

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Železniční nákladní vůz pro přepravu osobních automobilů

Autor práce: Daniel Drnec

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Heptner

2019



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Drnec** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **469567**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Železniční nákladní vůz pro přepravu osobních automobilů

Název bakalářské práce anglicky:

Car carrier railway freight car

Pokyny pro vypracování:

- Studie proveditelnosti železničního nákladního vozu s boční nákládkou přepravovaných osobních automobilů. Vypracujte
1. Rešerši používaných koncepcí přepravy automobilů na železničních nákladních vozech
 2. Technický a funkční popis systému, jehož součástí bude navržený nákladní vůz
 3. Výkres (vizualizaci) navrženého řešení vozu a jeho typový výkres
 4. Konstrukční návrh a výkres určené části zařízení pro uložení přepravovaného automobilu na voze
 5. Průvodní technickou zprávu

Seznam doporučené literatury:

odborná periodika
firemní literatura
ČSN EN 15273-2

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Tomáš Heptner, ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.07.2019**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Tomáš Heptner
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Oldřich Vřtek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

29.4.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Tomáše Heptnera, s využitím citovaných zdrojů.

V Praze dne 13. 9. 2019

Daniel Drnec

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce Ing. Tomáši Heptnerovi za cenné rady, připomínky, vstřícný přístup a trpělivost při zpracovávání bakalářské práce.

Anotační list

Autor práce:	Daniel Drnec
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Heptner
Název práce:	Železniční nákladní vůz pro přepravu osobních automobilů
Title:	Car carrier railway freight car
Rok:	2019
Studijní program:	Teoretický základ strojního inženýrství
Studijní obor:	bez oboru
Ústav:	Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel
Rozsah práce:	Počet stran: 116 Počet obrázků: 80 Počet tabulek: 24 Počet grafů: 13 Počet příloh: 7
Klíčová slova	autovlak, vůz pro přepravu automobilů, paleta pro přepravu automobilů, zvedák vozidel
Keywords	motorail train, car carrier railway freight car, road vehicles transport platform, vehicle lifting device

Anotace

Práce se zabývá návrhem nákladního vozu pro přepravu osobních automobilů a motocyklů, primárně určeného pro použití v dálkových autovlacích, který se vyznačuje přepravou vozidel na samostatných bočně vykládaných paletách. V první části práce je provedena rešerše stávajících technologií, další část se zabývá celkovým popisem navrhovaného systému. Na ní navazuje výpočet rozměrů vagonu a dimenzování jednotlivých podpůrných prvků pro přepravu a vykládku vozidel.

Abstract

The bachelor thesis deals with the design of the car carrier railway freight car, primarily intended for use in motorail trains. The freight car features transportation of road vehicles on special platforms, that are able to be unloaded from the train from a side of the freight car. In the first part of thesis was done a research about current technologies. Second part contains a description of the freight car and another components of the transport system. In the third part of the thesis are described calculations of dimensions of the freight car and other parts of the transport system.

Obsah

Obsah.....	6
Úvod.....	10
1 Stávající technologie přepravy automobilů	12
1.1 Technologie využívající čelní nakládku	13
1.1.1 Nákladní vůz Laaers.....	14
1.1.2 Nákladní vůz Laes	14
1.1.3 Nákladní vůz Hccrrs.....	15
1.1.4 Nákladní vůz DDm.....	16
1.1.5 Jednopodlažní vozy	16
1.2 Technologie využívající boční nakládku.....	17
1.2.1 Nákladní vůz DPw4ümg	18
1.2.2 Patent US4543027A.....	19
1.2.3 Patent DE3616484A1.....	21
1.2.4 Koncept Rinspeed UC?	22
1.3 Další technologie	23
1.4 Technické údaje vybraných autovozů	24
1.5 Zajištění vozidel	25
1.5.1 Nakládací směrnice UIC	25
1.5.2 Kolové zarážky používané při přepravě osobních automobilů	27
1.5.2.1 Zarážky u vozů DDm ⁹¹⁵	27
1.5.2.2 Zarážky u autovozů Laaers 560.....	28
1.5.2.3 Zarážky u vozů Laaers 700.....	28
1.6 Možnosti dalšího rozvoje dnes používaných technologií.....	29
1.6.1 Nákladní vozy Laaers.....	29
1.6.2 Nákladní vůz Hccrrs.....	29
1.6.3 Nákladní vůz DDm.....	29

2	Koncepce navrhovaného systému.....	30
2.1	Autovůz	32
2.1.1	Hlavní rám vozu	34
2.1.2	Zvedací zařízení	35
2.1.4	Zvedací přepravní rámy	38
2.1.5	Spodní přepravní rámy	39
2.1.6	Střeška	40
2.1.7	Střešní bočnice	42
2.1.8	Bočnice.....	43
2.1.9	Podvozek	44
2.2	Paleta	45
2.2.1	Zajištění vozidel na paletě.....	46
2.3	Terminál.....	47
2.4	Manipulátor	48
3	Základní rozměry	49
3.1	Konstrukční omezení	49
3.1.1	Konstrukční omezení autovoze	49
3.1.2	Konstrukční omezení terminálu	50
3.1.3	Konstrukční omezení manipulátoru	51
3.2	Průzkum automobilového trhu	51
3.2.1	Délka vozidel.....	53
3.2.2	Šířka vozidel.....	56
3.2.3	Volná šířka mezi koly	57
3.2.4	Výška vozidel	57
3.2.5	Světlá výška vozidel.....	59
3.3	Výsledné rozměry.....	59
3.3.1	Bezpečnostní odstupy.....	62

3.3.2	Rozměry a hmotnost přepravovaných vozidel	63
3.3.3	Délkové rozměry manipulátorů.....	65
3.3.4	Rozměry a hmotnost přepravní palety	65
3.3.4.1	Výpočty průřezových charakteristik profilů palety	67
3.3.4.2	Svislé provozní namáhání.....	68
3.3.4.3	Příčné provozní namáhání	72
3.3.4.4	Podélné provozní namáhání.....	73
3.3.4.5	Podélné mimořádné namáhání.....	75
3.3.5	Vykládací výška	76
3.3.6	Výškové rozměry manipulátorů	76
3.3.7	Rozměry a hmotnost zvedacích rámu	78
3.3.8	Výška sloupů zvedacích zařízení dle palet.....	78
3.3.9	Rozměry pohonů palet	79
3.3.9.1	Úhly	79
3.3.9.2	Předběžné parametry matice.....	80
3.3.9.3	Kontrolní výpočty.....	80
3.3.9.4	Kinematika.....	83
3.3.9.5	Energetické poměry	84
3.3.10	Tvar sloupů zvedacích zařízení	84
3.3.11	Počet přepravovaných vozidel.....	87
3.3.12	Délka autovozy.....	89
3.3.13	Vzdálenost otočných čepů.....	89
3.3.14	Konstrukční obrys	89
3.3.15	Předběžná výška sloupů zvedacích zařízení střechy	91
3.3.16	Rozměry pohonů střechy.....	92
3.3.17	Příčné umístění sloupů zvedacích zařízení.....	93
3.3.18	Dimenzování nosných částí zvedacích přepravních rámu	94

3.3.19 Dostupná výška pro převážená vozidla	95
Závěr.....	97
Zdroje	99
Seznam obrázků	110
Seznam tabulek	114
Seznam grafů.....	115

Úvod

Každý druh dopravy má oproti ostatním určité systémové výhody a nevýhody, v praxi se však často nedaří dosažení jejich plného potenciálu. Na základě reálného stavu si pak mezi nimi zákazníci vybírají, který je pro ně v danou situaci nejvýhodnější. Část zákazníků silniční dopravy by za ideálního stavu železniční dopravy dala přednost vlaku a naopak, silniční a železniční doprava si tedy v jistých případech vzájemně konkurují. V jiných případech se však naopak vzájemně doplňují ve snaze maximálně využít výhody a zároveň potlačit nevýhody obou druhů dopravy.

Asi nejznámějším příkladem takové spolupráce je kombinovaná doprava intermodálních jednotek (ISO kontejnery, intermodální návěsy, výměnné nástavby atd.). V oblasti nákladní dopravy lze považovat za určitou spolupráci (buď v odlišné formě) i přepravu nových silničních vozidel z továren do distribučních center a přístavů.

V případě osobní dopravy jsou pak nejvýznamnější formou spolupráce parkoviště Park & Ride, na nichž řidiči odstaví u nádraží své automobily a dále (většinou do práce do většího města) pokračují vlakem. Méně známou formou spolupráce jsou autovlaky, což jsou vlaky, v nichž si s sebou cestující vezou i svá vozidla. Autovlaky je možné dále rozdělit na autovlaky kyvadlové a dálkové.

Kyvadlové autovlaky slouží k překonání nějaké překážky, kterou nelze překonat po silnici (popř. jen obtížně). Typickými příklady kyvadlových autovlaků jsou autovlaky jezdící Eurotunelem pod kanálem La Manche mezi Francií a Velkou Británií, autovlak spojující rakouské alpské průsmyky (Autoschleuse Tauernbahn) nebo autovlaky jezdící po Hindenburgově hrázi na ostrov Sylt v severním Německu. Cestující v některých případech zůstávají ve vozidlech, jindy jsou přepravováni v osobních železničních vozech. Jízda kyvadlovým autovlakem trvá maximálně několik desítek minut.

Účelem dálkových autovlaků je zvýšení cestovního komfortu na dlouhých trasách (např. Praha – Košice). Pasažéři cestují v osobních vozech, zatímco si svá vozidla přepravují na speciálních nákladních vozech. Dálkové autovlaky jezdí nejčastěji přes noc, přičemž mohou cestující spát v lůžkových vozech. V případě denních dálkových autovlaků pak mohou čas využít k práci nebo k zábavě.

Nevýhodou současných dálkových autovlaků je, že vozidla lze bez velkého množství posunovacích operací nakládat jen v jedné stanici, přestože jedou během několika hodin

přes spoustu velkých měst. Vykládat vozidla lze ve více stanicích s tím, že do každé stanice, ve které chceme vozidla vykládat, pojedou jeden vůz s auty (proces může probíhat i naopak – vozidla z více stanic pojedou do jedné). Celý proces nakládky navíc trvá poměrně dlouho (v terminálu je nutné být i více než 2 h před odjezdem) a je nutné s autem zajíždět do stísněného prostoru nákladního vozu. Další nevýhodou stávajících vozů je přeprava pouze omezeného množství vyšších vozidel (např. SUV), jejichž prodeje v současné době rostou. Za nevýhodu lze označit i absenci ochrany přepravovaných automobilů a motocyklů před vlivy počasí a vandaly.

Cílem práce je návrh vozu pro přepravu automobilů, s podrobnějším řešením jeho dílčích částí, který je součástí v práci taktéž navrhovaného komplexního systému dálkových autovlaků, jehož cílem je maximální možné omezení zmíněných nedostatků stávajících technologií. Hlavní odlišností navrženého systému je přeprava vozidel na paletách, podobných těm, které se používají v automatických parkovacích domech. Jakoukoliv z těchto palet je možné v terminálech samostatně vyložit z boku vozu, aniž by bylo nutné vykládat jiná vozidla. Zároveň je možné individuálně nastavit vertikální umístění každé palety v druhém patře vozu, což umožňuje efektivně využít rozměry vagonu dané konstrukčním obrysem.

Nákladní vozy pro přepravu automobilů jsou v práci dále označovány jako „autovozy“.

1 Stávající technologie přepravy automobilů

Jak již bylo zmíněno v úvodu, osobní automobily se po železnici přepravují z různých důvodů, přičemž každý z nich má svá specifika.

Přeprava nových automobilů je rozsáhlejší segment trhu než přeprava vozidel v dálkových autovlacích, v důsledku čehož je větší i trh s autovozy pro tento účel. V tomto segmentu se proto nabízí více různých typů autovozů a zároveň je rychlejší i nástup inovací. Autovozy jsou obvykle dvoudílné s rámovým pojezdem a jejich dvojkolí mají často menší průměr než u jiných vozů. Někdy mají rozdílné průměry i dvojkolí na jednom autovozu – dvojkolí uprostřed vozu jsou menší než na krajích [3]. Tato konstrukční řešení jsou zvolena z důvodu efektivnějšího využití délky autovozu, malé měrné hmotnosti připadající na přepravovaný automobil a co nejnižší výšky spodního podlaží nad temenem kolejnice, aby bylo možné přepravovat i vyšší vozidla. Horní podlaží bývá výškově nastavitelné, aby bylo možné převážet různé modely aut. Vzhledem k tomu, že v jeden časový okamžik bývá autovůz ložen automobily stejného modelu, postačuje jednotná výšková regulace celého podlaží. Dále bývá možné horní podlaží sklopit a vytvořit tak nájezdovou rampu. Zejména pro přepravu dražších automobilů se někdy využívají kryté autovozy, aby byla přepravovaná vozidla chráněna. Jejich konstrukce se od nekrytých autovozů příliš neliší. Maximální rychlost autovozů pro převoz nových automobilů bývá 100-120 km/h.

U autovozů pro dálkové autovlaky je důležitá kompatibilita s osobními vozy, konkrétně rychlost (min. 160 km/h), průběžný napájecí kabel, a kabel UIC [4]. Ve většině případů se používají otevřené dvoupatrové autovozy s pevným horním podlažím. Kvůli dosažení potřebné rychlosti mají autovozy pro dálkové autovlaky většinou podvozkovou konstrukci. Nabídka autovozů pro tento účel je menší než v předchozím případě, ve střední Evropě dominuje typ DDm⁹¹⁵, ostatní autovozy jsou zastoupeny v nižších počtech. Specifické autovozy se používají ve Finsku (dvoudílná krytá konstrukce s jednonápravovými podvozky pro rychlost 160 km/h [5]), což je dáno většími dovolenými rozměry [6].

1.1 Technologie využívající čelní nakládku

Všechny dnes používané technologie využívají nakládku automobilů na čelech autovozů. V případě přepravy nových automobilů se obvykle přepravuje velké množství vozidel mezi dvěma místy, není tedy potřeba vykládat některá auta z vlaku během cesty. Délka samotného procesu nakládky je závislá především na počtu řidičů, kteří auta do vlaků nakládají. Výhodou tohoto způsobu nakládky je, že vyžaduje pouze poměrně jednoduché konstrukce nakládacích ramp. Jednoduchost a investiční nenáročnost těchto ramp jsou některými z důvodů, proč se využívá čelní nakládka i v dálkových autovlacích. Dálkové autovlaky však již tento způsob nakládky omezuje, neboť neumožňuje individuální vykládání a nakládání vozidel, v důsledku čehož se dálkové autovlaky stávají pro mnoho potenciálních zákazníků z nácestných stanic neatraktivní.

