosti zav. vozu – 25t; 12,5t na spřáhlo)



Obrázek 61 - schéma užitečného zatížení – půdorys vozu

### Deformace

stavba\_x\_j\_fem16\_sim2 : Solution 3 Result  
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
 Displacement - Nodal, Magnitude  
 Min : 0.037, Max : 5.575, Units = mm  
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

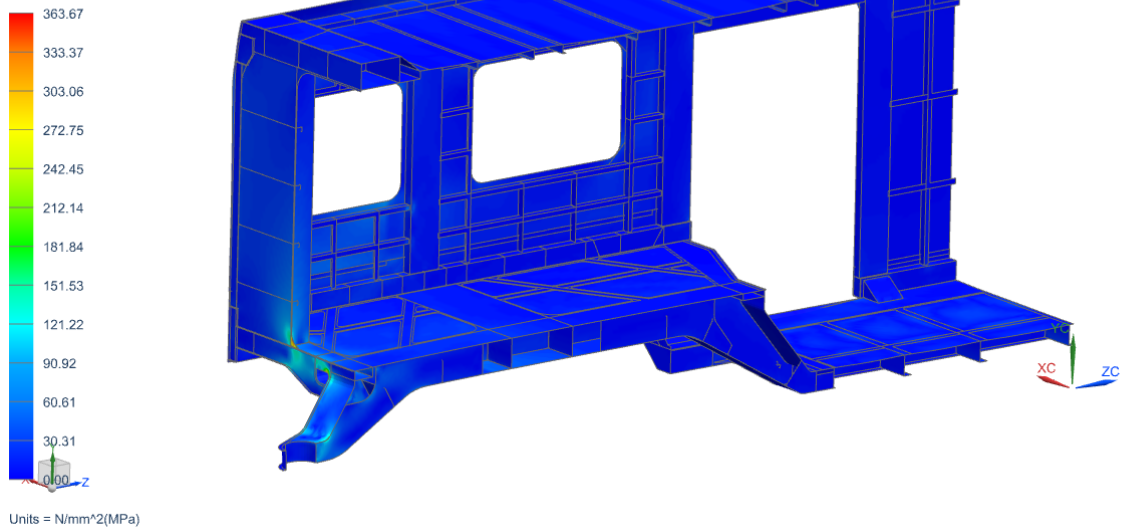


Obrázek 62 - maximální provozní zařízení – deformace



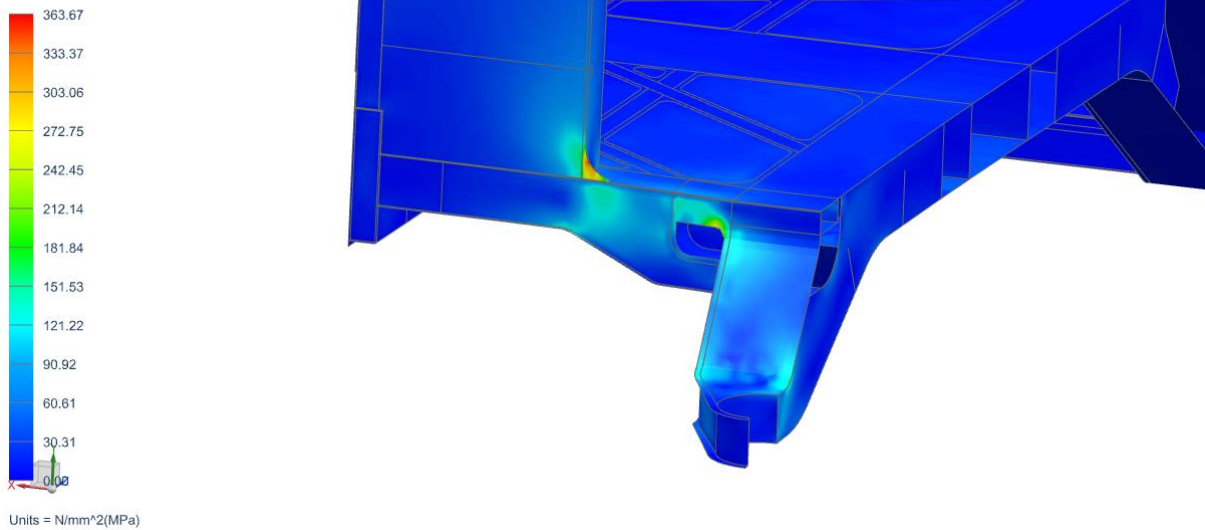
## Napětí

stavba\_x\_j\_fem16\_sim2 : Solution 3 Result  
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
 Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises  
 Shell Section : Maximum  
 Min : 0.00, Max : 363.67, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)  
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



**Obrázek 63 - maximální provozní zařízení – napětí**

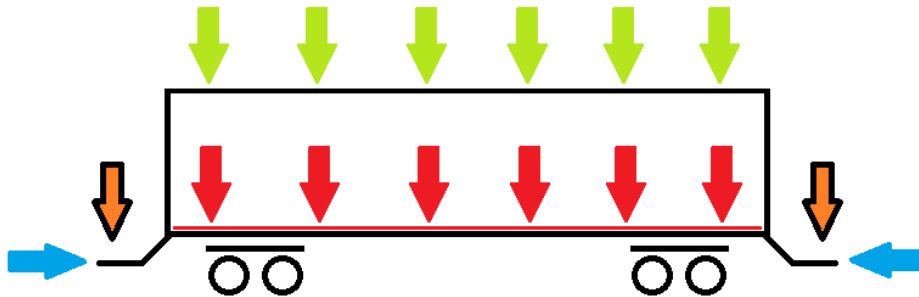
stavba\_x\_j\_fem16\_sim2 : Solution 3 Result  
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
 Stress - Element-Nodal, Averaged, Von-Mises  
 Shell Section : Maximum  
 Min : 0.00, Max : 363.67, Units = N/mm<sup>2</sup>(MPa)  
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude



**Obrázek 64 - maximální provozní zařízení – napětí**

#### 4.2.3 Kombinace tlakové síly v oblasti spřáhel s maximálním provozním zařízením

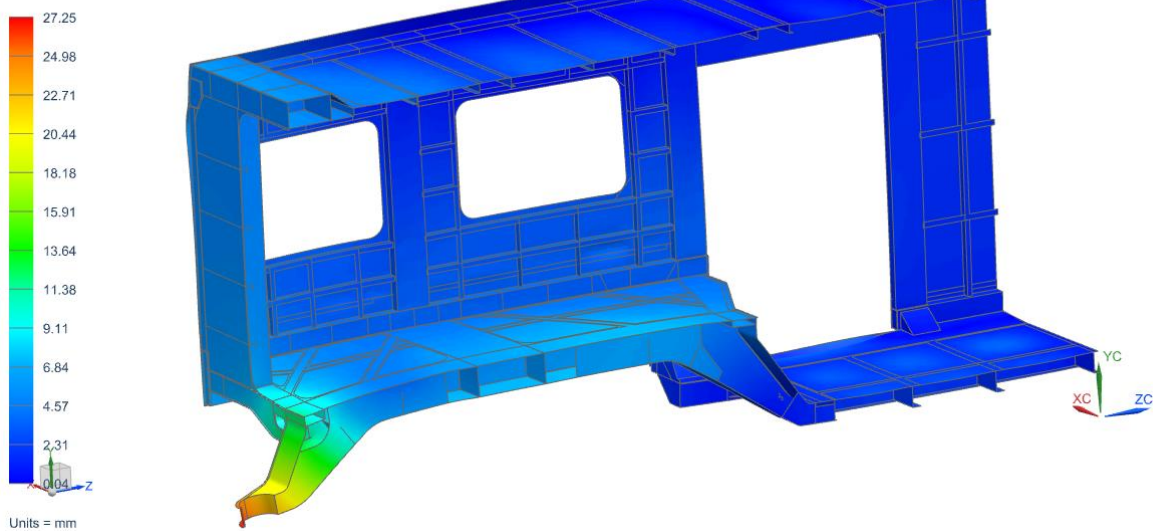
Dostatečná statická pevnost musí být prokázána kombinací statických zatížení.



Obrázek 65 - schéma zatížení

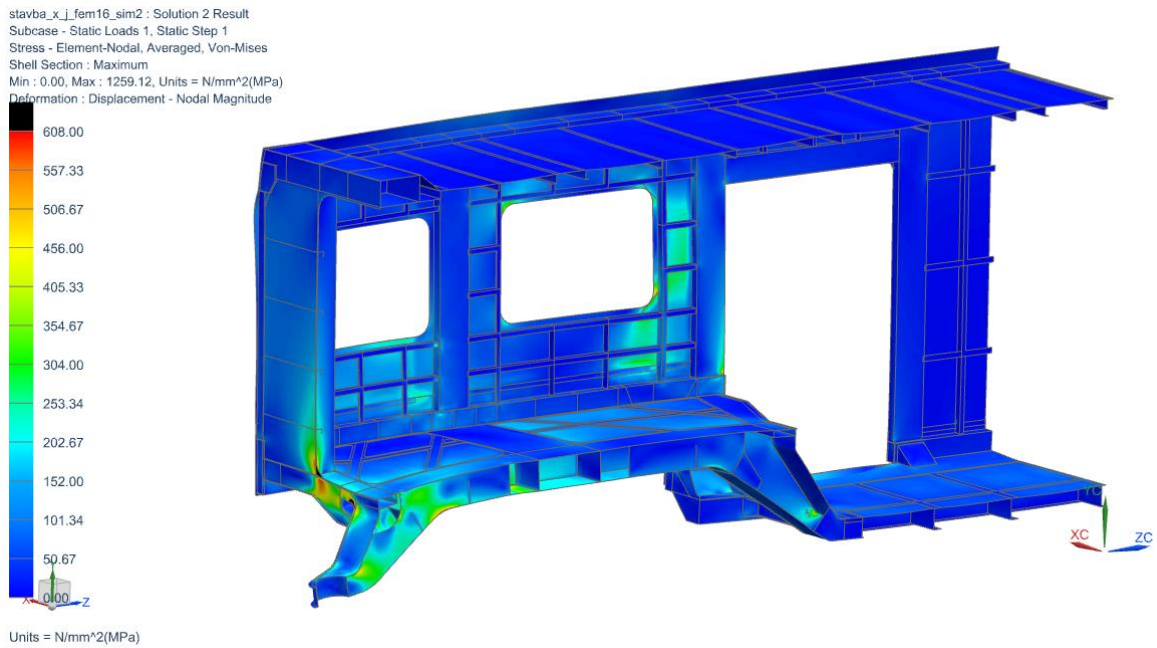
#### Deformace

stavba\_x\_i\_fem16\_sim2 : Solution 2 Result  
Subcase - Static Loads 1, Static Step 1  
Displacement - Nodal, Magnitude  
Min : 0.04, Max : 27.25, Units = mm  
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

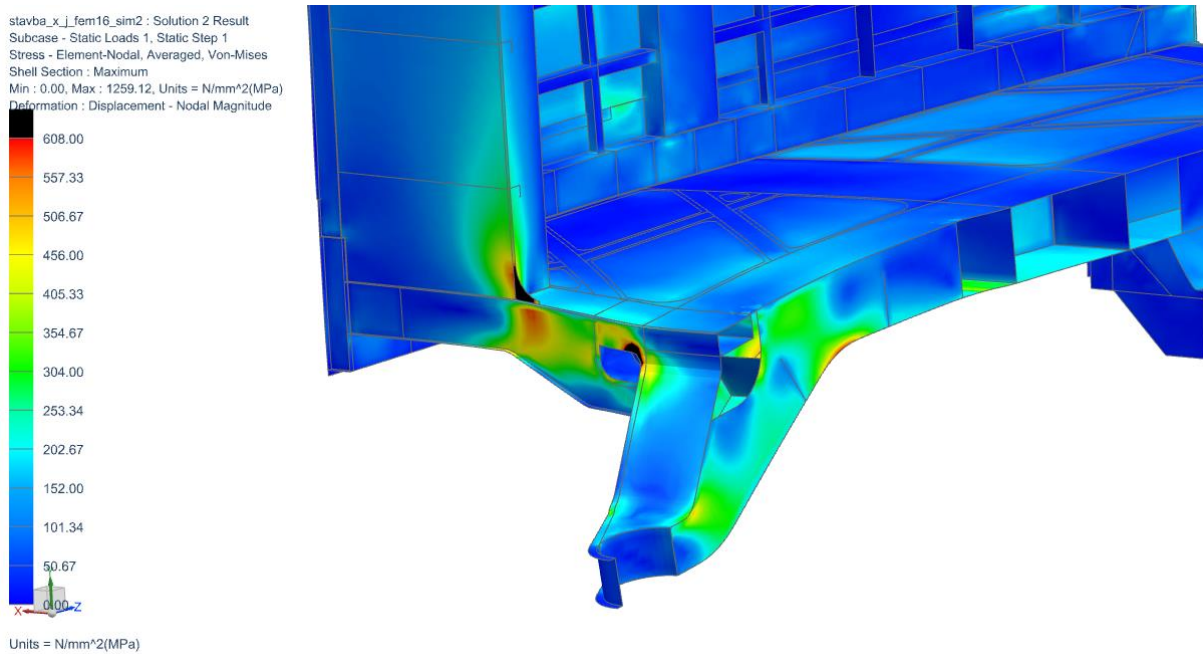


Obrázek 66 - kombinace zatížení – deformace

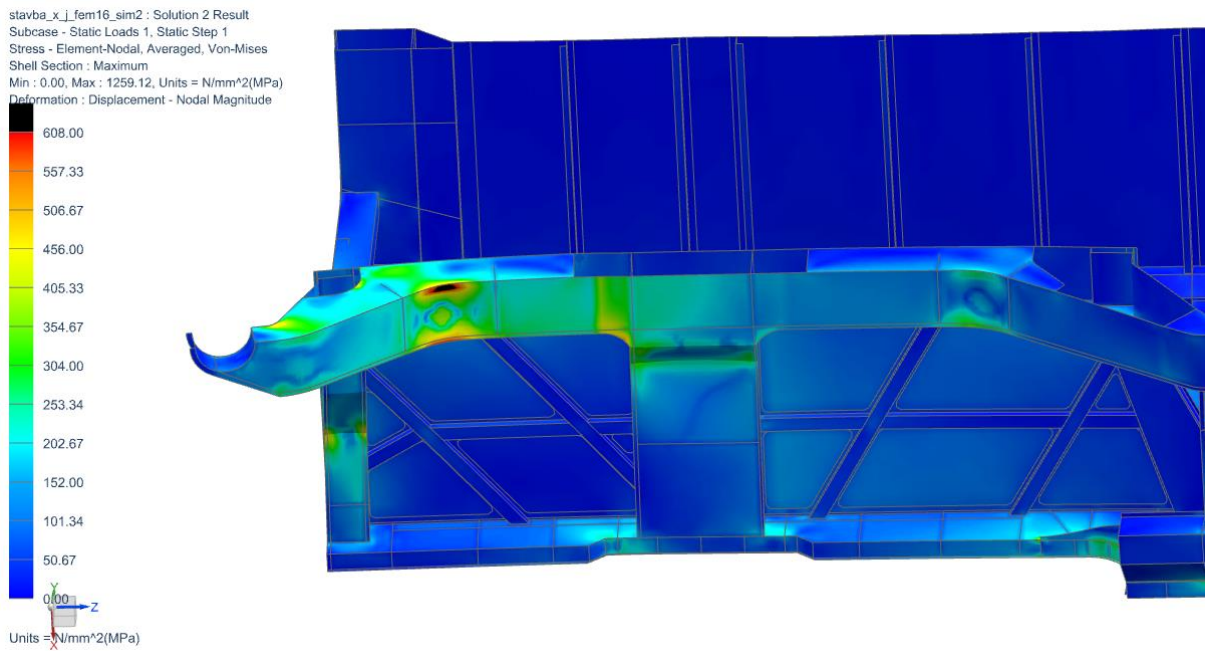
## Napětí



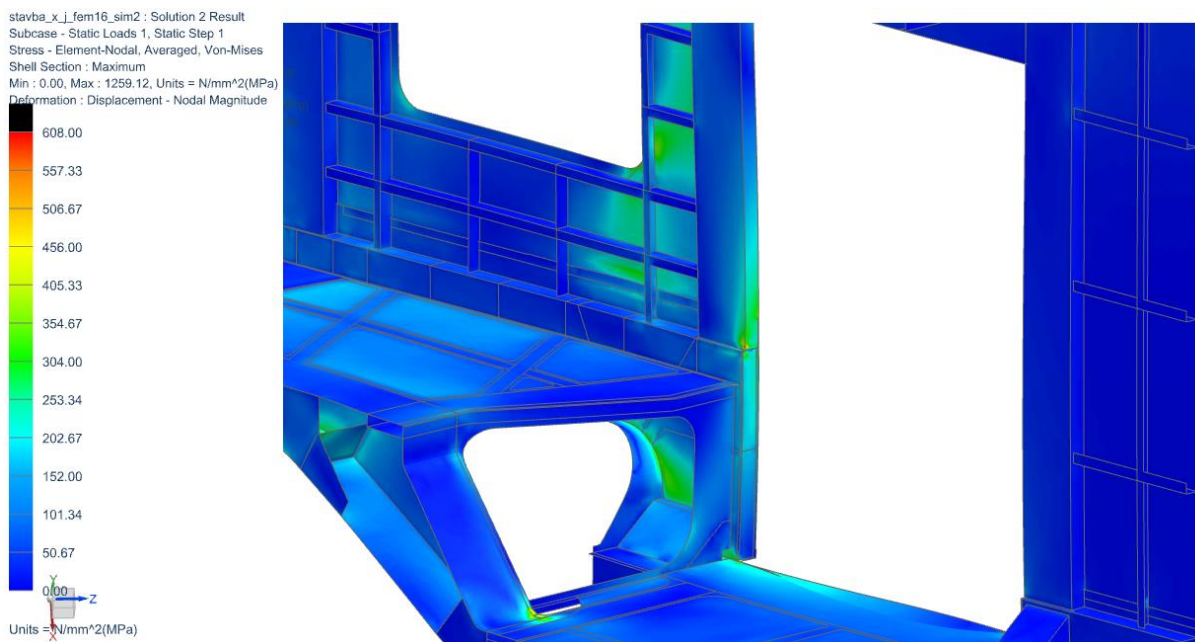
**Obrázek 67 - kombinace zatížení – napětí**



**Obrázek 68 - kombinace zatížení - napětí; špičky napětí**



Obrázek 69 - kombinace zatížení - napětí



Obrázek 70 - kombinace zatížení - napětí



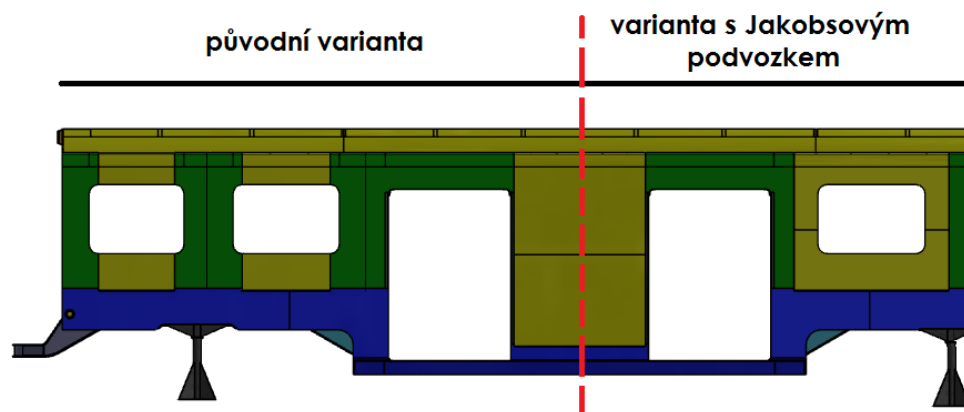
## 5 Závěr

Pomocí morfologické matice byly navrženy 3 varianty dvoupodlažních jednotek, které se oproti běžným soupravám liší odděleným prostorem pro výměnu cestujících. Z výsledné koncepce vznikla studie nástupního modulu, jejíž součástí je typový výkres nástupního modulu a návrh konstrukce hrubé stavby. Skříň vozidla byla na závěr ověřena pevnostním výpočtem dle ČSN EN 12663.

Z uvedených výpočtů je zřejmé chování konstrukce při zatížení. Nejlépe o tom vypovídá kombinační zatížení, kdy dochází k posuvu místa zavěšení vůči stabilní poloze téměř o 30mm vlivem zkroucení čelního příčnicku a ohybu páteře. Diplomová práce slouží jen pro vytvoření základní představy o chování navržené konstrukce. Pro příliš velký rozsah práce není provedena optimalizace.

Napětí na konstrukci jsou vyšší než dovolená v lokálních špičkách, která až na výjimky nepřekračují velikost několika elementů. Z hlediska únavového poškození by se tato napětí musela snížit dalším konstrukčním prvkem, který posune špičky napětí do bezpečné vzdálenosti od namáhané oblasti. Únavová odolnost konstrukce není předmětem diplomové práce.

V úvodu práce byl brán ohled primárně na komfort cestujících, což do konstrukce vneslo složitost řešení. Při konstruování se počítalo s možným návratem k variantě nástupního modulu s Jakobsovými podvozky, hrubá stavba je proto navržena tak, aby se během relativně krátké doby dala přepracovat na verzi pro Jakobsův podvozek. Současný vůz lze ukončit za hlavním příčnickem, kam se posune nezměnná sestava čelnice. Bočnic a spodku se tak budou týkat relativně malé konstrukční úpravy, jejichž velikost se bude odvíjet od pevnostních výpočtů.



Obrázek 71 - možnost přepracování na variantu s Jakobsovým podvozkem

Zatížení od sousedního vozu je zřejmě důvodem, proč se podobná koncepce dosud nepoužívá. Na druhou stranu se určitá část zatížení přenesla horním spojením. Pro další vývoj studie by následovaly výpočty všech zátěžných stavů. Slabá místa jsou především čelní příčnick, který se při zatížení kroutí, a část páteřního nosníku. Pro jejich optimalizaci mohou nastat omezení daná konstrukčním prostorem a nárůstem hmotnosti.

Součástí příloh je typový výkres nástupního modulu, studie hrubé stavby se základními rozměry a výkres vybraného dílu.