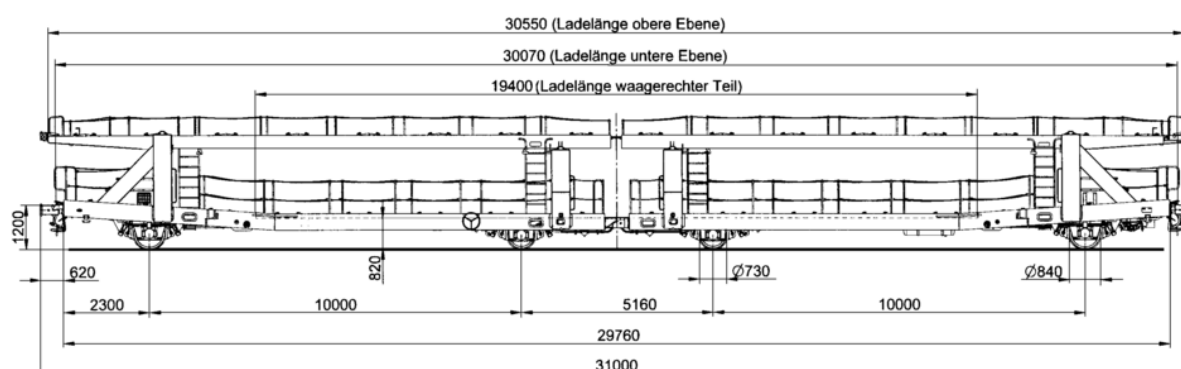
Nakládací rampy mohou být řešeny jako dvoupodlažní pevné konstrukce, jednopodlažní s nastavitelnou výškou nakládací hrany, jednopodlažní pevné (vozidla se do druhého patra nakládají rampou vzniklou nakloněním horního patra krajního autovoze) nebo jako rampy umístěné na speciálních vvozech určených k nakládce vozidel na vlak (vyžívají se u některých autovlaků).



Obrázek 1: Čelní nakládka pomocí výškově stavitelné jednopodlažní rampy [35]

1.1.1 Nákladní vůz Laaers

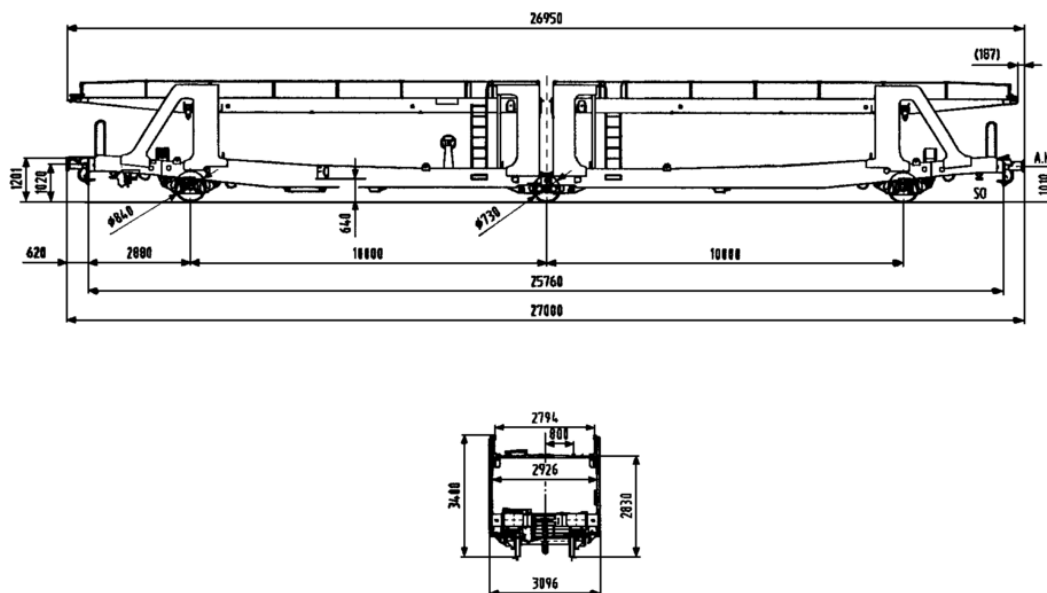
Laaers je dvoudílný otevřený autovůz, jehož každá část je nesena dvounápravovým rámovým pojezdem. Tento vůz má nastavitelnou výšku horního patra, které je dále možné i sklopit (kolem příčné osy) a vytvořit tak nájezdovou rampu, pomocí které mohou být vozidla do tohoto patra naložena. Některé autovozy pak mají i výškově nastavitelnou část pojezďené plochy ve spodním patře, v důsledku čehož efektivněji využívají konstrukční obrys. Pro zvedání jednotlivých pater se používají lanové kladky nebo pohybové šrouby. Nejčastěji se tento vůz používá pro přepravu nových aut z továren např. do přístavů. Pro dálkové autovlaky je nevhodný z důvodu nízké přepravní rychlosti, která se pohybuje kolem 100-120 km/h. [1][2]



Obrázek 2: Nákladní vůz Laaers 560 [3]

1.1.2 Nákladní vůz Laes

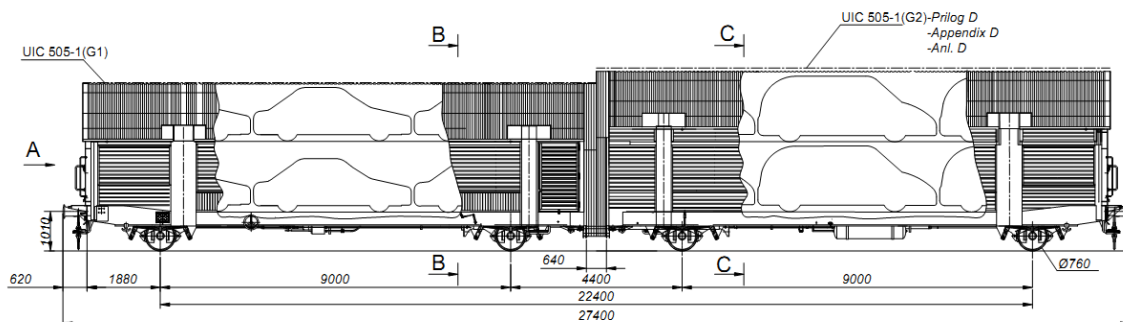
Laes je třínápravový dvoudílný otevřený autovůz, u kterého jsou obě části spojené společným podvozkem. Konstrukce vozu je dvoupatrová s nastavitelnou výškou horního patra, které lze stejně jako u vozu Laaers sklopit a vytvořit tak nájezdovou rampu. Manipulace s horním patrem probíhá obvykle pomocí lanových kladek. Nejběžnější užití tohoto autovozu je při přepravě nových automobilů z továren do přístavů nebo centrálních distribučních center, pro dálkové autovlaky není tento vůz vhodný z důvodu nízké přepravní rychlosti, která je u ložených vozů 100-120 km/h. [7][8]



Obrázek 3: Nákladní vůz Laes 559 [8]

1.1.3 Nákladní vůz Hccrrs

Tento typ autovozy je podobný typu Laaers, taktéž je tvořen dvoudílnou konstrukcí, jejíž každá část je nesena dvounápravovým rámovým pojezdem. Odlišuje se však tím, že je celý zakrytovaný. Vůz má výškově nastavitelnou polohu horního patra a střechy, neboť ta se musí při vykládání zvednout a zároveň je potřeba, aby ji bylo možné snížit pro provoz v zemích s menšími konstrukčními obrysy. Tento typ vozu je dražší než typ Laaers, proto se používá převážně k přepravě dražších automobilů. Vzhledem k nízké maximální rychlosti (100-120 km/h) se tento vagon v dálkových autovlacích příliš nevyužívá, jeho nejčastějším užitím je přeprava nových aut z továren do přístavů apod., stejně jako u vozu Laaers. Výjimkou je Finsko, kde se využívají v dálkových autovlacích podobné autovozy typu Hccmqqr, které jsou vybavené jednonápravovými podvozky TF25SA [9] pro rychlost 160 km/h a elektrickými přípojkami pro napájení nezávislých topení. [5][10][11]

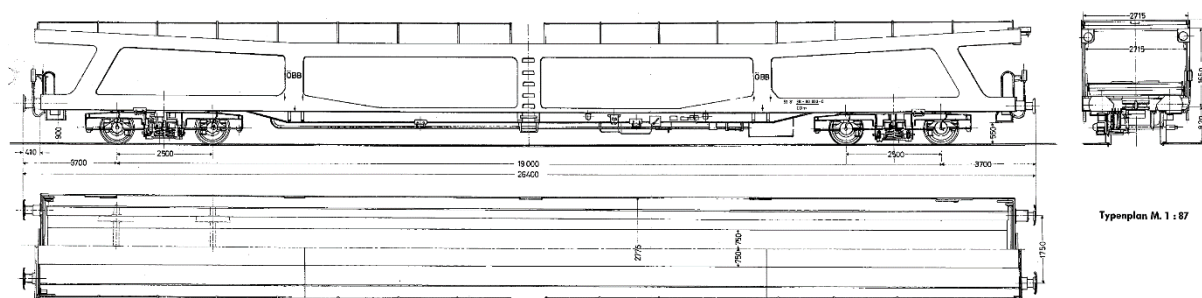


Obrázek 4: Nákladní vůz Hccrrs [38]

1.1.4 Nákladní vůz DDm

Autovůz DDm je primárně určen pro dálkové autovlaky. Jeho konstrukce je tvořena dvoupatrovým pevným rámem, neseným dvěma dvounápravovými podvozky (např. MD 44 nebo Y 30 [12][4]), které mu umožňují jízdu rychlostí 160 km/h. Vůz existuje ve více variantách, včetně krytých (v takových případech se vůz označuje MDDm), ve střední Evropě je pravděpodobně nejrozšířenější typ DDm⁹¹⁵.

Výhodnou pevné konstrukce je její jednoduchost, naopak nevýhodou je malá variabilita vozu, kvůli které vůz nemůže plně využít dostupný konstrukční obrys při přepravě různých modelů automobilů.



Obrázek 5: Nákladní vůz DDm⁹¹⁵ [39]

1.1.5 Jednopodlažní vozy

Jednopodlažní vozy se při přepravě osobních automobilů používají většinou v kyvadlových autovlacích, protože v případě těchto autovlaků se nepřevozí jen osobní automobily, ale i vyšší vozidla – nákladní automobily a autobusy. Autovozy mohou být řešeny jako upravené plošinové vozy, jako vozy konstrukčně podobné vozům Laaers bez horního podlaží nebo jako speciální nízkopodlažní vozy podobné vozům využívaných při přepravě nákladních vozidel ve vlacích Ro-La. V dálkových autovlacích se nepoužívají z důvodu nižší přepravní kapacity ve srovnání s dvoupodlažními autovozy.



Obrázek 6: Jednopodlažní vozy na kyvadlovém autovlaku Autoschleuse Tauernbahn [40]

1.2 Technologie využívající boční nakládku

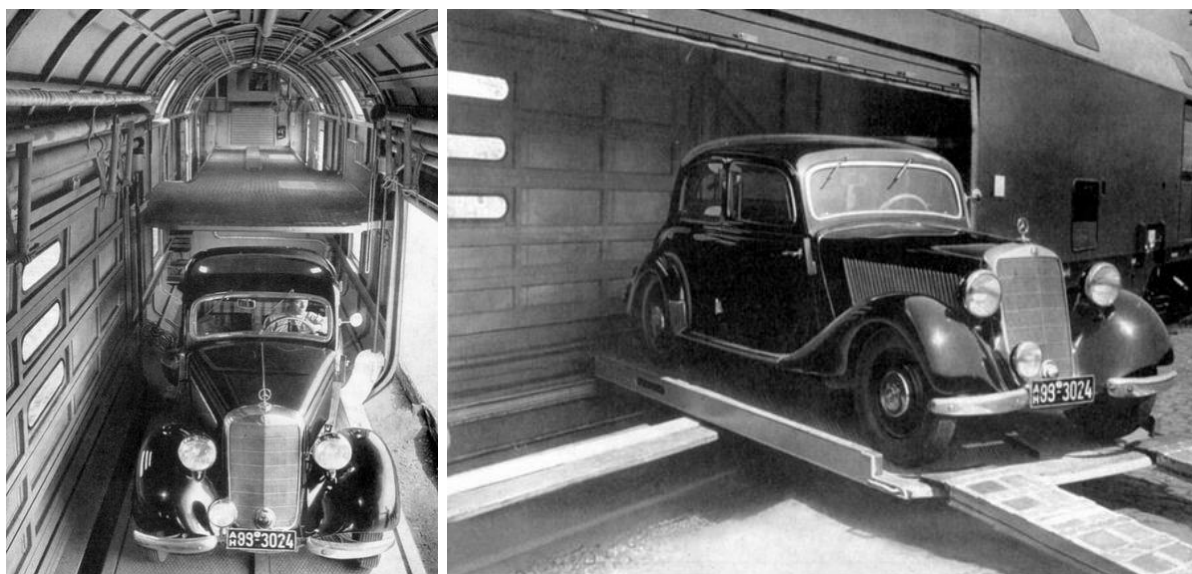
Výhodou boční nakládky je možnost individuální nakládky a vykládky automobilů (nebo alespoň autovozů) nezávisle na ostatních přepravovaných automobilech (resp. autovezech). I přes tuto výhodu však většina technických řešení pro boční nakládku zůstala pouze ve formě patentů, fyzické realizace se v polovině 20. století dočkal pravděpodobně jen vůz DPw4ümg (blíže popsán v další části práce). Za důvod neúspěchu lze považovat většinou složitější konstrukci vozů i terminálů a z toho plynoucí vyšší finanční náročnost. Svou roli může hrát i to, že výhody boční manipulace se projeví zejména u dálkových autovlaků, což je menší tržní segment než přeprava nových automobilů, u níž jsou případné výhody z boční manipulace menší.

Vlastní nakládka se obvykle realizuje pomocí různých otočných plošin nebo přepravních palet podobných těm, které se používají v automatických parkovacích domech. Konstrukce terminálů jsou různého provedení – od jednoduchých nakládacích ramp připomínajících nástupiště až po komplexní stavby s množstvím různých zařízení, přičemž zpravidla platí, že složitější systémy umožňují rychlejší a komfortnější manipulaci s přepravovanými automobily.