## 6 Seznam použité literatury

### Knižní publikace:

- [1] DOSTÁL J., HELLER P. *Kolejová vozidla I.* Plzeň: ZČU v Plzni, 2010.
- [2] HELLER P., DOSTÁL J. *Kolejová vozidla II.* Plzeň: ZČU v Plzni, 2009.
- [3] HELLER P., DOSTÁL J. *Kolejová vozidla III.* Plzeň: ZČU v Plzni, 2011.
- [5] ŘASA J., ŠVERCL J. *Strojnické tabulky 1.* Praha: Scientia, 2004.
- [6] ŘASA J., ŠVERCL J. *Strojnické tabulky 2.* Praha: Scientia, 2007.
- [7] KOLEKTIV AUT. *75 let vývoje a výroby elektrických lokomotiv ŠKODA.* Plzeň: ŠKODA, 2002. 168 s.
- [8] *Materiály a jejich svařitelnost*, kolektiv autorů, nakl. Zeross, Ostrava, 2001.
- [9] *Technologie svařování a zařízení*, kolektiv autorů, nakl. Zeross, Ostrava, 2001.

### Internetové zdroje a produktové listy:

- [10] <http://www.skoda.cz/cs/produkty/elektricke-jednotky/elektricka-jednotka-rady-471/>
- [11] Produktový list Bombardier
- [12] Produktový list Stadler
- [13] Produktový list Škoda
- [14] [http://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec\\_technika&c=A130912\\_192310\\_tec\\_technika\\_rja&foto=RJA4dd81d\\_img\\_10.jpg](http://technet.idnes.cz/foto.aspx?r=tec_technika&c=A130912_192310_tec_technika_rja&foto=RJA4dd81d_img_10.jpg)
- [15] Produktový list Siemens
- [16] <http://static.mocccu.com/twindexx/>
- [17] <http://www11.pic-upload.de/26.09.14/9yt88e2qb4df.jpg>
- [18] <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionImages/rail-solutions/commuter-and-regional-trains/slideshow/large/Viaggio-Twin-01.jpg>
- [19] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008061801>
- [20] <http://1.bp.blogspot.com/-Ea9K5bu8DhM/TgGPBJQ9b8I/AAAAAAAAABqs/KAOWJcTh77s/s1600/regio2n.jpg>
- [21] [http://www.bahnonline.ch/wp/wp-content/uploads/2011/02/STADLER-KISS-SBB-30546\\_01.jpg](http://www.bahnonline.ch/wp/wp-content/uploads/2011/02/STADLER-KISS-SBB-30546_01.jpg)
- [22] BOMBARDIER RAIL, *Production of the first Regio 2N test trains.* <https://www.youtube.com/watch?v=0PCtK4JgjY0>. 2013.

[23] [https://www.google.cz/search?q=city+elefant&espv=2&biw=1280&bih=639&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwihjaqGhIHMAhVJVhoKHZLIDnAQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=double+deck+emu+car+body&imgrc=7ka5Fb-j6iAD0M%3A](https://www.google.cz/search?q=city+elefant&espv=2&biw=1280&bih=639&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwihjaqGhIHMAhVJVhoKHZLIDnAQ_AUIBigB#tbm=isch&q=double+deck+emu+car+body&imgrc=7ka5Fb-j6iAD0M%3A)

[24] HETO, Jan. *Vybrané aspekty svařování vysokopevnostních ocelí.*

[25] HERMAN, Petr. *Svařování jemnozrných, vysokopevnostních ocelí.*  
<http://www.konstrukce.cz/clanek/svarovani-jemnozrnnych-vysokopevnostnich-oceli/>. 2010.

[26] DANKO, Vlad. *Bombardier představil dvoupodlažní Omneo.*

<http://www.zelpage.cz/zpravy/91111?oddil=1>. 2013.

[27] [http://www.railvolution.net/czechraildays/2007/seminare/i\\_2.pdf](http://www.railvolution.net/czechraildays/2007/seminare/i_2.pdf)

[28] [https://www.google.cz/search?q=rail+vision&espv=2&biw=1280&bih=639&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiCvYym8u\\_LAhVEXBQKHTMmDVEQ\\_AUIBigB#tbm=isch&q=train+car+body&imgrc=\\_](https://www.google.cz/search?q=rail+vision&espv=2&biw=1280&bih=639&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiCvYym8u_LAhVEXBQKHTMmDVEQ_AUIBigB#tbm=isch&q=train+car+body&imgrc=_)

[29] [https://www.google.cz/search?q=bombardier+car+body&espv=2&biw=1280&bih=639&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjozo7niuPLAhXHDCwKHVt eBXQQ\\_AUIBigB#imgrc=\\_](https://www.google.cz/search?q=bombardier+car+body&espv=2&biw=1280&bih=639&site=webhp&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjozo7niuPLAhXHDCwKHVt eBXQQ_AUIBigB#imgrc=_)

[30] JOURNAL L' HUMANITÉ, *A la rencontre des oeuvriers de l'industrie ferroviaire.*  
<https://www.youtube.com/watch?v=KB-NE4d1a64>. 2015.

### **Normy:**

[31] ČSN 28 0312 Obrisy pro kolejová vozidla s rozchodem 1435 mm – Technické podmínky, 1976.

[32] ČSN 73 6320 Průjezdne průřezy na drahách celostátních, drahách regionálních a vlečkách normálního rozchodu, 1997.

[33] ČSN EN 12663 Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel, 2010

[34] ČSN EN 15663 Železniční aplikace - Definice referenčních hmotností vozidla, 2010

[35] ČSN EN 15085 Železniční aplikace - Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí, 2018

## **PŘÍLOHA č. 1**

**Vybrané pasáže z norem**



#### 5.4.2 Mez pružnosti nebo kluzu

V případě, že se návrh ověřuje pouze výpočtem, musí být  $S_1$  pro každý jednotlivý druh zatížení roven 1,15. Jestliže se konstrukční zatížení mají ověřovat zkouškou a/nebo byla shoda mezi zkouškou a výpočtem dostatečně potvrzena, může se pro  $S_1$  použít hodnota 1,0.

Pro druhy statických zatížení definovaných v 6.1 až 6.5 musí být využití nejvýše 1, jak udává následující rovnice:

$$U = \frac{\sigma_c S_1}{R} \leq 1$$

kde je

$U$  využití;

$S_1$  bezpečnostní součinitel pro mez pružnosti nebo kluzu;

$R$  mez pružnosti ( $R_{eH}$ ) nebo 0,2% smluvní mez kluzu ( $R_{p0,2}$ ) materiálu v  $N/mm^2$  (podle definice v EN 10002-1) při respektování všech příslušných vlivů popsaných v 5.3.3;

$\sigma_c$  vypočítané napětí, v  $N/mm^2$ .

Při hodnocení úrovní napětí v tažných materiálech není nutné, aby prvky vyvolávající místní koncentrace napětí splňovaly výše uvedená kritéria. Jestliže analýza zahrnuje místní koncentrace napětí, je přípustné, aby teoretická napětí překročila mez pružnosti materiálu nebo 0,2% smluvní mez kluzu. Oblasti s místními trvalými deformacemi vlivem koncentrací napětí musí být dostatečně malé, aby nevyvolávaly žádné významné trvalé deformace po zániku zatížení. Metody řešení místních koncentrací napětí v průběhu výpočtu jsou uvedeny v příloze A, v průběhu zkoušky v 8.2.2.

### Příloha A (informativní)

#### Analytická řešení místních koncentrací napětí

Pro přejímku může být použita některá z následujících metod:

##### a) Lineární analýza pružnosti

U tažných materiálů analýza lineárního pružného přetváření prokáže, zda rozsah napětí v každém místě koncentrace napětí splňuje následující kritérium:

$$|\sigma_{\max} - \sigma_{\min}| \leq 2 \cdot \frac{R}{S_1}$$

kde

$\sigma_{\max}$  je maximální vypočítané napětí všech druhů statických zatížení;

$\sigma_{\min}$  minimální vypočítané napětí všech druhů statických zatížení;

$\sigma_{\max}$  a  $\sigma_{\min}$  mají orientaci ve stejném směru;

$R$  mez pružnosti materiálu ( $R_{eH}$ ) nebo 0,2% smluvní mez kluzu ( $R_{p0,2}$ ), v  $N/mm^2$  (podle definice v EN 10002-1), při respektování všech příslušných vlivů popsaných v 5.3.3;

$S_1$  bezpečnostní součinitel podle definice v 5.4.2.

## 6.2.2 Přípustné mezní hodnoty napětí v materiálu – přípustná zatížení při pevnostních zkouškách

### 6.2.2.1 Statická zkouška při plném zatížení

Při všech statických pevnostních zkouškách se musí dodržet mezní hodnoty uvedené v tabulce 18.

Hodnoty meze pružnosti / 0,2% smluvní meze kluzu ( $R_p$ ), trvalé pevnosti ( $R_m$ ) a prodloužení ( $A$ ) se musí volit z příslušných evropských nebo národních norem.

V případě tenzometrů uchycených na základním kovu musí být změřená napětí nižší než hodnoty uvedené v tabulce 18 a po zrušení zatížení nesmí prvek vykazovat žádné významné trvalé deformace nebo prodloužení:

Tabulka 18 – Mezní hodnoty napětí

	Charakteristiky materiálu	Mezní hodnoty napětí
Základní kov	$R_p < 0,8 R_m$	$\sigma = R_p$
	$R_p > 0,8 R_m$ a $A > 10 \%$	$\sigma = R_p$
	$R_p > 0,8 R_m$ a $A < 10 \%$	$\sigma = R_p / 1,25$
Základní kov v bezprostřední blízkosti svarů	$R_p < 0,8 R_m$	$\sigma = R_p / 1,1$
	$R_p > 0,8 R_m$ a $A > 10 \%$	$\sigma = R_p / 1,1$
	$R_p > 0,8 R_m$ a $A < 10 \%$	$\sigma = R_m / 1,375$

POZNÁMKA 1 Pro zahrnutí nepravidelností vyvolaných svařováním se používá součinitel 1,1.

### 6.2.4 Posouzení druhů zatížení z hlediska přípustného napětí

Jednoznačné přiřazení přípustných napětí podle kapitoly 6 jednotlivým druhům zatížení v kapitole 5 je uvedeno v tabulce 22.

Tabulka 22 – Přiřazení přípustných napětí druhům zatížení

Druh zatížení	Tabulka č. / kapitola č.	Typ	Přípustné napětí pro zkoušku
Tlaková síla v úrovni nárazníků a/nebo spřáhel	Tabulka 2	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	podle 6.2.2
Tlaková síla pod úrovní nárazníků a/nebo spřáhel	Tabulka 3	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	podle 6.2.2
Tlaková síla působící úhlopříčně v úrovni nárazníků	Tabulka 4	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	podle 6.2.2
Tahová síla v oblasti spřáhla	Tabulka 5	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	podle 6.2.2
Maximální provozní zatížení	Tabulka 6	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	podle 6.2.2
Zdvihání na jednom konci vozu ve stanovených zdvihacích místech	Tabulka 7	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	Bez významných trvalých deformací
Zdvihání celého vozu ve stanovených zdvihacích místech	Tabulka 8	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	Bez významných trvalých deformací
Zdvihání s posunutým zdvihacím místem	5.2.3.2	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	Bez významných trvalých deformací
Kombinace druhů statických zatížení skříní vozů	Tabulka 9	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	podle 6.2.2
Druhy zkušebních zatížení pro úchyty vybavení	Tabulky 10, 11, 12	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	podle 6.2.2
Základní druhy únavového zatížení skříně vozu ve směru z	Tabulka 14	Únavové zatížení	6.2.3.2, tabulka 20
Únavová zatížení vazeb	Tabulky 15, 17	Únavové zatížení	6.2.3.2, tabulka 20
Zkoušky nárazem přes nárazníky	Kapitola 8	Zatížení na mezi trvalé pevnosti	Kumulativní trvalá deformace maximálně 2 %
Základní druhy únavového zatížení skříně vozu ve směru y	Tabulky 13, 16	Únavové zatížení	<sup>a</sup>

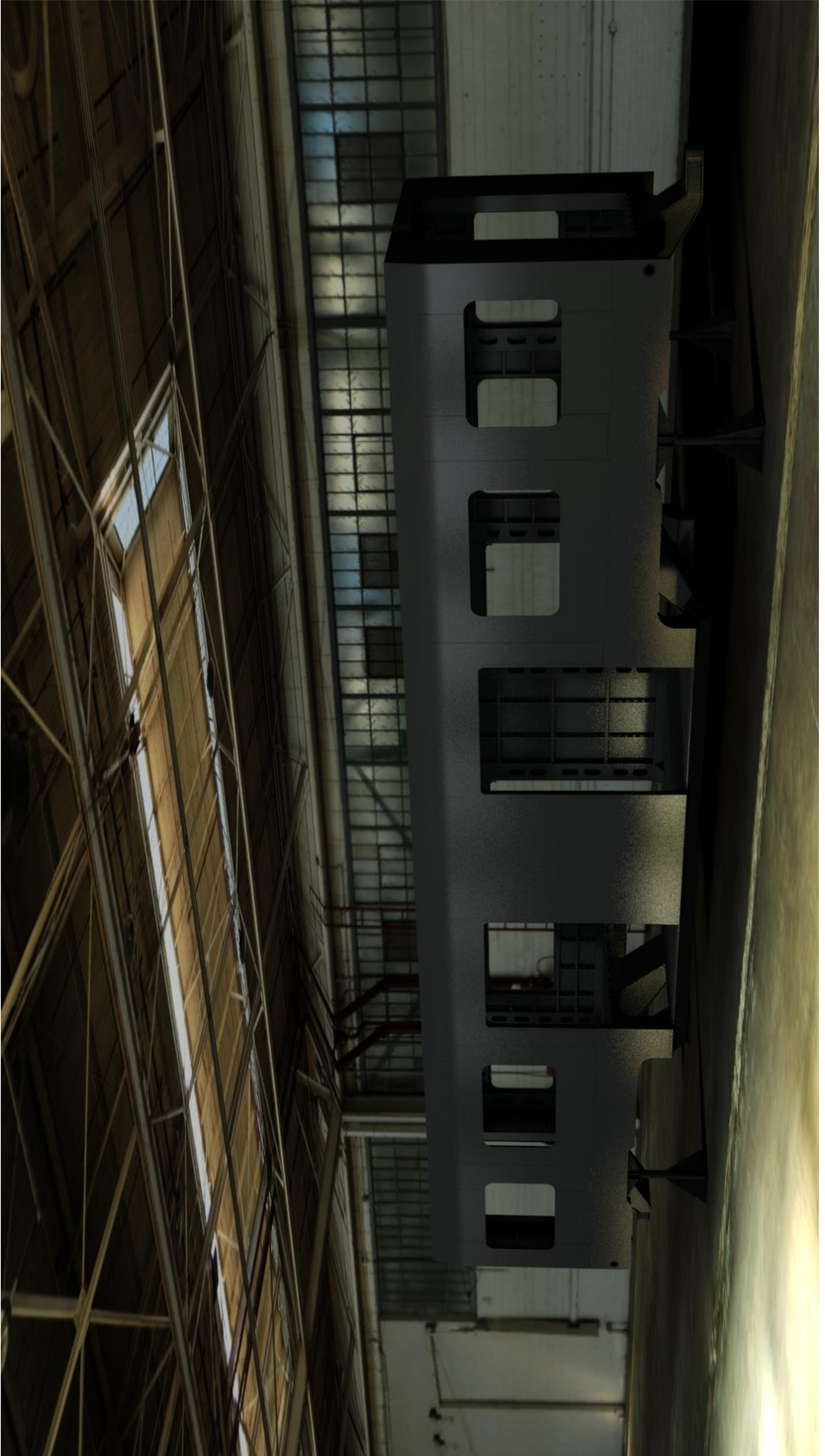
<sup>a</sup> Pro prokázání shody postačuje nárazová zkouška, stanovené zkoušky popsané v kapitole 7 a statická zkouška.

Tabulka 4 (dokončení)

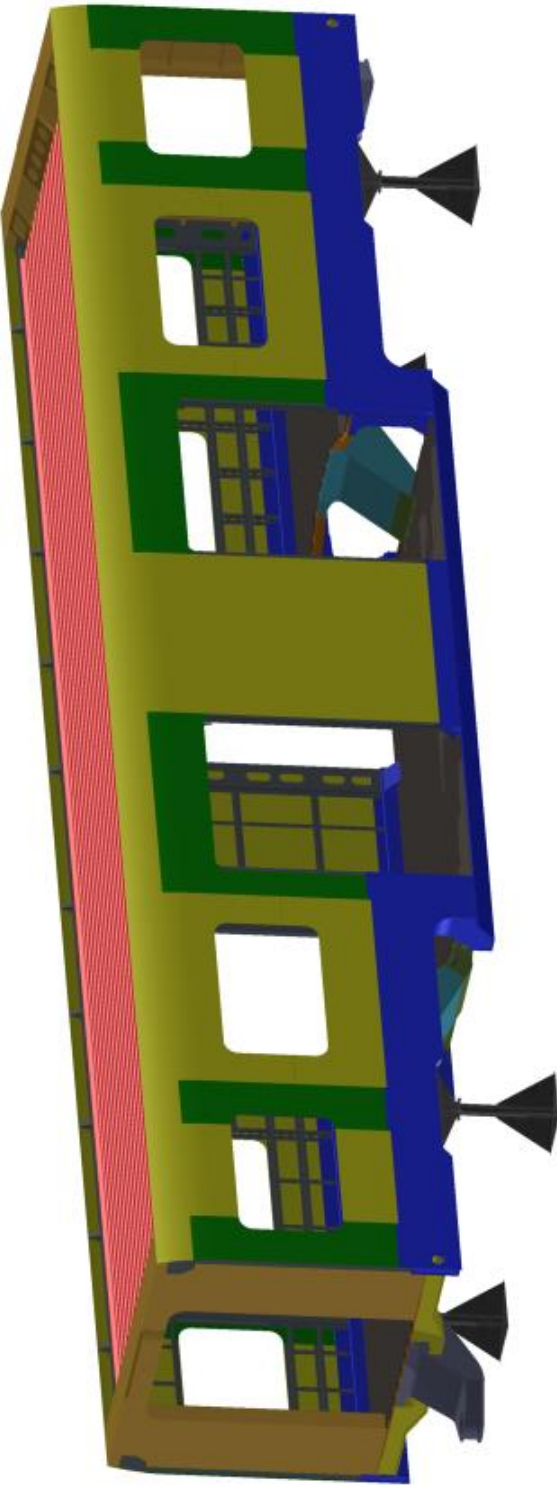
<p><b>Výjimečné užitečné zatížení</b></p>	<p>hmotnost cestujícího je rovna 70 kg (zavazadlo je uvažováno podle definice níže)</p> <p>příruční zavazadlo není třeba brát v úvahu</p> <p>100 % normálních sedadel je obsazeno, sklopná sedadla nejsou započtena s výjimkou, kdy jsou provozovatelem jinak specifikována k použití v provozu</p> <p>500 kg/m<sup>2</sup> v prostorech k stání a v prostorech pro stravování pokud není provozovatelem stanoveno jinak (viz odstavec níže)</p> <p>300 kg/m<sup>2</sup> v oddílech pro zavazadla</p> <p>100 kg/m<sup>2</sup> na každé ploše v prostorech pro zavazadla</p>	<p><b>Nepoužívá se</b></p>
---	---	----------------------------