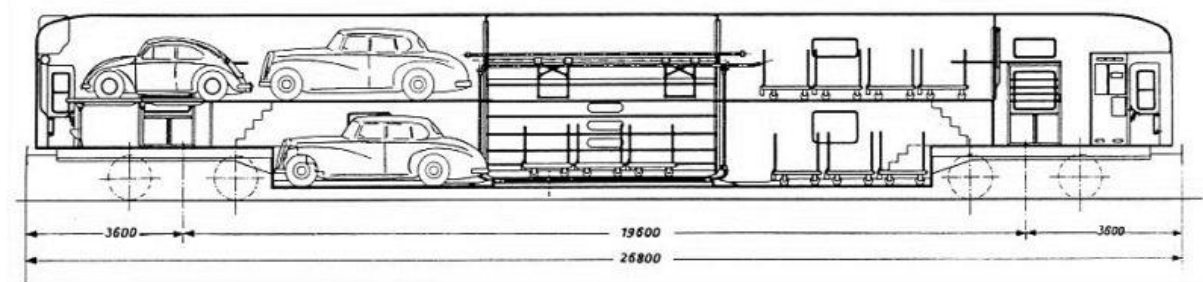
1.2.1 Nákladní vůz DPw4ümg

Nákladní vůz DPw4ümg, nasazený do provozu v Německu v roce 1956, byl určen speciálně pro použití v dálkových autovlacích. Pojezd autovozy tvořily dva podvozky Minden-Deutz 50, díky nimž mohl jet rychlostí až 140 km/h. Vůz byl krytý a umožňoval přepravu osmi automobilů, které se do něj nakládaly rolovacími vraty z boku, v polovině délky vozu. Automobily najely vraty na plošinu umístěnou ve voze, která byla natočená tak, aby na ni bylo možné najet z nakládací hrany (nástupiště). Poté byla plošina i s automobilem ručně otočena do autovozy, do polohy rovnoběžné se směrem jízdy vlaku. Následně byla celá plošina vyzdvižena do druhého (nebo snížena do prvního) patra a automobil z plošiny sjel (popř. byl odtlačen) do přepravní polohy. Poslední auto bylo přepravováno na otočné plošině. Ve voze bylo možné přepravovat i jiný náklad než automobily, např. zboží na paletách. [14][17]

Výhodou tohoto způsobu manipulace byla možnost nakládky vozidel v nácestných stanicích bez posunování a minimální nároky na podpůrnou infrastrukturu. Naopak nevýhodou byla nemožnost individuální manipulace s přepravovanými automobily. Vůz nebyl příliš úspěšný, postupně bylo vyrobeno pouze šest kusů. Vzhledem ke složitější konstrukci oproti otevřeným vozům lze jako jeden z důvodů předpokládat vyšší cenu. Otázkou je samotná rychlost nakládky, kterou některé zdroje označují za rychlou [14], při srovnání videozáznamů nakládky vozu DPw4ümg [15] a nakládky autovlaku s autovozy s čelní nakládkou [16] však vlastní nakládka (bez posunování) působí pomaleji, zejména z důvodu malé rychlosti zdvihu. Výsledná bilance tedy pravděpodobně není zcela jednoznačná a její výsledek by závisel na efektivnosti posunu při použití autovozy s čelní nakládkou a množství přepravovaných vozidel. [14][17]



Obrázky 7 a 8: Nakládání vozidel do vozu DPw4ümg [42]

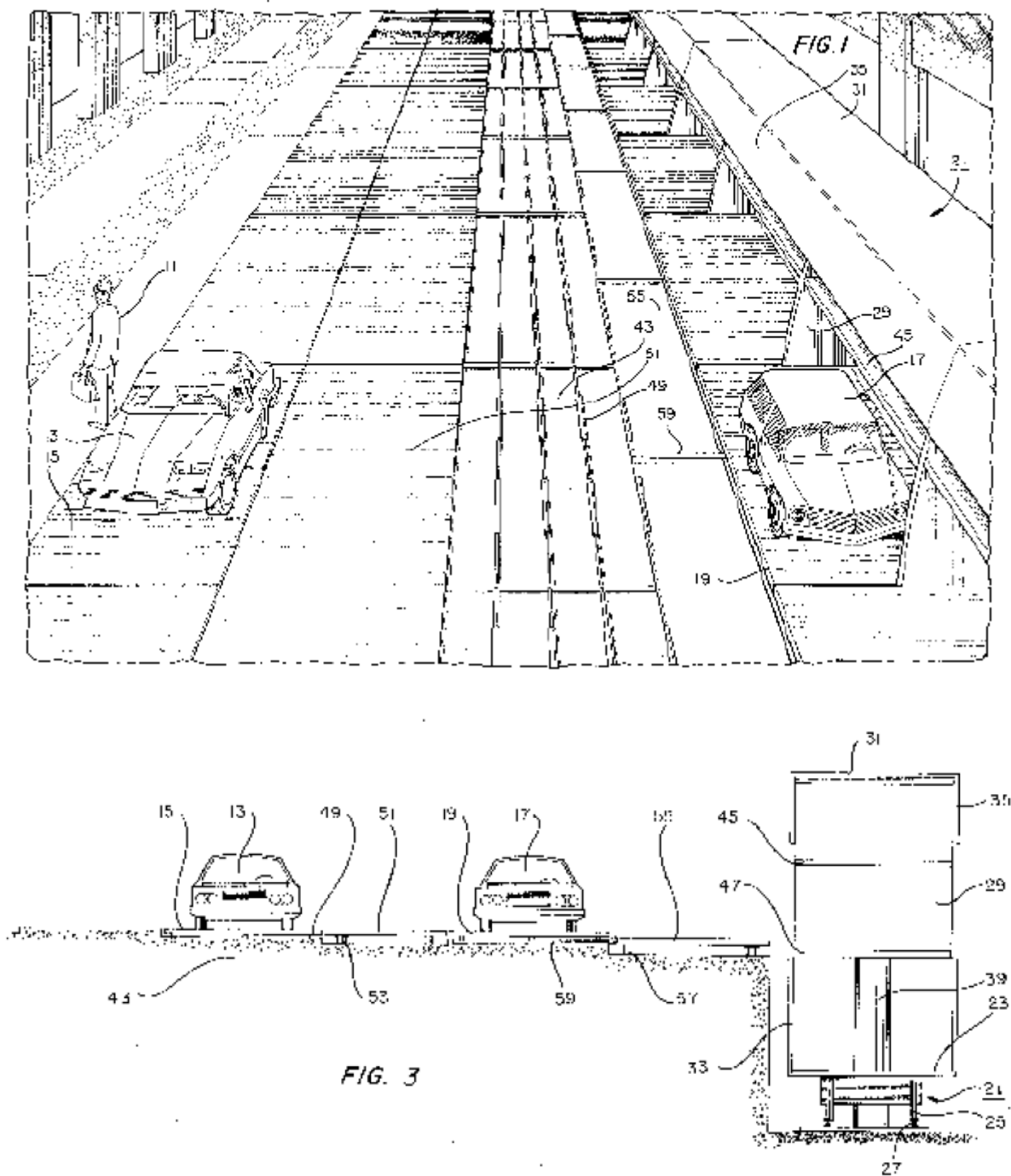


Obrázek 9: Nákladní vůz DPw4ümg [41]

1.2.2 Patent US4543027A

Tento patent z roku 1985 popisuje systém pro přepravu silničních vozidel, ve kterém jsou automobily převáženy na paletách v dvoupatrovém autovoze. Palety jsou v terminálech uspořádané rovnoběžně s železniční kolejí a obslužnou komunikací pro příjezd automobilů. Palety nakládané do horního i do dolního patra autovoze jsou v terminále umístěné vedle sebe v jedné výškové úrovni (mezi nimi je pouze chodník). Autovůz je vybaven střeou, která se po příjezdu do terminálu zvedne pomocí v terminálu umístěných hydraulických válců. Samotné palety jsou ve voze přepravované v dvoupatrovém rámu s pevně danými rozměry (tzn. nelze měnit vzájemnou vertikální pozici palet). Tento rám je zvedán pomocí dalších v terminálu umístěných hydraulických válců, které jej postupně zvednou do odpovídající nakládací úrovně pro nakládku do spodního nebo horního patra. Paleta, která se bude nakládat dříve (a je tedy dále od obslužné komunikace, a naopak blíže ke koleji), je uložena na poháněných otočných válcích. Pro nakládku je nejprve tato paleta přesunuta pomocí otočných válců na zvedací plošinu, která je umístěna mezi touto paletou a kolejí. Tato plošina se poté o něco sníží na úroveň přepravního rámu. Následně paletu z plošiny do rámu odtlačí horizontální hydraulický válec, který je umístěný pod poháněnými válci (proto se musí plošina snížit a nestačí jen zvednout rám na autovoze – kvůli poloze zmíněného odtlačovacího válce). Pro nakládku palety s automobilem do druhého podlaží autovoze změni hydraulické válce vertikální polohu rámu. V terminálu se sníží chodník tak, aby přes něj mohla být pomocí dalších poháněných válců přesunuta paleta na poháněné válce, na nichž byla předtím umístěna již naložená paleta, a celý postup se opakuje. Poté hydraulické válce sníží rám a střechu do přepravní pozice. Vykládka probíhá obdobně, přičemž palety jsou z autovoze přemístěny na zvedací plošinu pomocí háku umístěného na odtlačovacím válci. Patent pozbyl platnosti v roce 1997. [18]

Výhodou tohoto systému je možnost individuální manipulace s přepravovanými vozidly a jejich ochrana během přepravy. Naopak nevýhodou je velká investiční náročnost terminálů. Při vhodném konstrukčním řešení by mohlo být možné nakládání automobilů i na čelech autovozů, což by mohlo usnadnit zavádění systému do praxe.

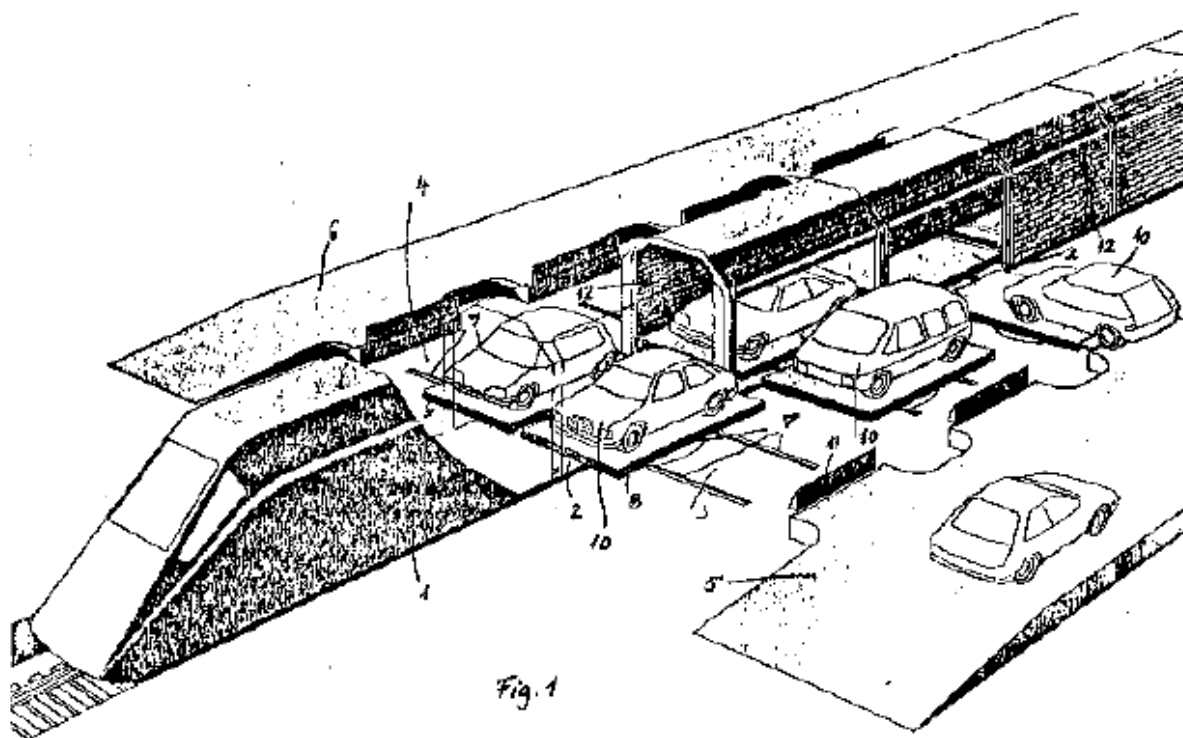


Obrázky 10 a 11: Systém popsany v patentu US4543027A [18]

1.2.3 Patent DE3616484A1

Podobně jako předchozí patent i tento, z roku 1987, využívá pro přepravu automobilů palety. Popisovaný systém se skládá z terminálu, vlakové soupravy a centrální řídicí jednotky. Palety jsou v terminálu umístěné na otočných plošinách mezi kolejí a obslužnou komunikací, která je s kolejí rovnoběžná. Při najíždění automobilů z obslužné komunikace na palety jsou palety natočené tak, že svírají s železniční kolejí úhel 90°. Přejezd z obslužné komunikace na palety je realizován pomocí krátkých sklopných ramp. Ty se po zaparkování vozidla na paletě zvedou a plošina s paletou se otočí o 90° do polohy rovnoběžné s kolejí. Poté se paleta přesune do vlaku pomocí blíže nespécifikovaných překládacích zařízení (není v patentu definované, je v něm pouze uvedené, že lze použít dnes známé technologie, např. otočné válce). Následně se zavřou vrata a vlak opustí terminál. Palety, které byly z vlaku vyloženy, se otočí o 90°, sklopí se rampy a vozidla mohou sjet z palet na obslužnou komunikaci. Patentu vypršela platnost roku 1995. [19]

Výhodou tohoto systému je možnost individuální manipulace s automobily a pravděpodobně jednoduchá orientace v terminálu. Nevýhodou je vyšší investiční náročnost terminálů a neřešení druhého patra a přesunu palet z terminálu do vlaku.



Obrázek 12: Systém popsáný v patentu DE3616484A1 [19]

1.2.4 Koncept Rinspeed UC?

V roce 2010 byl na Ženevském autosalonu představen koncept dvoumístného elektromobilu Rinspeed UC?. Nevýhodou tehdejších i stávajících elektromobilů v porovnání s automobily se spalovacími motory je i přes neustálý technický vývoj malý dojezd a relativně dlouhá doba nabíjení [20]. Dojezd tohoto automobilu byl pouze 105 km, dle výrobce se však jednalo o dostatečnou hodnotu pro běžné užívání, neboť v době představení (rok 2010) bylo 82 % cest kratších než 60 km [21]. Při občasném cestování na delší vzdálenost měli majitelé využívat speciální dálkové autovlaky. Auta by v nich byla přepravována ve spodním patře kolmo ke směru jízdy, zatímco jejich posádky by cestovali druhém patře nebo v osobních vozech. Během přepravy by se autům navíc dobíjely akumulátory. [22]

Tento systém zůstal pouze ve formě konceptu, nicméně i kdyby k jeho realizaci došlo, byl by využitelný jen pro velmi krátké automobily, protože šířka autovozu daná konstrukčním obrysem by pravděpodobně nemohla překročit hodnotu 3 000 mm [6]. Kromě Rinspeedu UC? (délka 2 590 mm [22]) by tak bylo možné pravděpodobně přepravit pouze Smart Fortwo (délka 2 695 mm [23]) nebo auta pro patnáctileté (např Aixam Minauto – délka 2 759 mm [24]).



Obrázek 13: Koncept Rinspeed UC? [50]

1.3 Další technologie

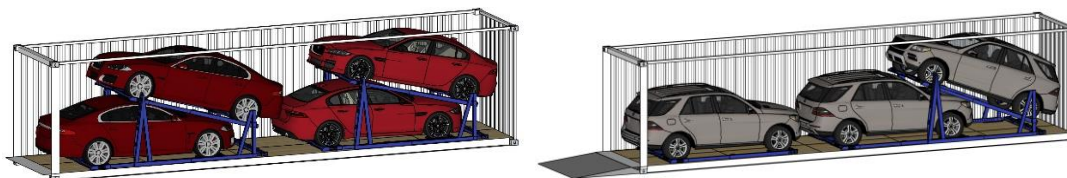
Automobily je možné přepravovat po železnici i jinými způsoby, než byly popsány v předchozích částech práce, pro použití v dálkových autovlacích se však nehodí z důvodu specifické polohy vozidel během přepravy, malé kapacity nebo složité nakládky.