## **PŘÍLOHA č. 2**

**Rendery hrubé stavby**





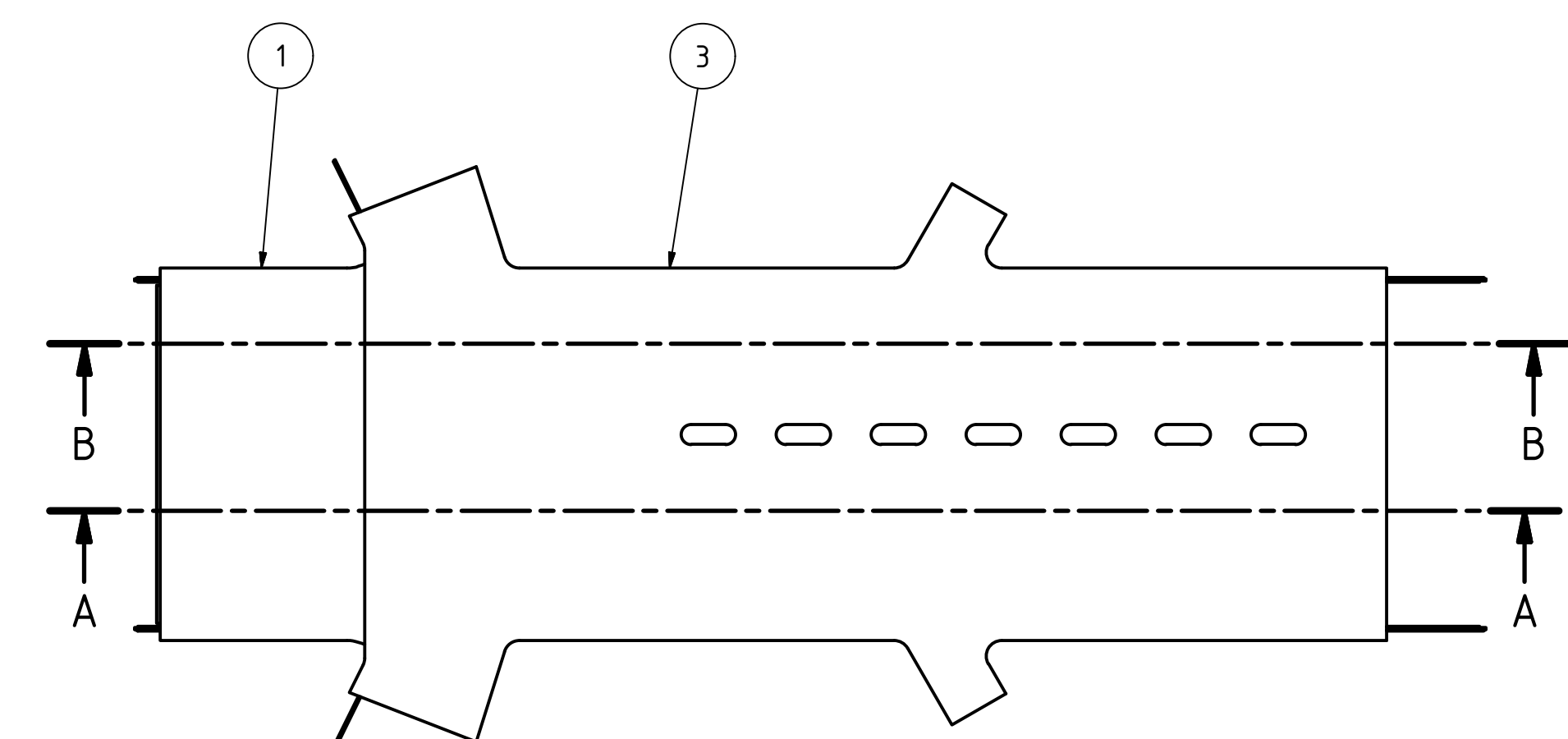
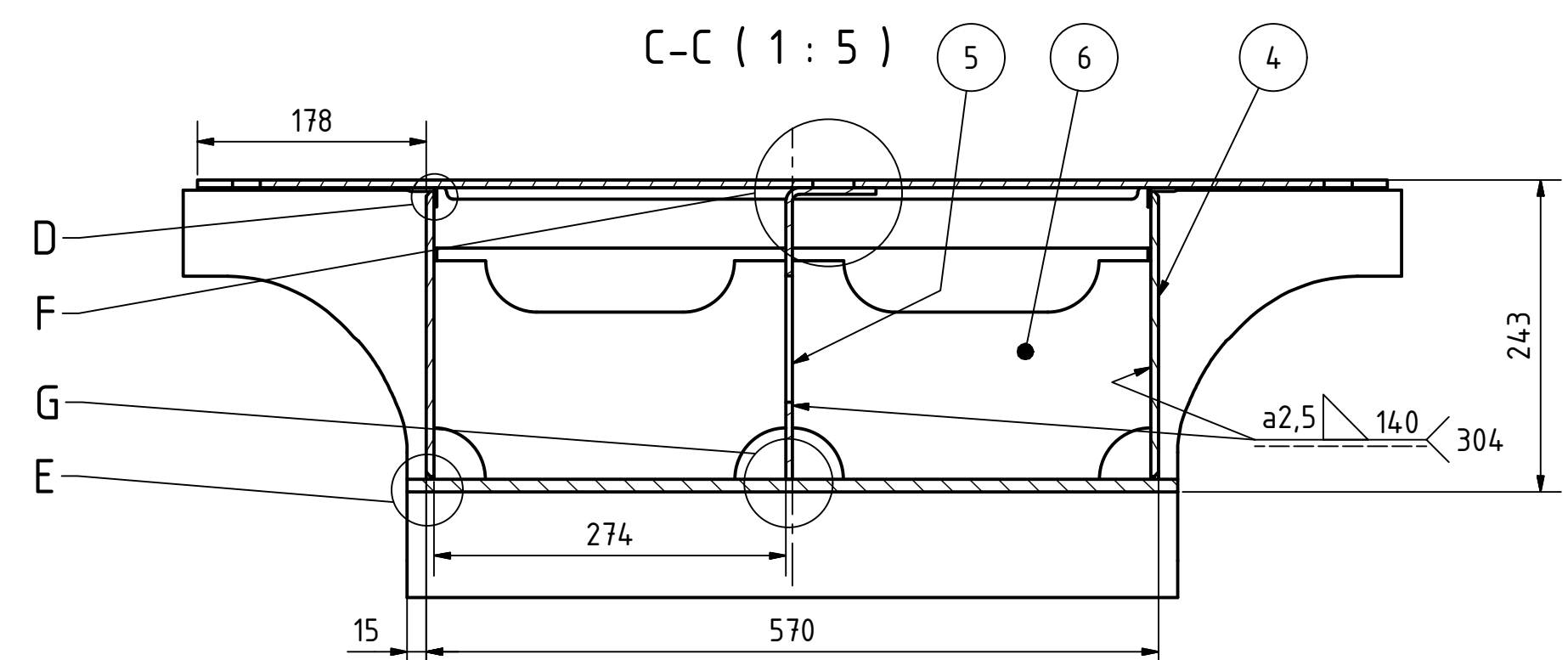
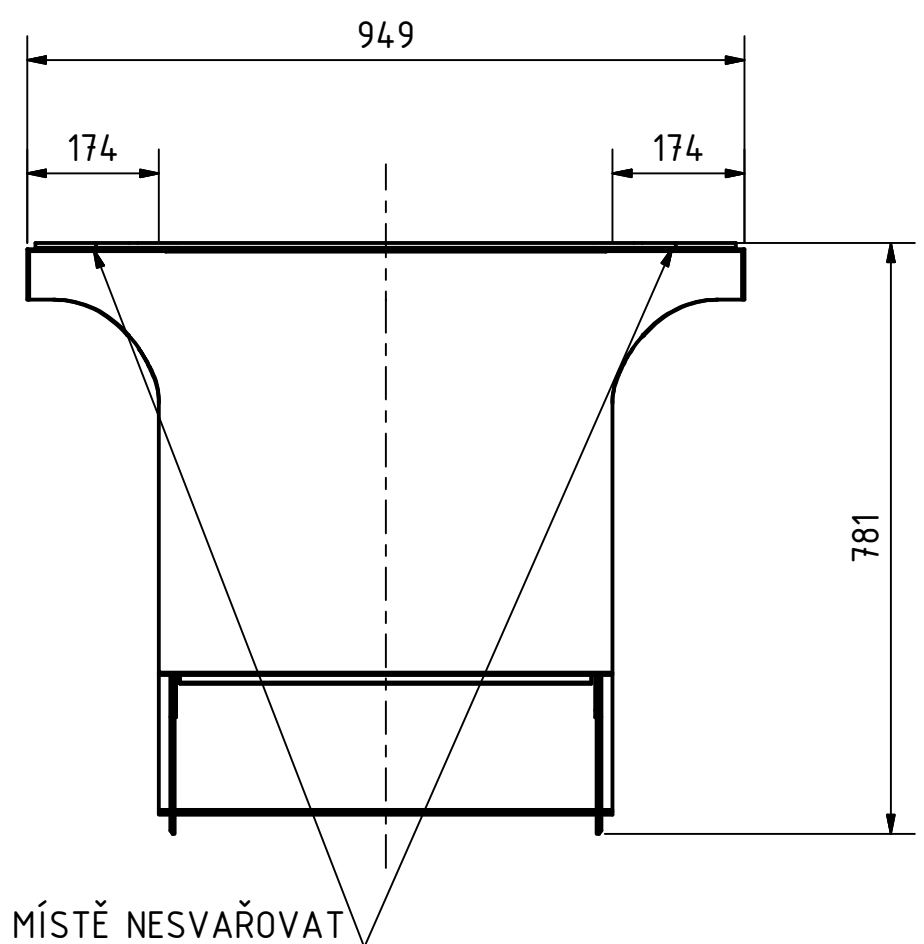
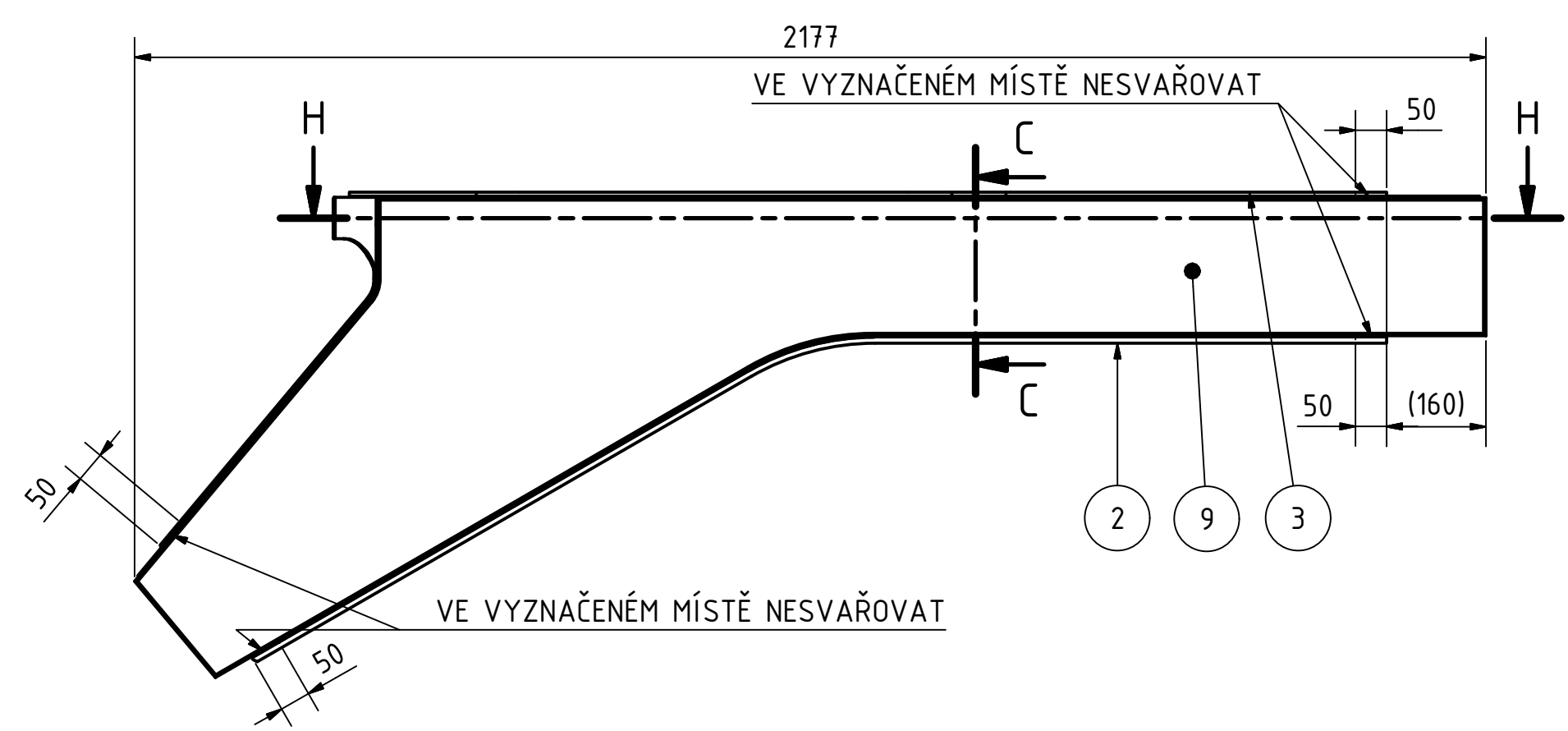