Jedním z těchto nekonvenčních způsobů přepravy je systém Vert-A-Pac, který byl používán v 70. letech v Americe pro přepravu Chevroletu Vega. Automobily byly převáženy ve vertikální poloze, což umožnilo přepravu 30 vozidel v jednom voze oproti 18 v případě běžných amerických třípatrových autovožů. Automobily najely na sklopené bočnice kolmo ke koleji a byly k nim upevněny. Poté byly bočnice otočeny do přepravní polohy pomocí většího vysokozdvizného vozíku. Tento způsob přepravy si vyžádal i určité konstrukční úpravy na přepravovaných vozidlech, spočívající zejména v opatřeních pro zamezení úniku některých provozních kapalin (např. elektrolyt v autobaterii nebo motorový olej), neboť automobily byly dodávány už s těmito kapalinami. Po ukončení výroby Chevroletu Vega byly vozy předělány na běžné třípatrové autovozy. [25]



Obrázek 14: Systém Vert-A-Pac [51]

Další možností je přeprava aut v kontejnerech. Tento způsob přepravy se využívá zejména v námořní dopravě pro přepravu malého počtu automobilů (pro větší počty se většinou používají Ro-Ro lodě). Pro použití v dálkových autovlacích však tato technologie není vhodná zejména z důvodu komplikované nakládky. [26]



Obrázky 15 a 16: Přeprava aut v kontejnerech pomocí systému EL-RAK [26]

1.4 Technické údaje vybraných autovozů

V následující tabulce je uveden přehled údajů o dostupném prostoru pro přepravu automobilů ve vertikálním směru. *Dostupná výška celkem* představuje součet vzdáleností v obou patrech mezi pojižděnou plochou a fyzickým omezením nebo obrysem (např. mezi podlahou prvního patra a spodní částí konstrukce druhého patra). *Využitelná dostupná výška* je dostupná výška zmenšená o bezpečnostní odstupy od pevných částí vagonu (střecha, spodní část horního patra) dle Nakládací směrnice UIC [6][28], konkrétně o 80 mm. Tyto údaje jsou dále rozděleny na *výšku nad pojezdy* a *výšku uprostřed vozu*. Pokud je nad pojezdy pojižděná plocha v prvním patře šikmá a v druhém rovná, pak byla hodnota stanovena jako součet výšky dostupné na horním podlaží a vzdálenosti mezi nejvyšším bodem šikmé části spodního podlaží (tj. u narážecího ústrojí) a spodní hranou horního podlaží, zvětšené o 100 mm. Důvod zvětšení hodnoty je, že se vozidla na této ploše převážívají v šikmé pozici, takže je pro jejich přepravu více prostoru, než kdyby se přepravovala na rovné ploše, jako je tomu např. u vozu DDm⁹¹⁵. Posledním technickým údajem v tabulce je vzdálenost nejnižšího bodu spodního patra od temene kolejnice (v tabulce jako *Min. úroveň dolního patra*).

Typ vozu	Dostupná výška celkem		Dostup. výška využitelná		Min. úroveň dolního patra	Zdroj
	nad pojezdy	uprostřed	nad pojezdy	uprostřed		
Laaers 560 ¹⁾	3 495	3 780	3 415	3 700	820	[36]
Laaers BA810 ⁵⁾	3 960	3 960	3 880	3 880	665	[31][37]
Laaers 800 ¹⁾	3 530	3 720	3 450	3 640	910	[43]
Laaers 700 ¹⁾	3 483	3 687	3 403	3 607	947	[44]
Laaers 5.837	3 405	3 556	3 325	3 476	995	[45]
Laes ¹⁾	3 401	3 961	3 321	3 881	640	[7]
Hccrrs 328 ¹⁾	3 490	3 740	3 330	3 580	820	[11]
Hccrrs 5.860	3 484	3 664	3 324	3 504	880	[47]
DDm ^{915 2)}	3 170 ³⁾	3 550 ³⁾	3 170	3 550	820	[39][49]
DPw4ümg ⁴⁾	1 960	3 855	1 880	3 695	325	[48]

¹⁾předpokládaná hodnota výšky podlahy nad krajními podvozky/pojezdy 1 100 mm (auta stojí na šikmé ploše)

²⁾předpokládaná hodnota výšky podlahy nad krajními podvozky/pojezdy 1 200 mm (auta stojí na rovné ploše)

³⁾z důvodu nedostupnosti dat použita využitelná výška

⁴⁾není shoda dat v podkladech, použity takové hodnoty, které vyhovují obrysu G2

⁵⁾předpokládaná tloušťka střechy 50 mm a podlahy taktéž 50 mm

Tabulka 1: Technické údaje vybraných autovozů (všechny číselné údaje jsou v milimetrech)

1.5 Zajištění vozidel

1.5.1 Nakládací směrnice UIC

Nakládací směrnice UIC se zabývá způsoby nakládání a zajištění nákladu za účelem zajištění bezpečnosti provozu a optimalizace uložení z hlediska ekonomiky provozu. Platí pro mezinárodní železniční přepravu realizovanou železničními dopravci v rámci Úmluvy COTIF i pro vnitrostátní dopravu v rámci České republiky. Dělí se do dvou samostatných svazků – „Zásady“ a „Zboží“. [27]

Způsob zajištění vozidel (kolových i pásových) je popsán stručně ve svazku „Zásady“ v části 5.6.3 a detailněji ve svazku „Zboží“ v kapitole 7. Kromě bezpečného zajištění vozidel proti pohybu směrnice definuje i bezpečné odstupy od ostatních přepravovaných vozidel a pevných částí nákladního vozu. V rámci směrnice se dále rozlišuje, zda jsou vozy vedeny jako vozová zásilka, nebo jako ucelený vlak, popř. jestli jsou vybavené tlumícími zařízeními čelníků (u odtlumených vozů a ucelených vlaků jsou povoleny menší bezpečnostní odstupy, v případě osobních automobilů naložených na jedné vozové jednotce 100 mm). [6][28]

Směrnice definuje v zásadě šest způsobů zajištění vozidel [28]:

- **Zajištění pomocí klínů**
 - osobní a nákladní automobily, přívěsy, stavební technika
 - vozy s dřevěnou podlahou
 - definována výška klínů (u vozidel do 6 t 120 mm), počet klínů a počet hřebů v podélném i příčném směru podle hmotnosti a rozměrů přepravovaných vozidel
- **Zajištění uvázáním**
 - osobní a nákladní automobily, přívěsy, stavební technika
 - vozy s dřevěnou podlahou
 - každé vozidlo se na obou koncích zajistí dvěma na sobě nezávislými vázáními, která působí v podélném i příčném směru, u vozidel do 3 t lze použít drát

- **Zajištění sklopnými zarážkami**
 - kolová vozidla s pneumatikami
 - plošinové vozy, nízkostěnné vozy, nakrátko spojené jednotky, patrové autovozy (La...), vybavené zarážkami o úhlu 45°
 - počet zarážek závisí na hmotnosti a typu přepravovaných vozidel (u osobních vozidel do 5,5 t zarážky jen u upevněné nápravy), někdy je nutné doplnění vázáním
 - nepoužité kolové zarážky je nutné upevnit
- **Zajištění volnými a speciálními zarážkami**
 - kolová vozidla s pneumatikami do 22 t
 - plošinové vozy zvláštní stavby, nakrátko spojené nebo patrové vozy s podlahou z vlnitého plechu nebo mřížového roštu (L..., S...), vybavené speciálními nebo volnými kolovými zarážkami
 - počet zarážek závisí na hmotnosti a rozměrech vozidla (vozidla s rozchodem kol do 3,1 m a hmotností do 5 t se zajistí min. 4 zarážkami)
 - nepoužité kolové zarážky je nutné upevnit
- **Zajištění automobilů do 2 200 kg pomocí kolových zarážek**
 - osobní a malé užitkové automobily s hmotností do 2 200 kg
 - vozy pro přepravu automobilů vybavené kolovými zarážkami
 - každé vozidlo se zajistí 4 kolovými zarážkami, doléhajícími ke kolům, přípustné jsou konstrukčně podmíněné mezery
 - nepoužité kolové zarážky je nutné upevnit
 - nejmenší volný prostor mezi střešou vozidla a spodní stranou horní ložné plošiny je 80 mm
- **Zajištění automobilů do 2 200 kg pomocí kolových zarážek na jednom kole**
 - osobní a malé užitkové automobily s hmotností do 2 200 kg
 - vozy pro přepravu automobilů vybavené kolovými zarážkami
 - každé vozidlo se zajistí 2 kolovými zarážkami na jednom kole, doléhajícími ke kolům, přípustné jsou konstrukčně podmíněné mezery, v příčném směru jsou nutné min. 50 mm vysoké kolejničky pro uchycení kolových zarážek
 - nepoužité kolové zarážky je nutné upevnit
 - nejmenší volný prostor mezi střešou vozidla a spodní stranou horní ložné plošiny je 80 mm

V praxi se kolové zarážky s jiným úhlem než 45° používají i pro přepravu těžších automobilů než 2 200 kg, např. 2 800 kg v případě vozu Laaers 560 DB. [52]

Dále směrnice stanovuje požadovaná zajištění provedená přímo na vozidlech [28]:

- uzavření všech krytů
- stažení či demontování antén
- motory chráněné před samovolným nastartováním
- pneumatiky nahuštěné na provozní tlak
- zajištěná brzda
- zajištěná převodovka

1.5.2 Kolové zarážky používané při přepravě osobních automobilů

1.5.2.1 Zarážky u vozů DDm⁹¹⁵

V těchto autovozech se používají odnímatelné zarážky, které se přichycují k vodící liště pomocí čepu, jenž je udržován v zajištěné poloze pomocí pružiny. Nevyužívané zarážky se většinou umísťují do schránek na voze určených k tomuto účelu. Výška horní hrany zarážky (konkrétně části, která je v kontaktu s kolem přepravovaného vozidla) je přibližně 125 mm [zdroj autor]. Pro zajištění vozidel s nižší světlou výškou se používají k tomu určené vaky.



Obrázky 17 a 18: Vlevo běžná zarážka na voze DDm, vpravo vak pro auta s nízkým podvozkem [zdroj autor]

1.5.2.2 Zarážky u autovozů Laaers 560

Na těchto vozech se používají zarážky s výklopným ramenem, které se pohybují po vodící kolejnici. V požadované poloze se zaaretují pomocí čepu, jenž je součástí zarážky, který se do kolejnice svrchu zasune. Při nepoužití zarážky se rameno otočí do polohy mezi vodící kolejnici a okraj vozu. Výška zarážek je 110 mm. [29]



Obrázky 19 a 20: Vlevo zarážka autovozu Laaers 560 v jistící poloze, vpravo v poloze nejistící [29]

1.5.2.3 Zarážky u vozů Laaers 700

V případě těchto vozů se využívají zarážky s výklopným ramenem, které se pohybují po vodících kolejnících, podobně jako u popsaného vozu Laaers 560. Od nich se odlišují způsobem aretace – zarážky nejsou zafixovány v požadované poloze pomocí čepů, ale pomocí třecí síly, která je vyvozována přitlačením přitlačného elementu k vodící kolejnici. Toto přitlačení se realizuje pomocí nohou ovládané kolébky. Podobné systémy se využívají i na vozech Laaers 800, BA810 nebo vozech Laaers společnosti Gefco. Výška zarážky je přibližně 145 mm (měřeno na vozech společnosti Gefco [zdroj autor]). [2][30][31]



Obrázky 21 a 22: Vlevo zarážka autovozu Laaers 700 v jistící poloze [30], vpravo 3D model zarážky [31]

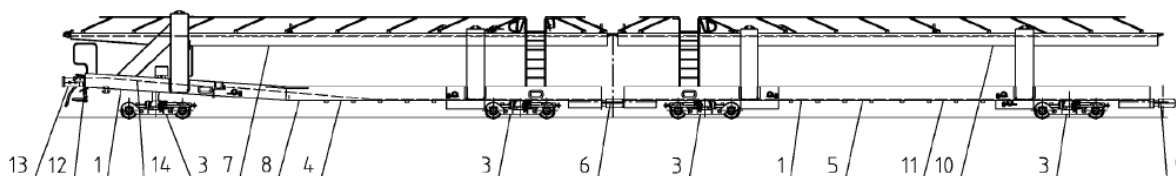
1.6 Možnosti dalšího rozvoje dnes používaných technologií

Obecně lze očekávat snahu o snížení hmotnosti, neboť ta má značný vliv na spotřebu trakční energie i na poplatky za infrastrukturu [32]. U vozů pro dálkové autovlaky pak lze očekávat i zvyšování maximální povolené rychlosti.

1.6.1 Nákladní vozy Laaers

V případě autovozů Laaers se již v současnosti uplatňují způsoby, jak navýšit kapacitu vozu při přepravě vyšších automobilů, např. typu SUV, spočívající v regulaci vertikální polohy podlahy autovozů [1]. Potenciál je zde zejména ve zmenšování průměru dvojkolí a řešení s tím souvisejících problémů, např. jejich opotřebovávání [33] (řešením by mohly být nové materiály). Výrobci se zmenšováním dvojkolí již v současnosti zabývají, např. v roce 2018 byla zveřejněna patentová přihláška EP3388303A1 německého výrobce železničních vozidel ELH Waggonbau Niesky GmbH, ve které je jedno takové řešení popisováno [34].

Fig. 1



Obrázek 23: Nákladní vůz popsany v patentové přihlášce EP3388303A1 [34]

1.6.2 Nákladní vůz Hccrrs

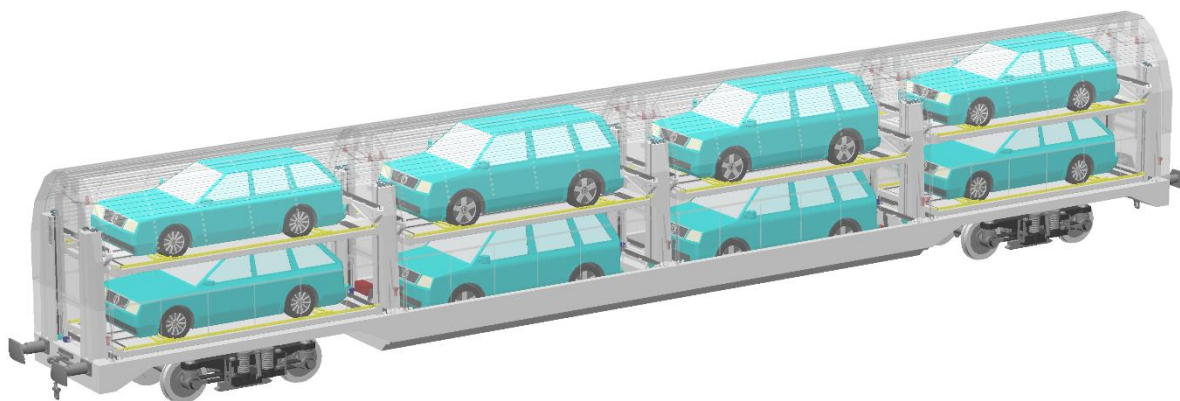
U autovozů Hccrrs se nabízí aplikace řešení již použitého u nejnovějších vozů Laaers – nastavitelná výška podlahy spodního patra [1]. Dalším možným směrem vývoje pak může rovněž být zmenšování průměrů dvojkolí, stejně jako u vozu Laaers.

1.6.3 Nákladní vůz DDm

Z důvodu pomalejšího vývoje autovozů pro dálkové autovlaky je v případě vozu DDm méně využit potenciál dostupných konstrukčních řešení uplatňovaných u vozů Laaers nebo Hccrrs. Další vývoj by tedy mohl spočívat v přenesení těchto řešení – výškově nastavitelné horní patro, výškově nastavitelné spodní patro a vývoj podvozků s menšími průměry dvojkolí. Více by se také mohlo uplatňovat zakrytování.

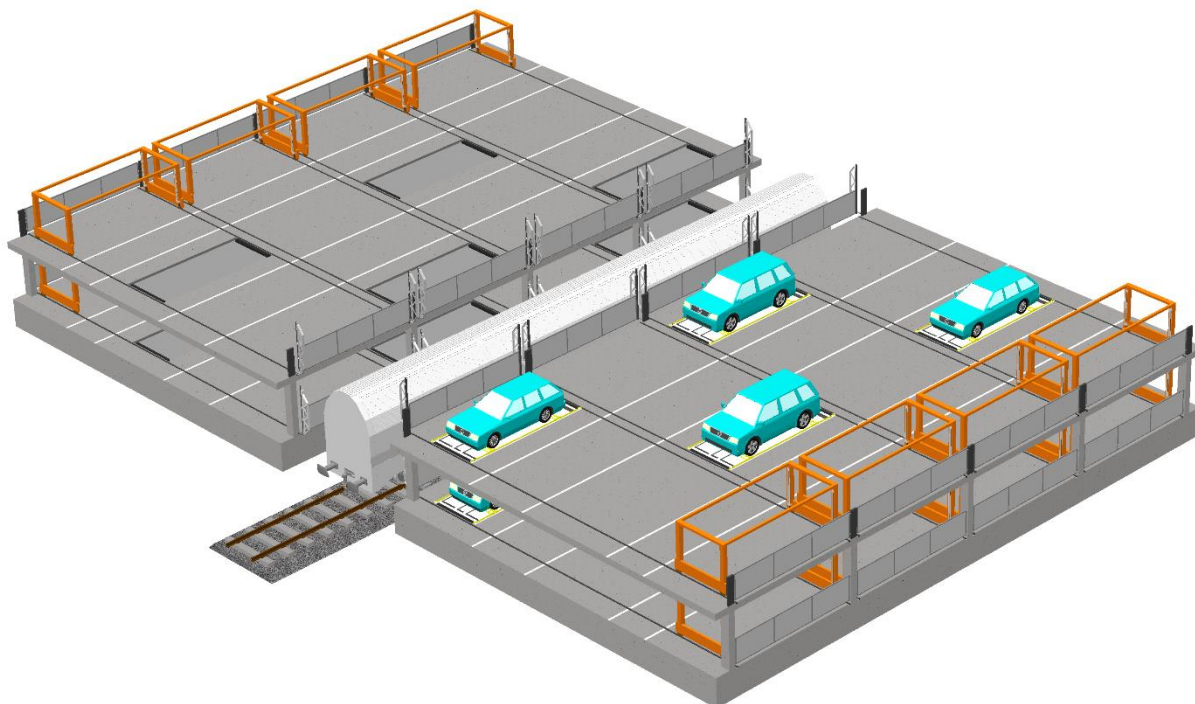
2 Koncepce navrhovaného systému

Navrhovaný systém pro přepravu automobilů v dálkových autovlacích umožňuje individuální automatizovanou boční překládku vozidel a individuální nastavení jejich vertikální polohy v autovoze, díky čemuž je možné efektivně využít rozměry autovozu.



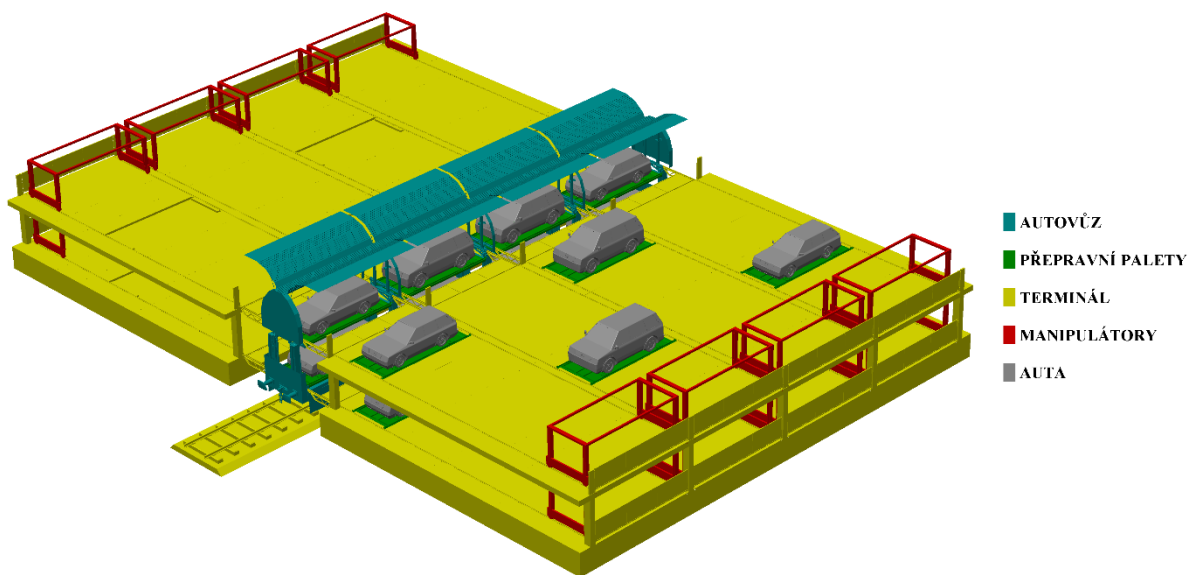
Obrázek 24: Umístění přepravovaných vozidel v autovoze

Automobily (popř. motocykly) jsou v autovoze převáženy ve dvou patrech na speciálních paletách. Horní palety jsou umístěné na zvedacích přepravních rámech, dolní palety jsou umístěné na pevných rámech v nejnižší možné poloze. Vykládka vozidel probíhá v dvoupatrových terminálech, konstrukčně podobných parkovacím domům. V nich se po kolejnicích pohybují manipulátory, které zajišťují přesun palet mezi autovozem a terminálem. Přejezd manipulátorů mezi autovozem a terminálem se realizuje pomocí kolejnič umístěných na sklopném zábradlí, které po sklopení přemostí mezeru mezi vozem a konstrukcí terminálu. Pro překládku palet s vozidly je nutné zvednout horní palety do výšky umožňující vjezd manipulátorů do obou pater autovozu. Z důvodu ochrany převážených vozidel a lepších aerodynamických vlastností je autovůz celý zakrytovaný, pro umožnění manipulace s vozidly je zakrytování řešeno jako zvedací střeška a otvírací boční stěny. Celý systém je znázorněn na obrázcích 25 a 26. Na obrázku 25 je autovůz zobrazen v přepravní poloze a zábradlí v terminálu je zvednuté. Na obrázku 26 je vůz ve vykládací poloze a zábradlí v terminálu je sklopené pro umožnění přejezdu manipulátorů.



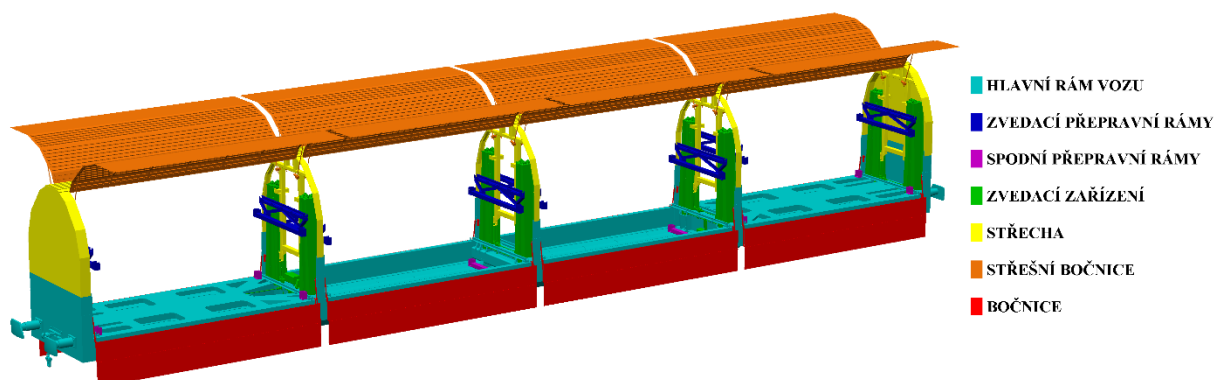
Obrázek 25: Navrhovaný systém (vůz v přepravní konfiguraci, zábradlí v terminálu zvednuté)

Celkově lze navrhovaný systém rozdělit na čtyři subsystémy, blíže popsané v následujících částech práce. Konkrétně se jedná o autovůz, přepravní palety, terminál a manipulátory. Tyto části jsou znázorněny na obrázku 26 níže, kde je vyobrazen modul terminálu pro nakládku a vykládku jednoho autovozu (v praxi se terminál může skládat z různého počtu těchto modulů).



Obrázek 26: Navrhovaný systém rozdělený na subsystémy (vůz ve vykládací konfiguraci, zábradlí v t. sklopené)

2.1 Autovůz



Obrázek 27: Autovůz rozdělený na funkční celky

Autovůz je ústředním prvkem systému. Umožňuje přepravu 8 palet s vozidly, z nichž každá má ložnou délku 5 400 mm (hodnota blíže vysvětlena v části 3). Čtyři palety mohou být umístěné mezi podvozky a čtyři nad podvozky. Maximální výška jednotlivých vozidel je 2 000 mm, celková výška dostupná pro dvě přepravovaná vozidla nad sebou je uvedena v tabulce 3 (důvod těchto hodnot je popsán v části 3). Hlavní rozměry jsou popsány v tabulce 2 níže. Hmotnosti jsou pak zobrazené v tabulce 4, přičemž jejich hodnoty byly odhadnuty na základě hodnot vypočítaných softwarem Solidworks.

Vůz je možné rozdělit na osm funkčních celků: hlavní rám vozu, zvedací přepravní rámy, spodní přepravní rámy, zvedací zařízení, střechu, střešní bočnice, bočnice a podvozek (s výjimkou podvozků zobrazeny na obrázku 27 výše), které jsou blíže popsány v následujících podkapitolách. Výkres vozu je uveden v příloze D.

Délka skříně vozu	25 700 mm
Délka vozu přes nárazníky	27 000 mm
Vzdálenost otočných čepů	19 000 mm
Šířka skříně vozu	2 700 mm
Ložná délka	8x 5 400 mm
Rozchod	1 435 mm
Typ podvozku	MD 52
Maximální rychlost	200 km/h

Tabulka 2: Základní rozměry autovoze

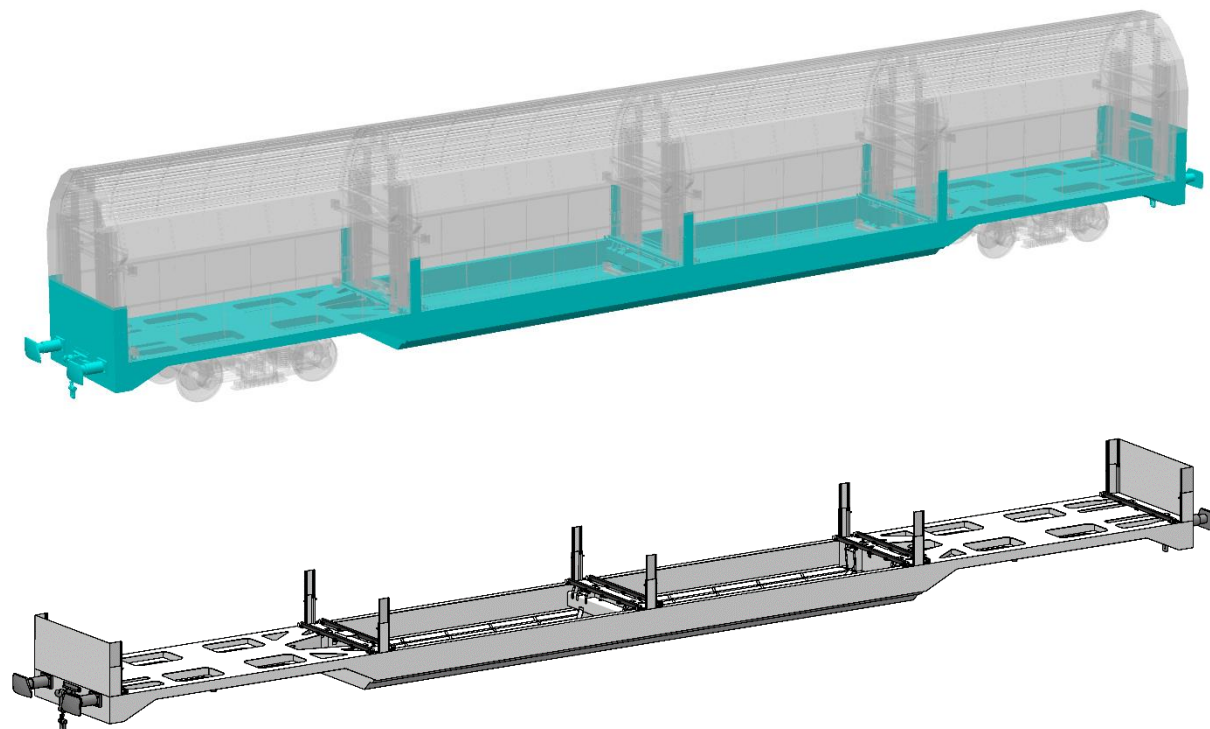
Šířka střechy horního vozidla	1 350		1 450		1 550	
Obrys	G2	G1	G2	G1	G2	G1
Výška vozu	4 630	4 230	4 630	4 230	4 630	4 230
Výška vozidel v horním patře uprostřed	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Výška vozidel v dolním patře uprostřed	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Celková dostupná výška uprostřed	3 540	3 140	3 480	3 080	3 420	3 020
Výška vozidel v horním patře nad podvozky	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Výška vozidel v dolním patře nad podvozky	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Celková dostupná výška nad podvozky	2 900	2 500	2 840	2 440	2 780	2 380

Tabulka 3: Výška přepravovaných vozidel v navrhovaném autovoze (všechny rozměry v milimetrech)

Vlastní hmotnost vozu	40 000
Hmotnost hlavního rámu vozu	10 500
Hmotnost zvedacích zařízení	5 400
Hmotnost zvedacích přepravních rámu	1 600
Hmotnost spodních přepravních rámu	400
Hmotnost střechy	2 000
Hmotnost střešních bočnic	3 200
Hmotnost bočnic	1 600
Hmotnost podvozků	14 000
Rezerva	1 300
Užitečné zatížení	24 000
Vlastní hmotnost vozu s paletama	48 000
Užitečné zatížení s paletama	16 000
Maximální hmotnost vozu	64 000