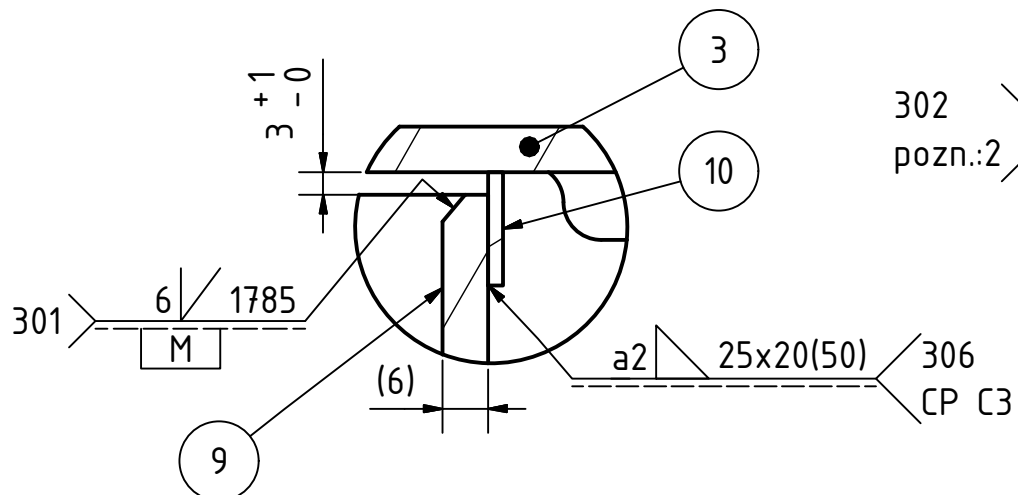




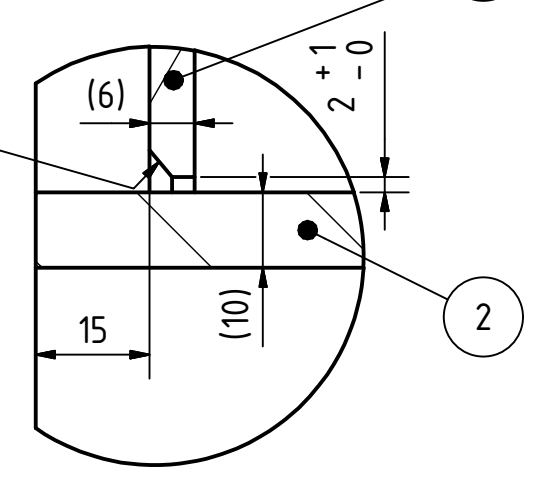




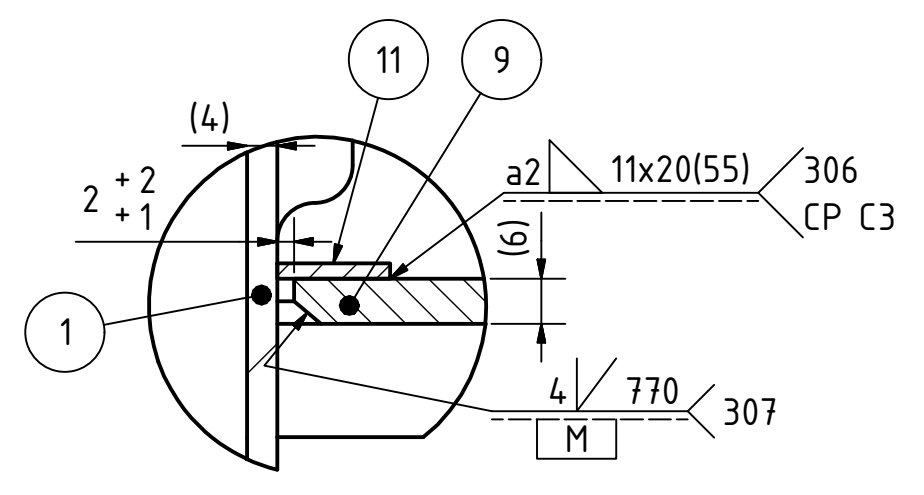
D (1:1)



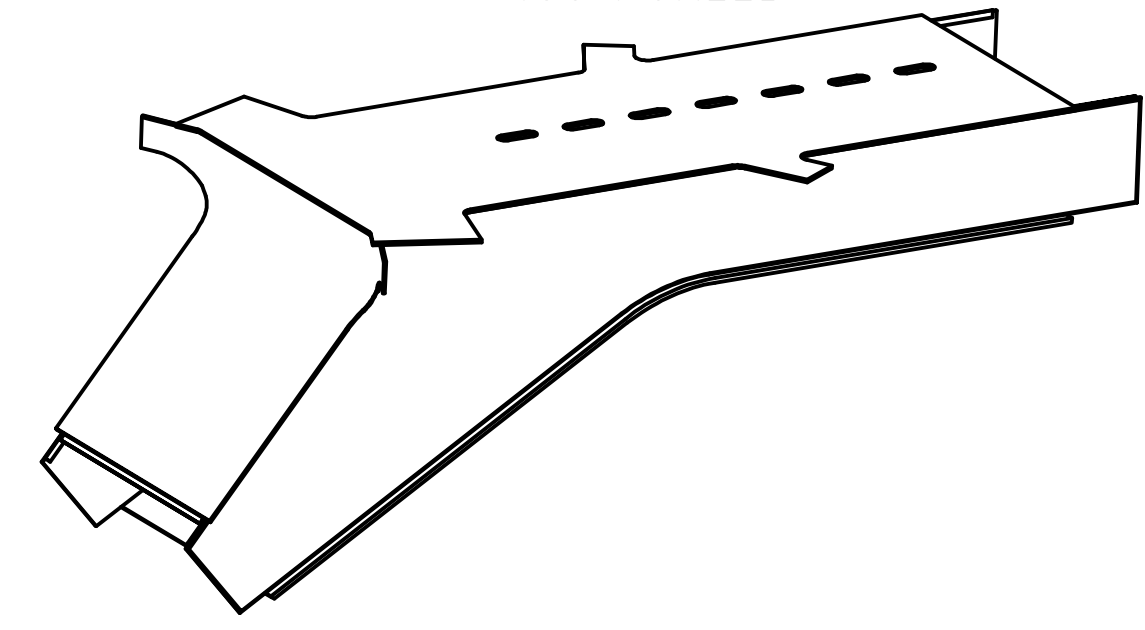
E (1:1)



L (1:1)



ISO POHLED



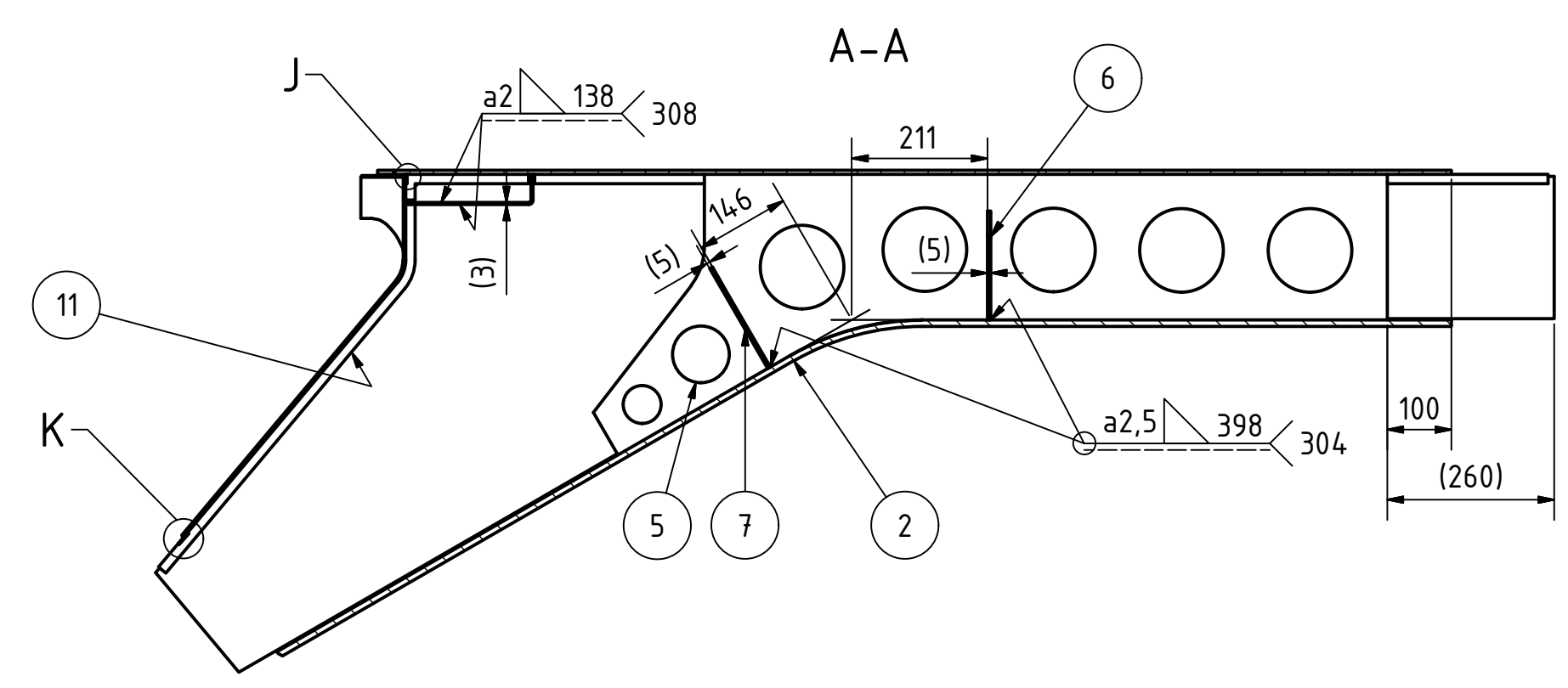
SVAŘOVÁNÍ DLE EN 15085-CL 1  
TRÍDA PROVEDENÍ SVARU CP C2 (CP C3)  
SVAŘENO 135 EN ISO 14341-A: G 50 4 M21 4Mo

POZNÁMKY:  
1. SVAR NEPROVÁDĚT PO CELÉ DÉLCE HRANY  
2. SVAR VYDRÁŽKOVAT  
3. PLATÍ PRO VŠECHNY OTVORY V PÁSNICI

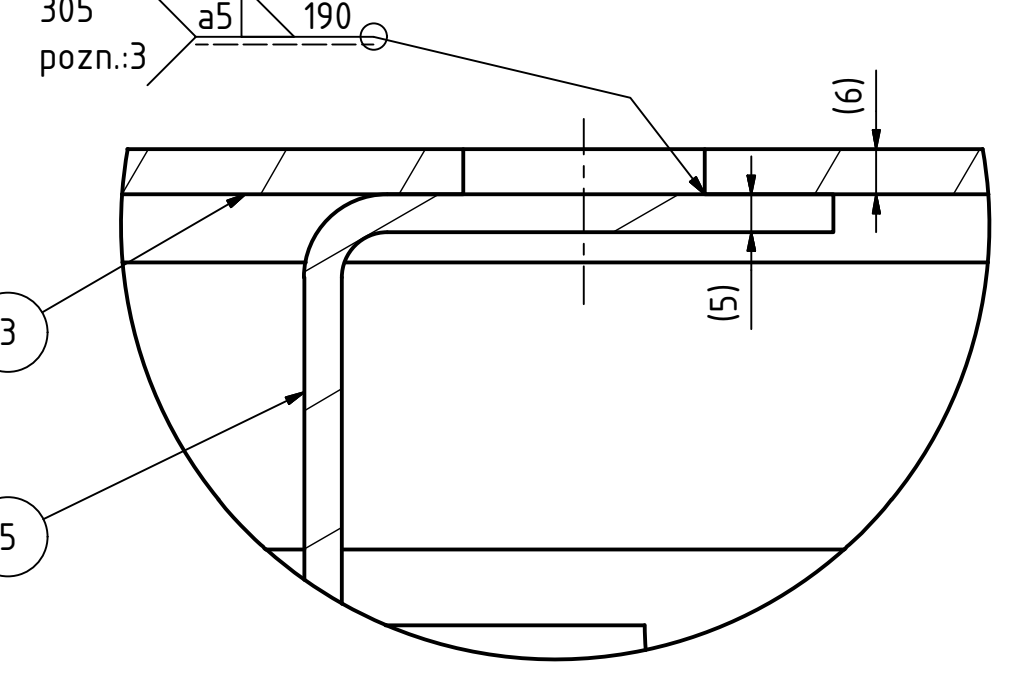
NEPROVAŘENÁ MÍSTA TMELIT  
POZOR, VYSOKOPEVNOSTNÍ OCEL! PŘI SVAŘOVÁNÍ HLÍDAT VNESENÉ TEPLA

X=1, X=2 - OZNAČENÍ SEKTORŮ PRO PŘÍRAZENÍ INDEXŮ SYMETRICKY KONTROLOVANÝCH SVARŮ

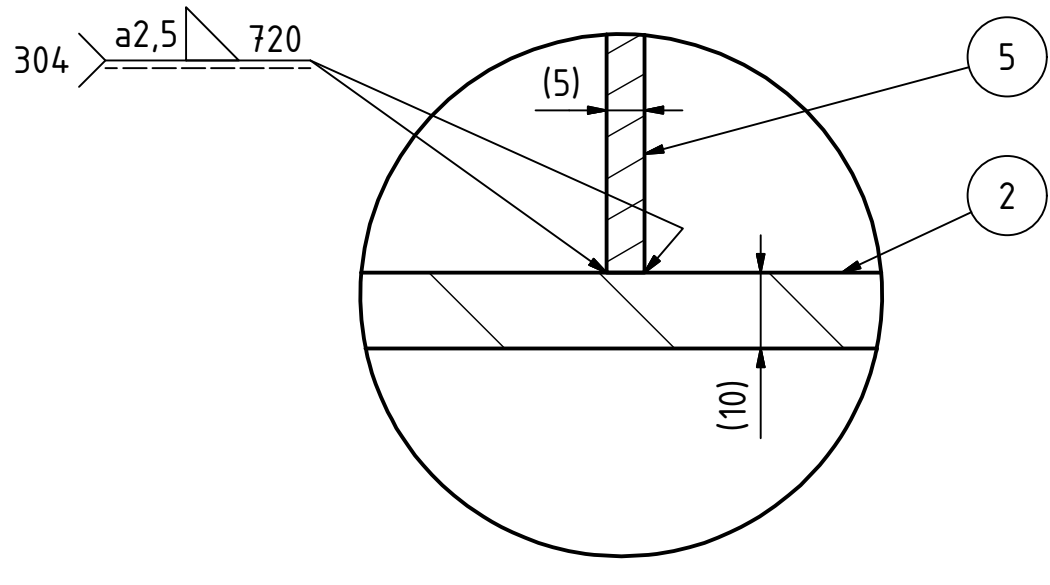
KUSOVNÍK			
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	HMOTNOST
1	1	Pásnice_02	13,991 kg
2	1	Pásnice_05	92,205 kg
3	1	Pásnice_11	49,587 kg
4	1	Stojina_11	30,760 kg
5	1	Výztuha_03	10,668 kg
6	4	Výztuha_06	2,955 kg
7	1	Výztuha_04	3,174 kg
8	1	Výztuha_05	2,911 kg
9	1	Stojina_12	30,760 kg
10	2	Podložka svarová 1	0,052 kg
11	2	Podložka svarová 2	0,046 kg
12	2	Podložka svarová 3	0,011 kg
13	2	Podložka svarová 4	0,017 kg
14	2	Podložka svarová 5	0,014 kg



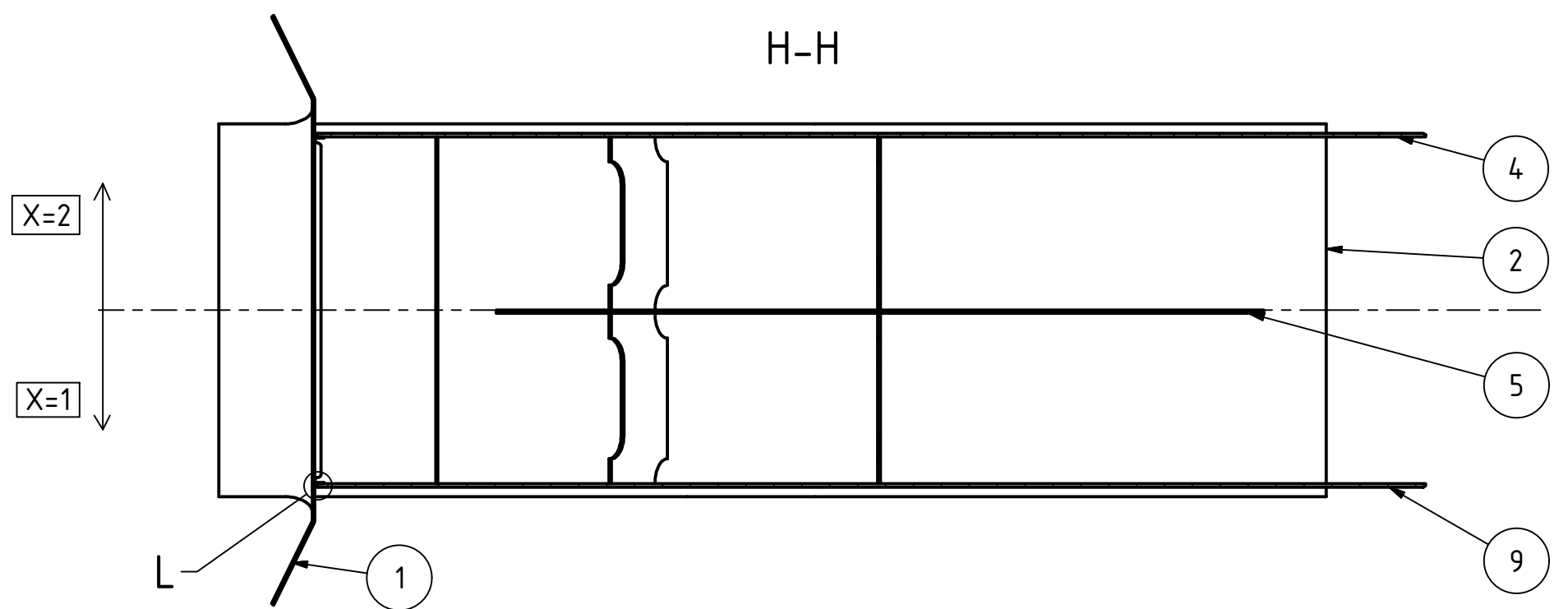
F (1:1)



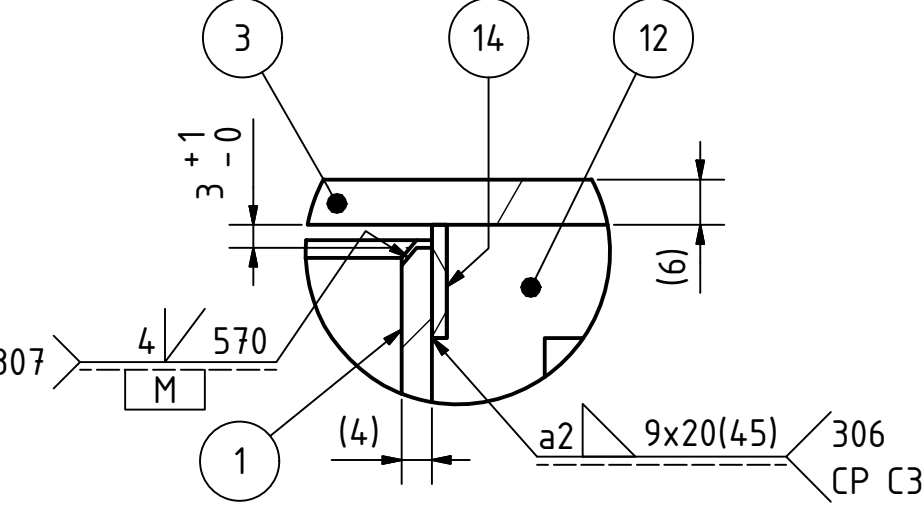
G (1:1)



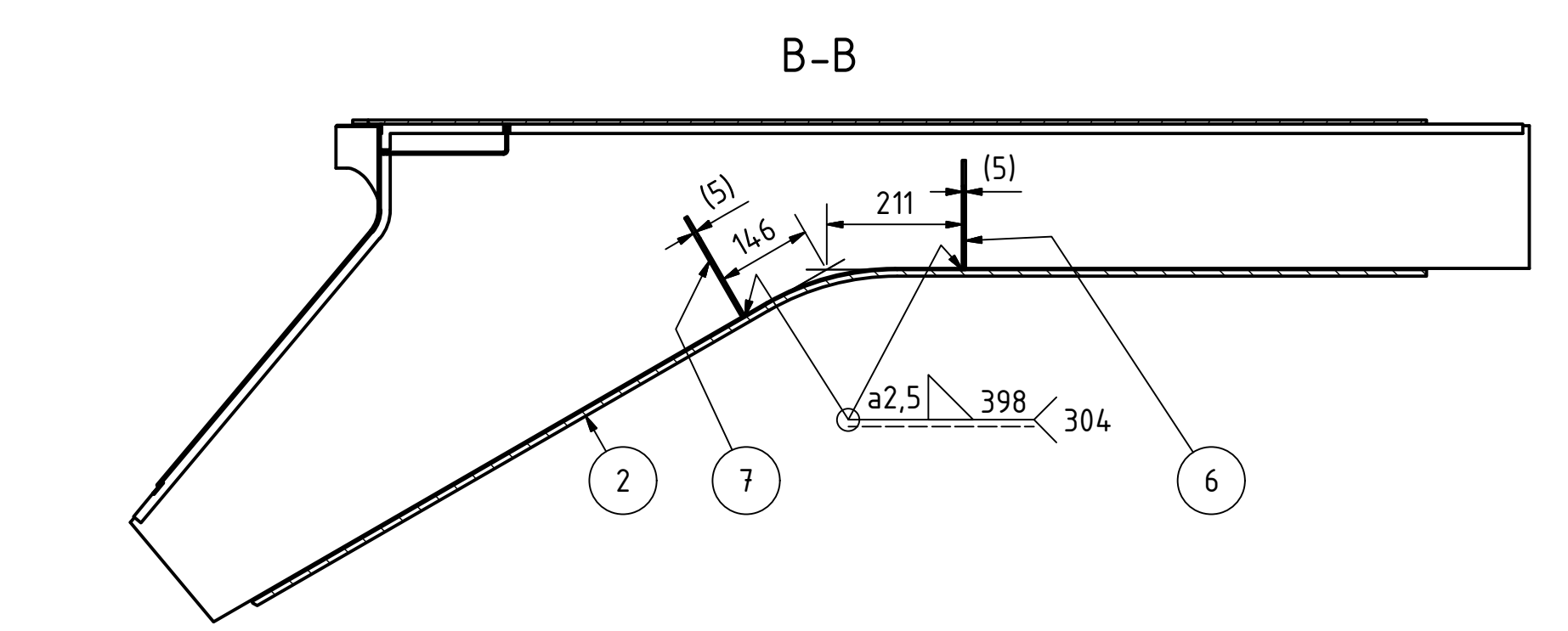
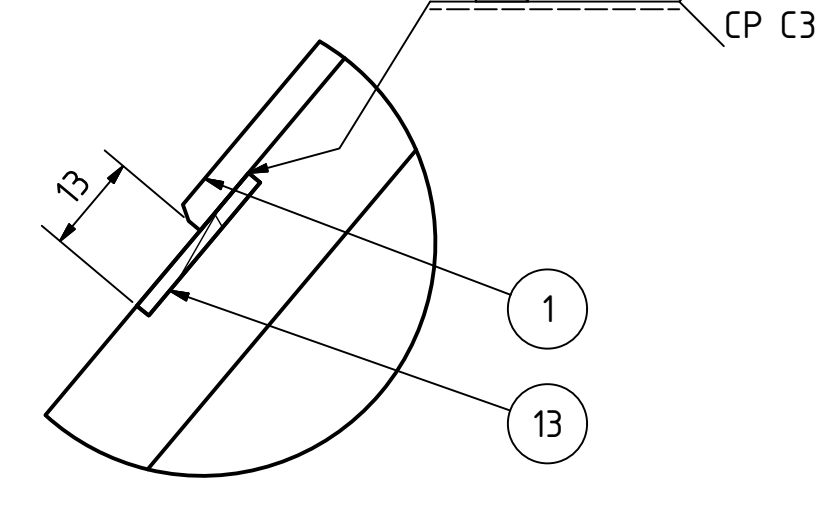
H-H