Tabulka 4: Hmotnosti navrhovaného autovoze (všechny rozměry v kilogramech)

2.1.1 Hlavní rám vozu

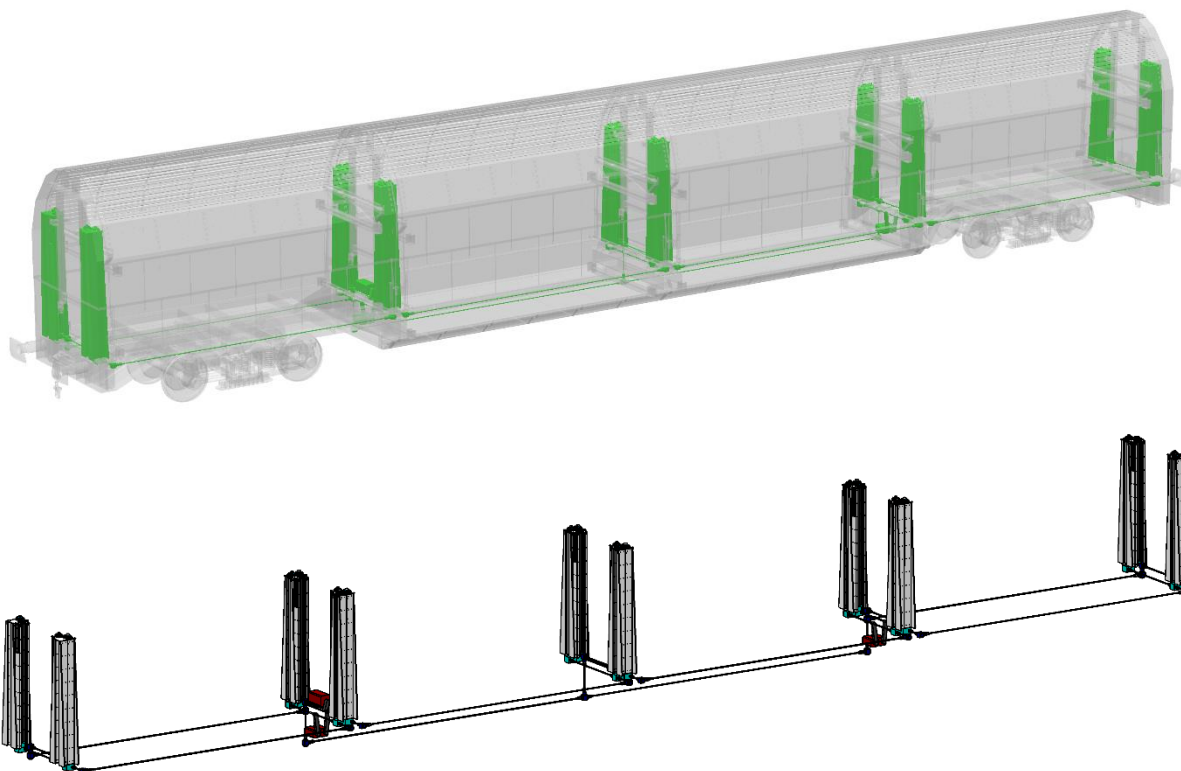


Obrázky 28 a 29: Hlavní rám autovozu

Hlavní rám vozu je konstrukčně podobný kapsovému vozu pro přepravu intermodálních návěsů. Je tvořen svařovanou konstrukcí z plechů z oceli S235JR (11 375), jejichž tloušťka byla zvolena 8 mm. Rám nebyl pevnostně posuzován, nelze proto vyloučit nutnost či možnost použití plechů jiných tlouštěk. Nad podvozky je rám tvořen skříňovým svařovaným profilem a dvěma podélníky tvaru U (svařované, 200x250 mm), které se v mezipodvozkové části spojují ve dva vyšší podélníky tvaru U (svařované, 550x150 mm). Nad podvozky je součástí rámu více příčných spojení, uprostřed vozu jsou pak dva podélníky spojené obdélníkovým profilem ČSN EN 10219 - 450x300x12,5. Důvodem použití tohoto profilu je absorbování účinků krutu od sloupů zvedacích zařízení. Tento profil nebyl pevnostně posuzován. U ostatních sloupů zvedacích zařízení jsou účinky krutu absorbovány pomocí přidavných podélných svařovaných profilů tvaru I. Dále jsou součástí hlavního rámu v mezipodvozkové části ve spodku vozu dva svařované podélníky tvaru I (187x140 mm), jejichž účelem je rovněž absorbování účinků krutu a také nesení spodních přepravních rámu.

Na rámu jsou dále umístěny kolejnice S14 pro manipulátory vykládající palety ze spodního patra, krycí plechy tloušťky 2 mm a na čelech nárazecí a spřahovací ústrojí. Celková hmotnost včetně těchto částí byla odhadnuta na 10 500 kg.

2.1.2 Zvedací zařízení

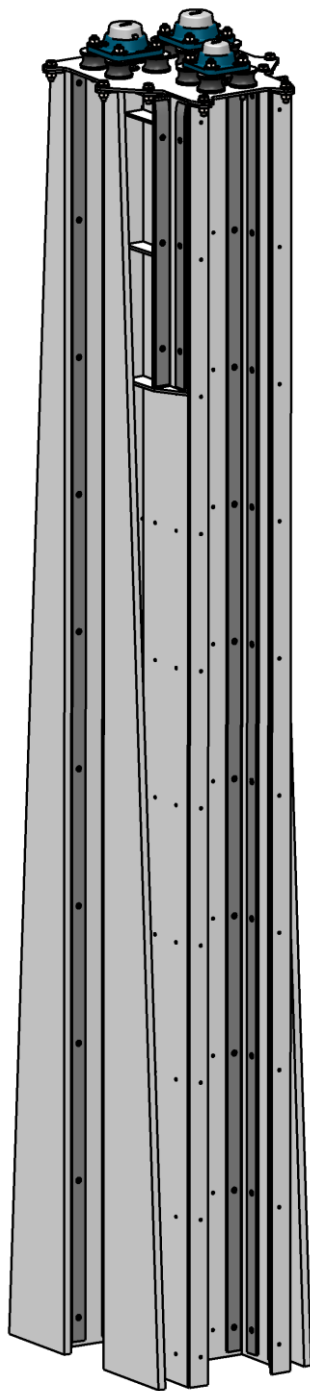


Obrázky 30 a 31: Zvedací zařízení

Zvedací zařízení slouží k vertikální manipulaci se střechou a s paletami ve druhém patře. Skládá se ze sloupů zvedacích zařízení a vlastních pohonů jednotlivých palet a střechy.

Sloupy zvedacích zařízení zajišťují podélné a příčné vedení jezdců s maticí a rolnami, kteří jsou součástí zvedacích přepravních rámců a střechy. Každý sloup zajišťuje vedení 3 jezdců – dvou jezdců zvedacích přepravních rámců a jednoho jezce střechy (s výjimkou sloupů na čelech, kde je o jednoho jezce méně). Základní konstrukce každého sloupu je tvořena svařovanými plechy z oceli S235JR tloušťky 5 a 15 mm. V nich jsou vyvrtané díry se závity, do kterých jsou zašroubovány šrouby připevňující k základní konstrukci kontaktní plechy, po kterých se odvalují rolny jezdců. Na horním konci sloupu jsou přivařena oka pro šrouby, které zajišťují pevné spojení hlavní konstrukce a horního plechu. K tomuto plechu jsou přišroubované silentbloky, ke kterým jsou z druhé strany přišroubovány ložiskové jednotky, které stabilizují horní konce pohybových šroubů. Pomocí silentbloků je zajištěno pružné uložení ložisek, což by mělo zabránit nežádoucímu ohybovému namáhání pohybových šroubů při provozních deformacích sloupů. V horní části sloupu je zkonstruováno ještě jedno vnější vedení, které slouží k přenosu podélných sil od střechy vozu, neboť jezdcí střechy jsou během přepravy ve voze v nízké poloze a bez dalšího vedení by na ně tedy působil značný ohybový moment.

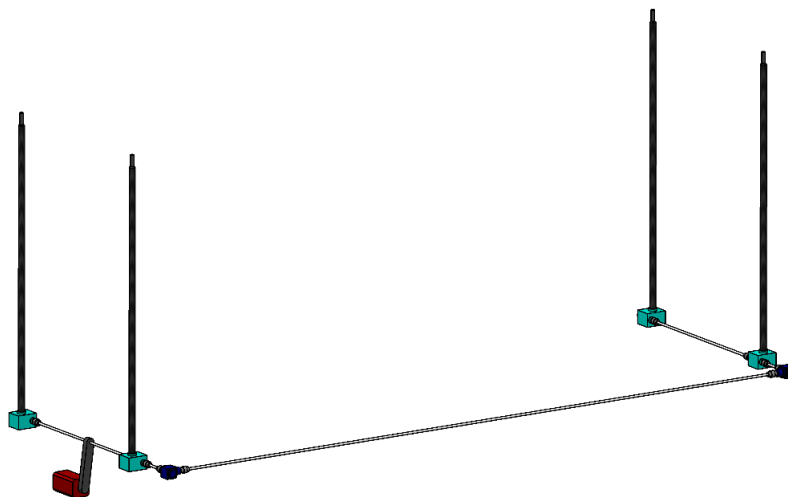
Hmotnost jednoho sloupu je přibližně 340 kg. Ve voze je těchto sloupů 10, jejich celková hmotnost je tedy 3 400 kg. Výkres sloupu je přiložen jako příloha E.



Obrázek 32: Sloup zvedacích zařízení

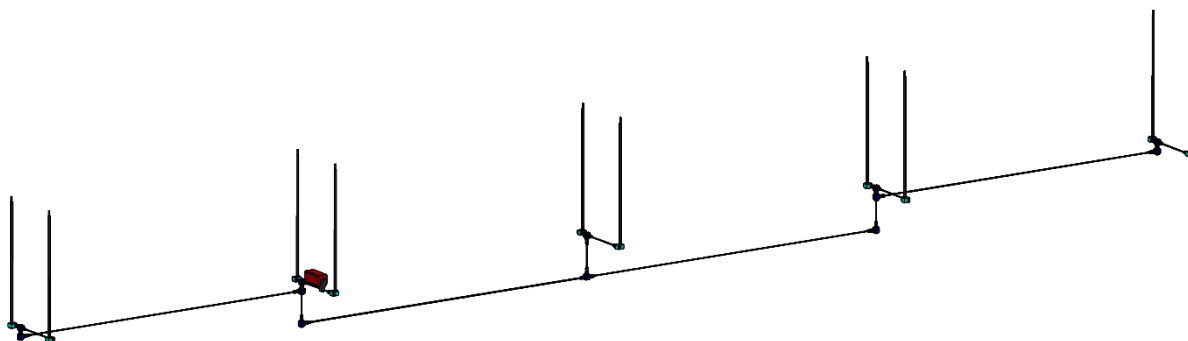
Vlastní vertikální manipulace s paletami (přesněji se zvedacími přepravními rámy) probíhá pomocí pohonů palet. Každá paleta je nesena čtyřmi pohybovými šrouby typu Tr 50x8, které jsou součástí zdvižných převodovek TSE 50 [92]. Tyto převodovky jsou vzájemně propojené pomocí kuželových převodovek, hřídelových spojek a hřídelí. K této soustavě je pak připojen

servomotor, přičemž na vstupu do hřídelové soustavy by měl být pro rychlost zdvihu $1\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ k dispozici výkon 3 kW při 875 min^{-1} a moment $33\text{ N}\cdot\text{m}$ (tyto hodnoty musí být tedy na výstupu převodového mechanismu, kterým bude motor k soustavě připojen). Těmto parametrům by v závislosti na způsobu připojení mohl vyhovovat např. motor BECKHOFF AM8064 ($3,45\text{ kW}$, $1\,000\text{ min}^{-1}$, $33\text{ N}\cdot\text{m}$) [93]. Stanovení těchto hodnot je popsáno v části 3. Hmotnost jedné takovéto soustavy byla odhadnuta na 350 kg , celkově tedy při čtyřech soustavách váží pohony palet $1\,400\text{ kg}$.



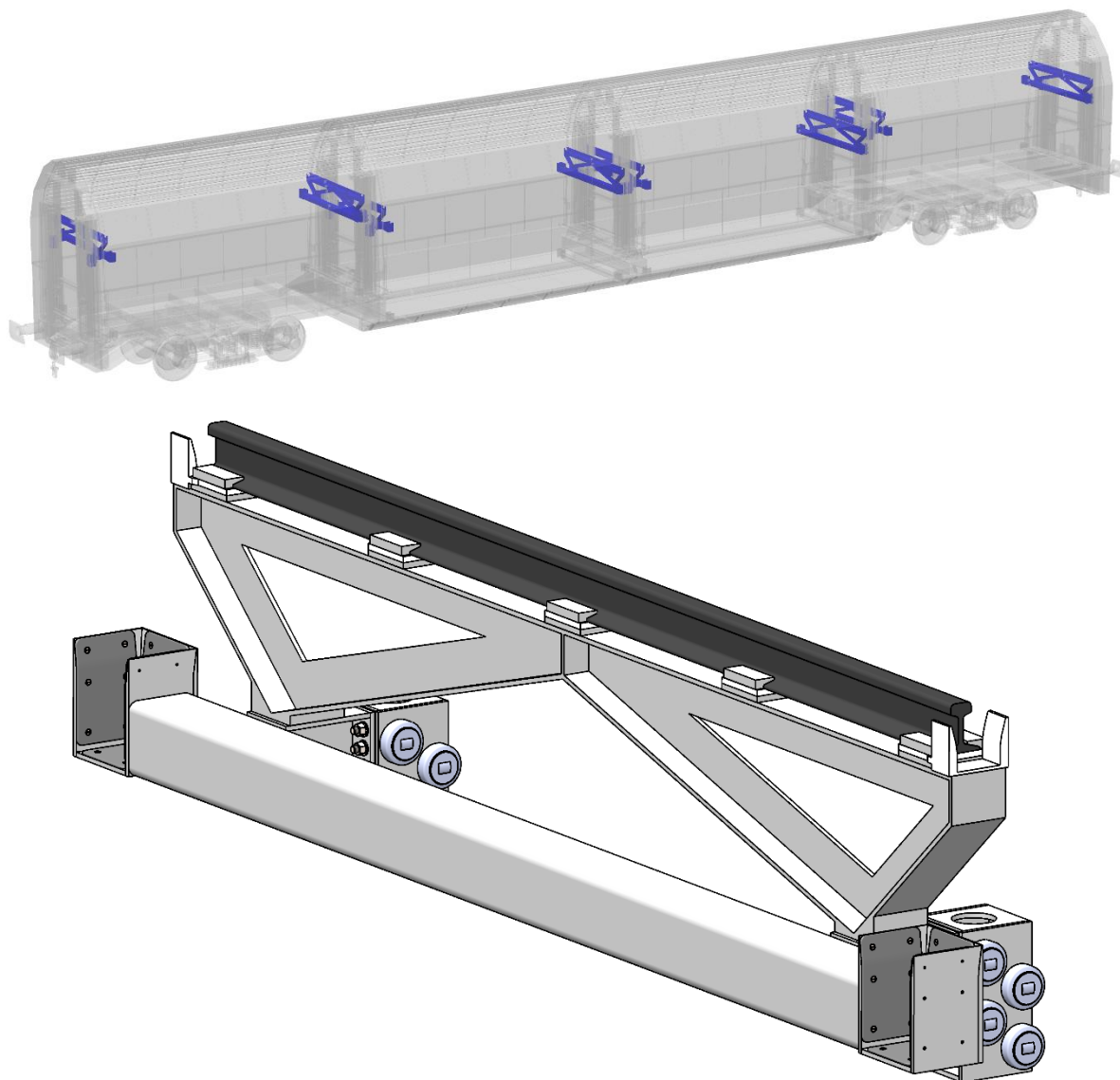
Obrázek 33: Pohon zvedacích zařízení palety

Manipulace se střechou probíhá podobně jako u palet pomocí pohybových šroubů, jež jsou součástí zdvižných převodovek. Zdvižných převodovek je použito 10, přičemž se jedná o model TSE 25 s pohybovým šroubem $\text{Tr } 40\times 7$. Tyto převodovky jsou propojené pomocí hřídelí, spojek a 12 kuželových převodovek. Na vstupu této soustavy je potřeba pro rychlost zdvihu $1\,000\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ k dispozici výkon $7,4\text{ kW}$ při $1\,000\text{ min}^{-1}$ a moment $71\text{ N}\cdot\text{m}$. Těmto hodnotám by mohl vyhovovat (v závislosti na způsobu připojení k soustavě) servomotor BECKHOFF AM8073 ($8,8\text{ kW}$, $1\,000\text{ min}^{-1}$, $83,7\text{ N}\cdot\text{m}$) [94]. Tyto hodnoty jsou blíže vysvětleny v části 3. Hmotnost soustavy byla odhadnuta na 600 kg .



Obrázek 34: Pohon zvedacích zařízení střechy

2.1.4 Zvedací přepravní rámy

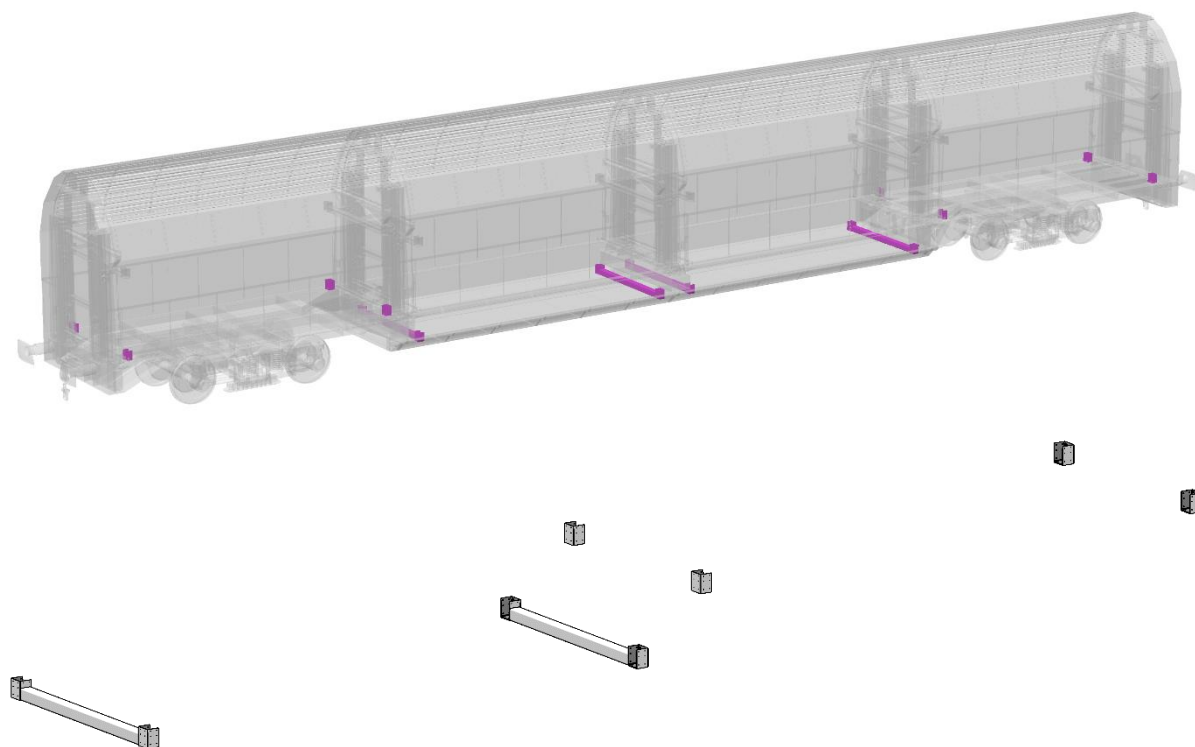


Obrázky 35 a 36: Zvedací přepravní rámy

Zvedací přepravní rámy slouží k uchycení palet v horním patře k pohybovým šroubům. Skládají se ze dvou jezdců, v nichž se v každém nachází přírubová matice FM [92], svařovaných plechů tloušťky 8 mm z oceli S235JR a 8 kombinovaných rolen HEC 4.055 [95]. K oběma jezdcům je přišroubován svařovaný I profil, ke kterému je přivařen čtvercový profil ČSN EN 10219 - 120x120x8. K tomuto profilu jsou na obou koncích přivařeny úchyty, ve kterých jsou při přepravě uloženy výstupky palet. Tyto úchyty jsou svařované z plechů tloušťky 8 mm. V horní části jsou plechy úchyťů zešikmené za účelem navedení palety do správné pozice. Z vnitřní strany jsou k úchyťům přišroubovány kontaktní plechy tloušťky 4 mm, kterých se při přepravě dotýkají kontaktní plechy na paletě. Celkově je paleta uložena s podélnou vůlí 9 mm a příčnou vůlí 4 mm. Ke zmíněným svařovaným I profilům je dále shora

přivařena konstrukce nesoucí kolejnici typu S14 pro manipulátor vykládající nesenou paletu. Kolejnice je umístěna na vyvýšené konstrukci, aby se omezila výška sloupů zvedacích zařízení. Pro provoz systému je nutné, aby pod horní paletu mohl vjet manipulátor vykládající spodní paletu, není však již nutné zvedat horní paletu až do výše druhého podlaží terminálu, protože paletu z přepravního rámu vyzvedne při vykládce manipulátor. Hmotnost jednoho zvedacího přepravního rámu byla odhadnuta pomocí softwaru Solidworks na 200 kg. Ve voze je celkem 8 zvedacích přepravních rámu, jejich celková hmotnost je tedy 1 600 kg.

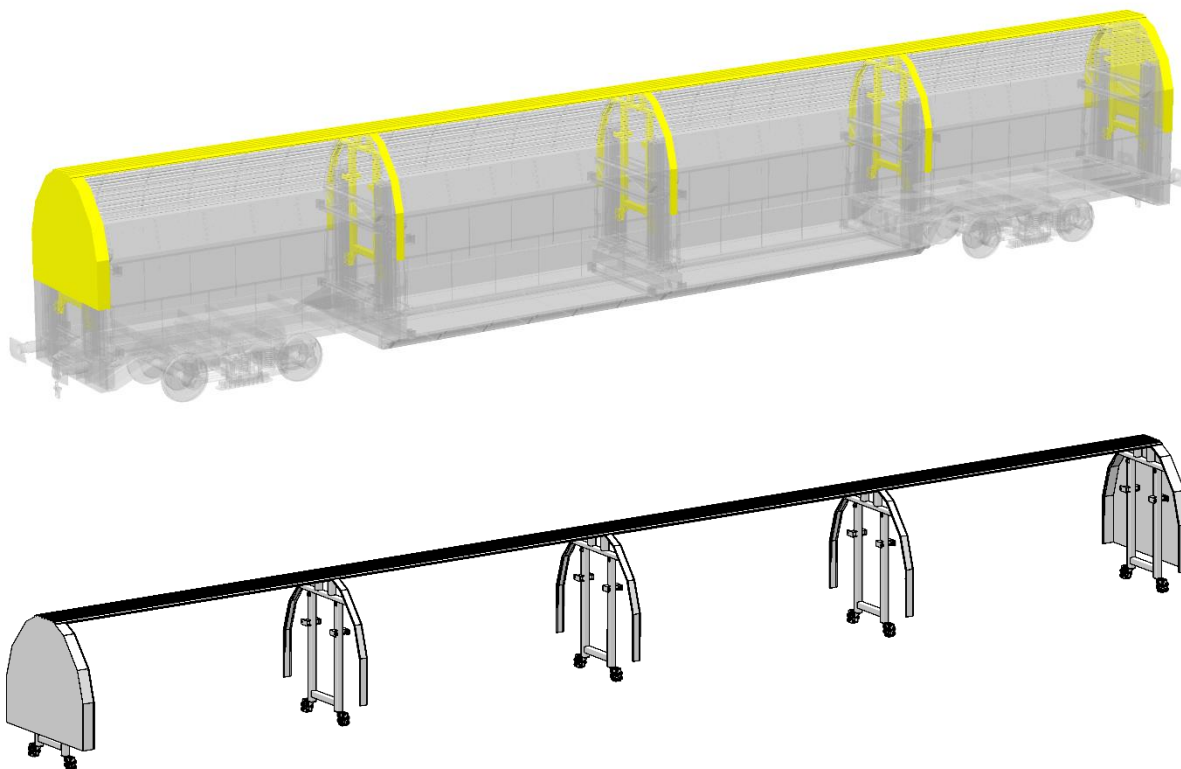
2.1.5 Spodní přepravní rámy



Obrázky 37 a 38: Spodní přepravní rámy

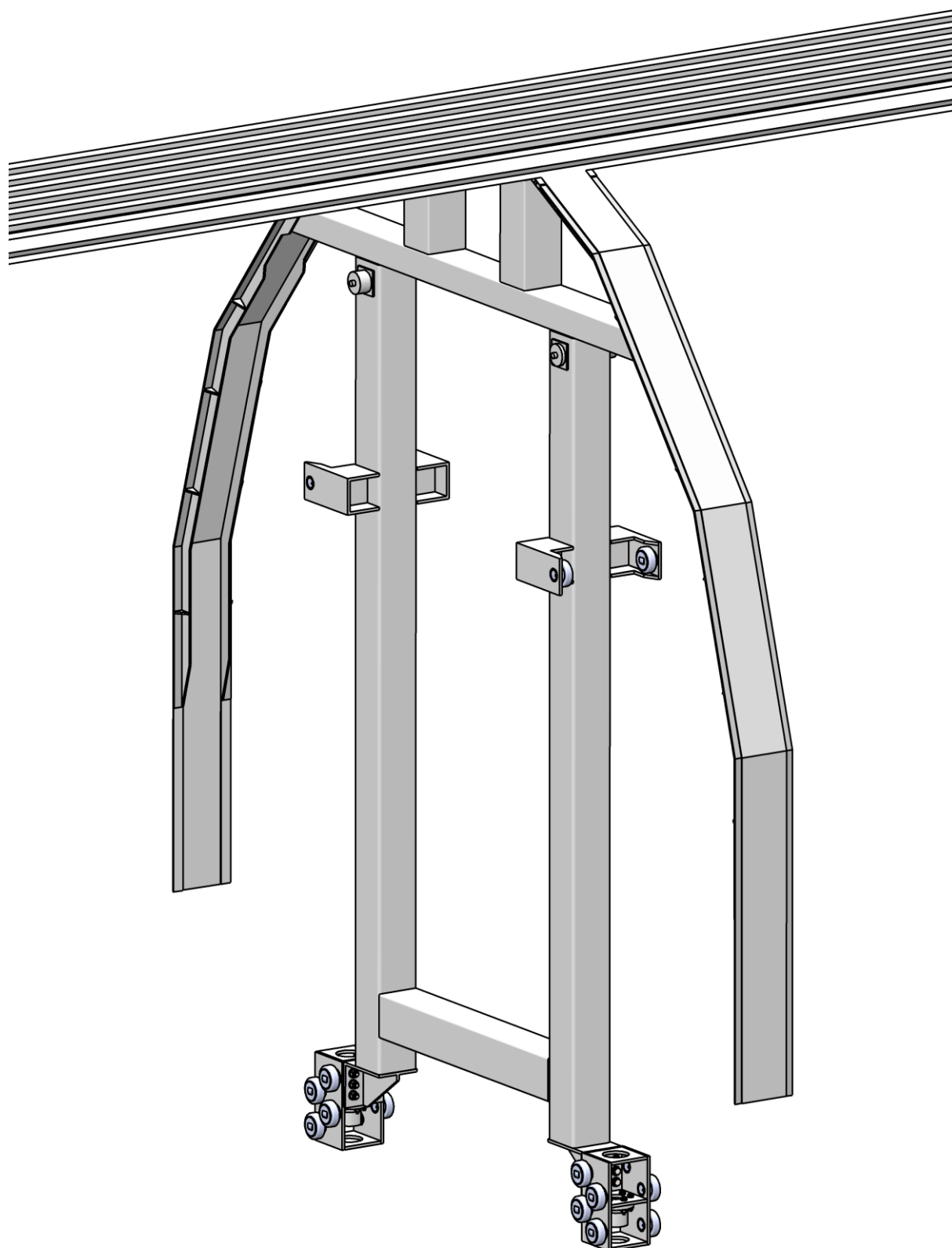
Spodní přepravní rámy jsou nad podvozky a uprostřed vozu odlišné. Nad podvozky jsou tvořeny pouze úchyty s kontaktními plechy, které jsou připevněné k hlavnímu rámu vozu. Uprostřed vozu jsou úchyty spojené čtvercovým profilem ČSN EN 10219 - 120x120x8, který je přivařen ke svařovaným podélníkům tvaru I, nacházejícím se ve spodní části vozu (blíže popsány v části 2.2.1). Konstrukce úchytů je stejná na spodních i zvedacích přepravních rámech, liší se pouze ve způsobu připevnění k nosné konstrukci. Materiál spodních rámu je ocel S235JR. Celková hmotnost spodních přepravních rámu pro všechny čtyři palety ve spodním patře byla odhadnuta na 400 kg.