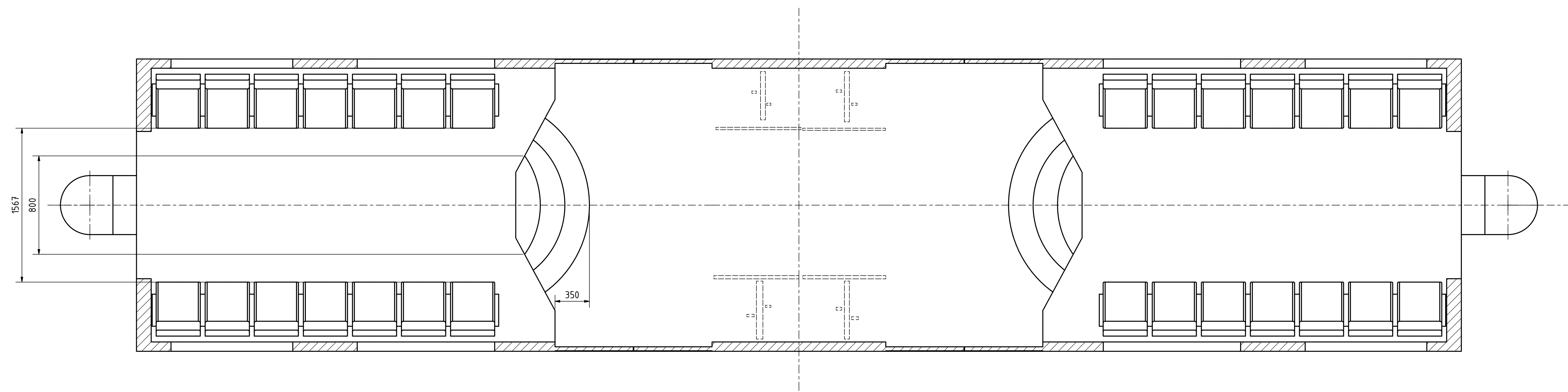
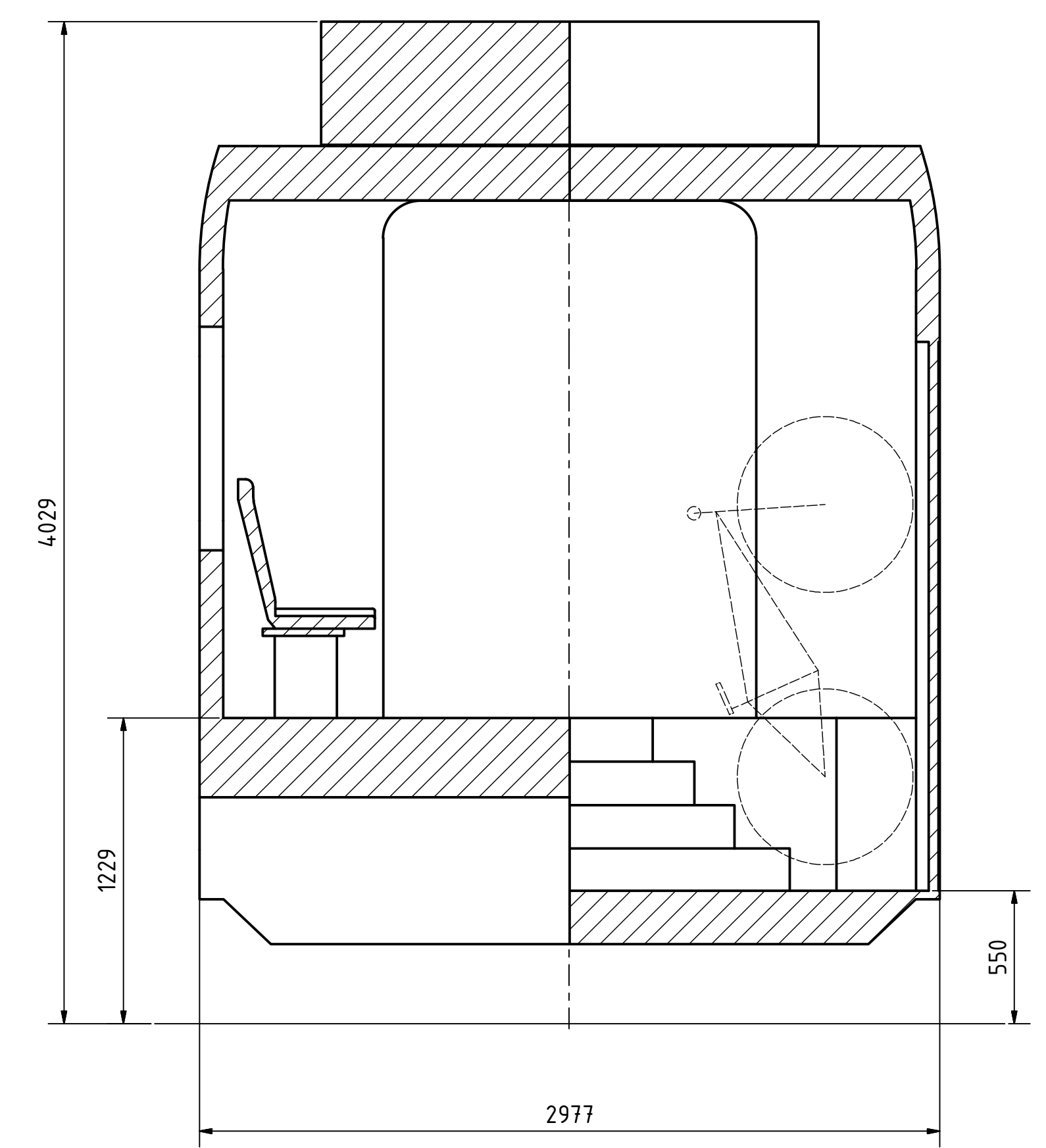
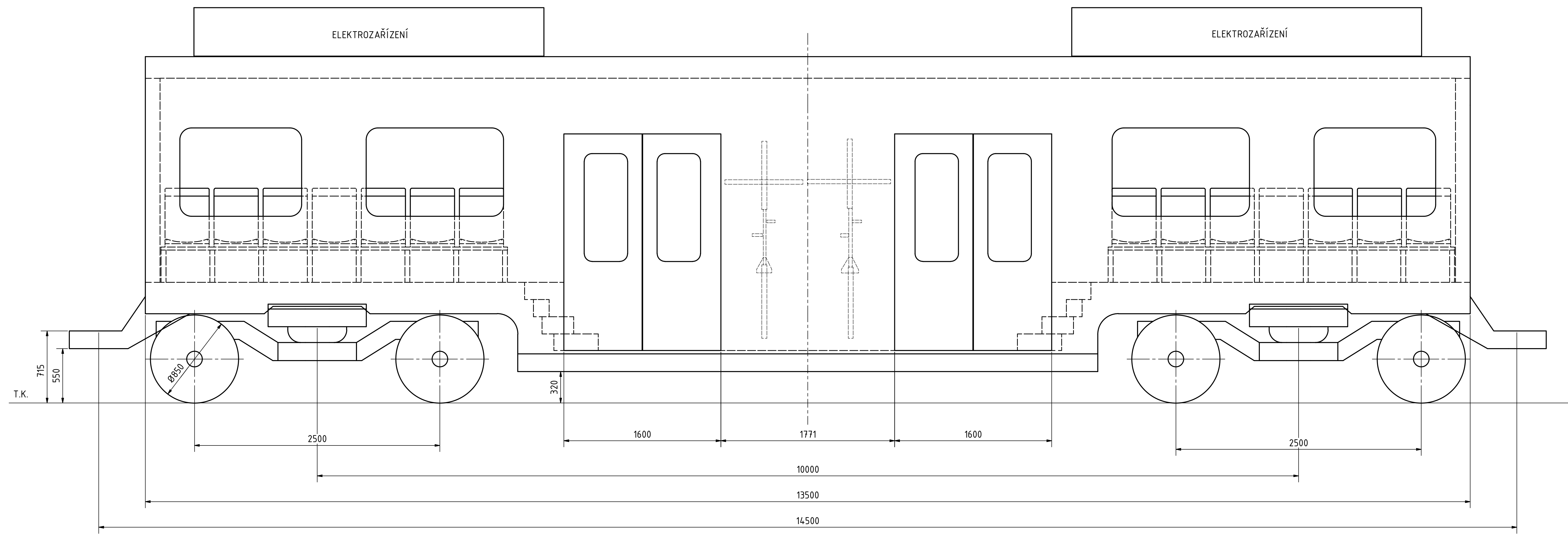
J (1:1)



K (1:1)



		celková hmotnost: 237,3 kg	
		PÁTEŘ ZADNÍ	
		ZČU - FST - KKS	
		1:10	
		1	
		AT	



POČET DVEŘÍ	4 (2+2)
POČET PEVNÝCH SEADEL	28
POČET SKLÁPÝCH SEADEL	0
POČET STOJÍCÍCH (4. OS./m <sup>2</sup> )	31
VÝŠKA NIZKOPODLAŽNÍ ČÁSTI OD T.K.	550
VÝŠKA VYSOKOPODLAŽNÍ ČÁSTI OD T.K.	1229
PODÍL NÍZKÉ PODLAHY	36%

NÁSTUPNÍ MODUL	
1:20	ZČU - FST - KKS
1	42