2.1.6 Střecha



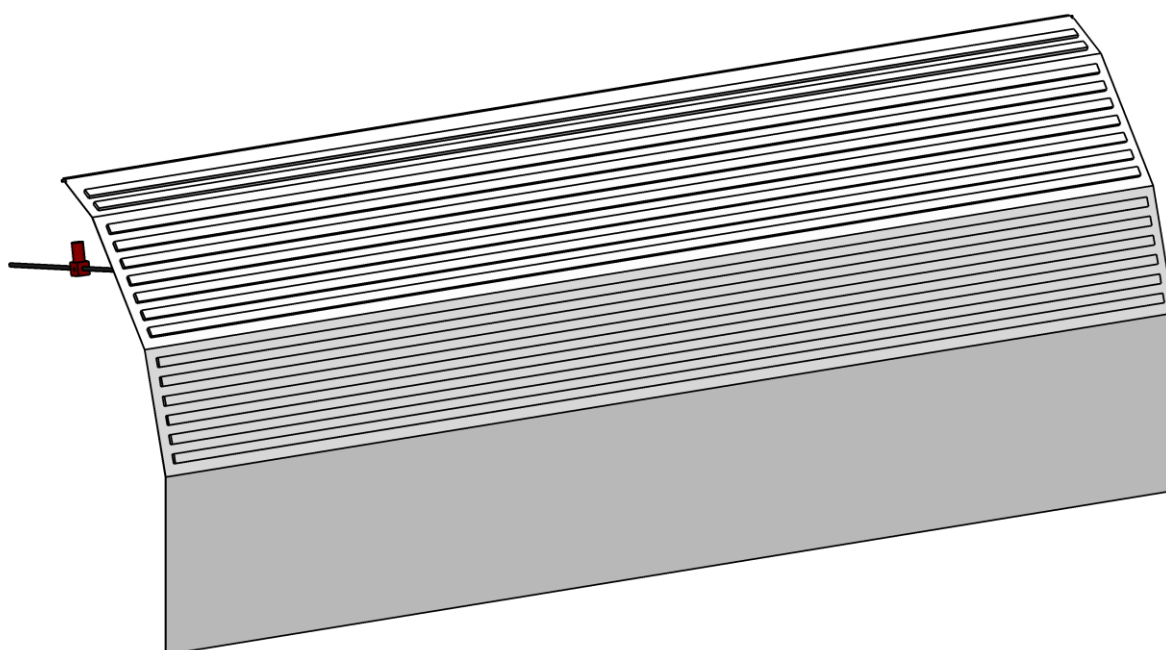
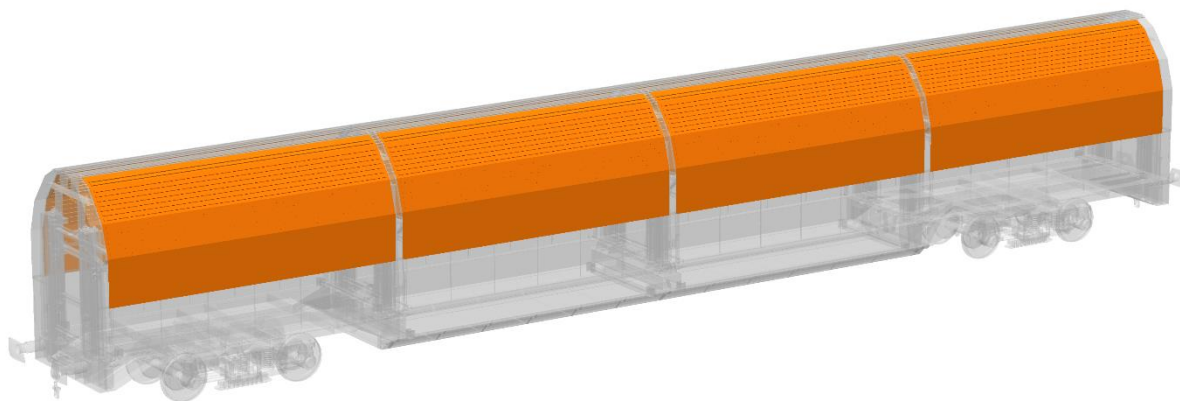
Obrázky 39 a 40: Střecha

Střecha autovozu je zvedací kvůli umožnění přístupu k přepravovaným paletám při vykládce a z důvodu možnosti efektivního provozu na infrastrukturách s různými průjezdnými průřezy. Konstrukce střechy je tvořena dvěma podélně orientovanými obdélníkovými profily ČSN EN 10219 - 120x80x3. K nim jsou přivařené čtvercové svislé profily ČSN EN 10219 - 120x3, ke kterým jsou přivařené příčné profily ČSN EN 10219 - 120x80x3 (tato nosná část střechy je znázorněna na obrázku 41). K nim jsou přivařené opět svislé profily ČSN EN 10219 - 120x3. K těmto svislým profilům jsou přivařené patky, přišroubované k jezdcům s rolnami. Dále jsou k nim přivařené také držáky horních roln. Tyto rolny slouží k omezení ohybového momentu působícího na jezdcé během přepravy. Na střeše jsou použity stejné rolny jako na zvedacích přepravních rámech – HEC 4.055 [95]. Ke střeše jsou připevněny střešní bočnice a jejich pohony. Mezi střešními bočnicemi je střecha kryta bočními krycími plechy tloušťky 2 mm, stejný typ lechu je použit i na čelech vozu. Větší plochy jsou kryty trapézovým plechem tloušťky 2 mm a výšky 20 mm.



Obrázek 41: Nosná část střechy

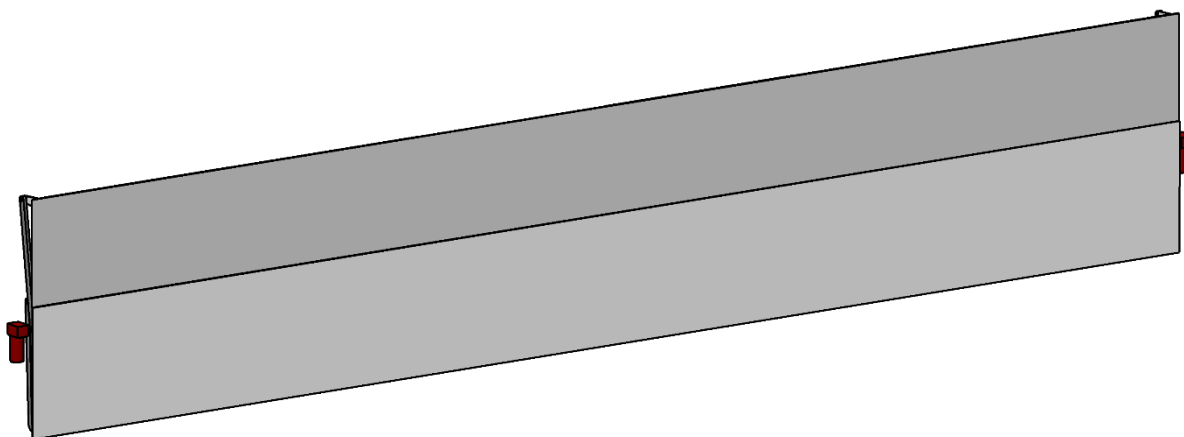
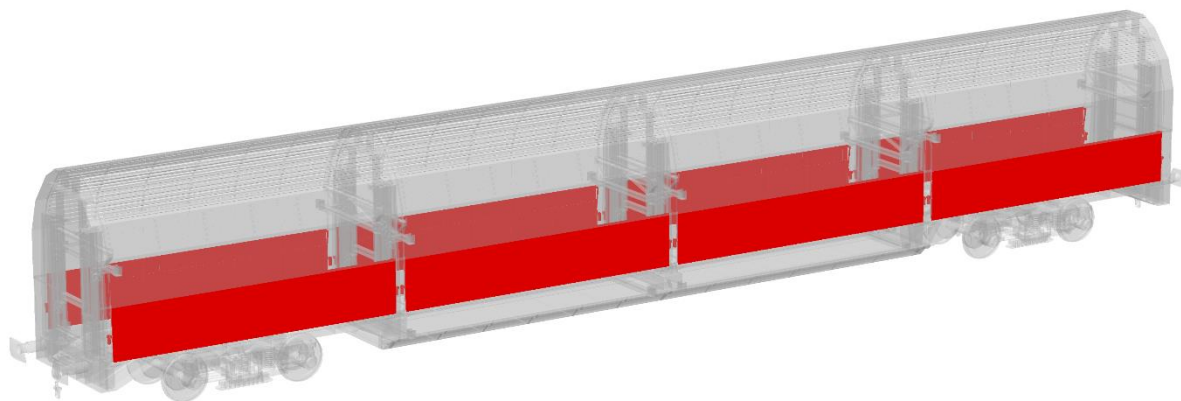
2.1.7 Střešní bočnice



Obrázky 42 a 43: Střešní bočnice

Pro přístup k paletám s vozidly je nutné vůz otevřít. Protože výška otvíraného prostoru je značná, byly boční stěny rozděleny na bočnice a střešní bočnice. Střešní bočnice jsou upevněné ke střeše, stejně jako mechanismy, které střešní bočnice otvírají. Tyto mechanismy jsou řešené jako zdvižné převodovky s průběžným pohybovým šroubem. Konstrukčně jsou řešené jako rám z plechů tloušťky 5 mm pokrytý trapézovým plechem tloušťky 2 mm a výšky 20 mm. Hmotnost jedné střešní bočnice s pohonem byla odhadnuta na 400 kg, všech osm střešních bočnic tedy váží 3 200 kg.

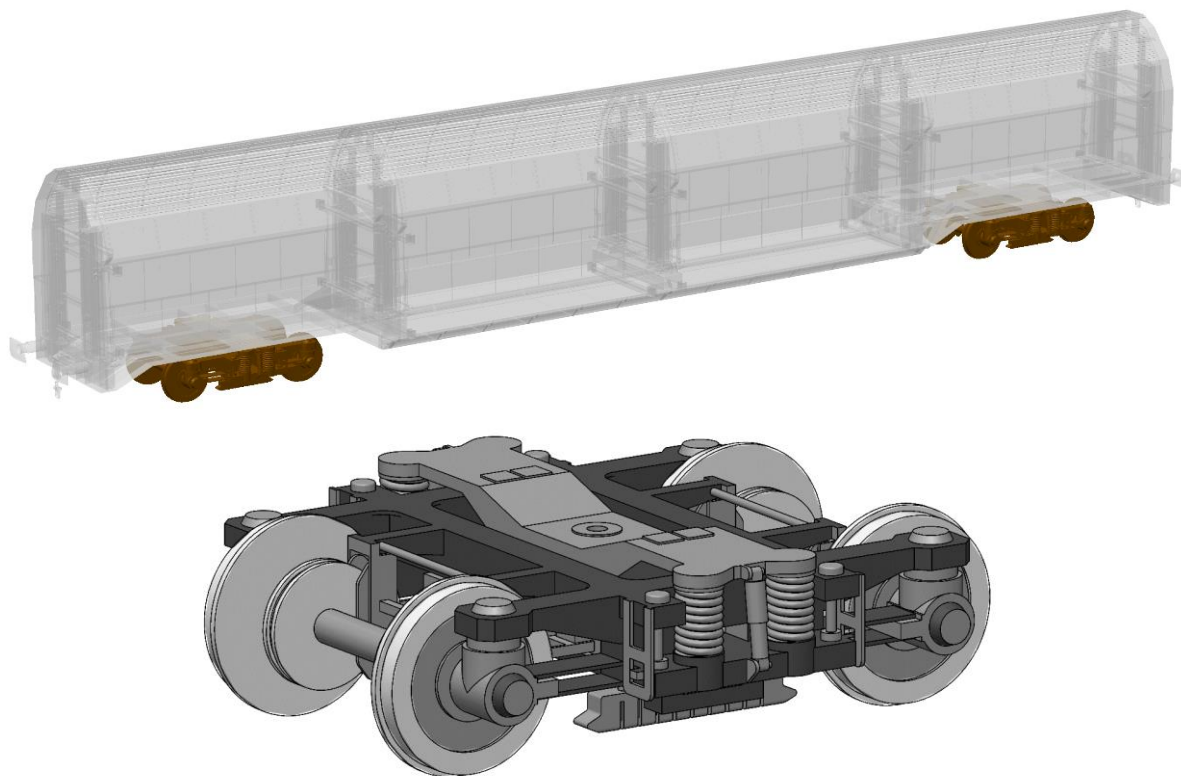
2.1.8 Bočnice



Obrázky 44 a 45: Bočnice

Otvírací bočnice tvoří spodní část otvíracích stěn vozu. K hlavnímu rámu vozu jsou připevněny pomocí čtyř ramen, po dvou na každé straně. Díky nim při otvírání zůstávají ve svislé poloze. Každá bočnice je otvírána pomocí dvou servomotorů. Konstrukčně jsou řešeny jako rám z plechů z oceli S235JR tloušťky 5 mm překrytý plechem tloušťky 2 mm. V horní části bočnice je plech „zasunut“ směrem dovnitř vozu, protože tato část bočnice je překrývána střešní bočnicí (míra překrytí závisí na poloze střechy). Hmotnost jedné bočnice s pohony byla odhadnuta na 200 kg, všech osm bočnic tedy váží 1 600 kg.

2.1.9 Podvozek



Obrázky 46 a 47: Podvozek

Pro autovůz byl zvolen podvozek typu Minden Deutz MD 52. Jedná o podvozek běžně používaný v osobní železniční dopravě, jehož konstrukční rychlost se v závislosti na verzi pohybuje mezi 160 a 280 km/h [56]. Je vybaven kotoučovými brzdami s různým počtem disků, většina verzí je vybavena i magnetickými kolejnicovými brzdami. Pro autovůz byla vybrána varianta pro rychlost 200 km/h, což je zahraniční rychlostní standard v konvenční dálkové železniční dopravě. Hmotnost byla stanovena na 7 000 kg, protože v materiálech výrobce [56] je uveden interval, přičemž lze předpokládat, že tato varianta nebude nejlehčí (magnetické kolejnicové brzdy), ani nejtěžší (verze pro vyšší rychlosti budou pravděpodobně těžší o další brzdové kotouče).

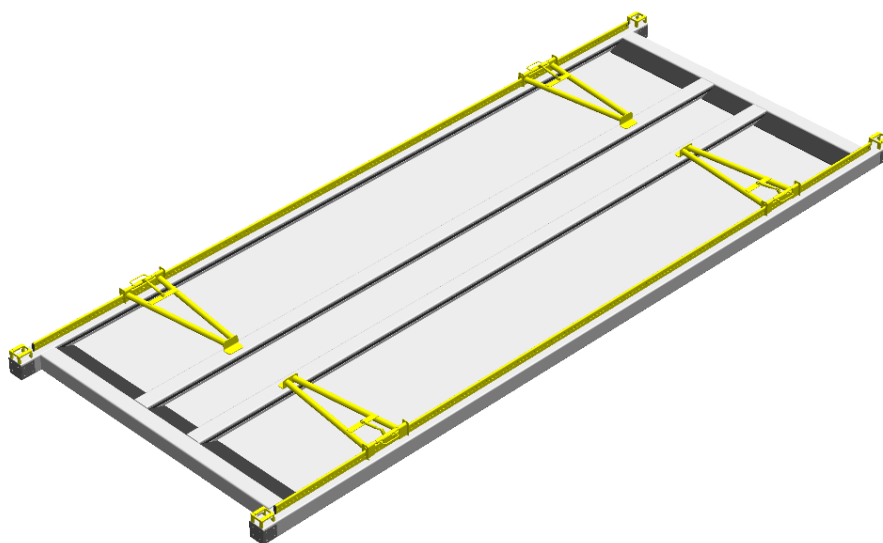
Rozchod	1 435 mm
Průměr dvojkolí	920 mm
Rozvor	2 500 mm
Maximální rychlost	200 km/h
Hmotnost	7 000 kg
Maximální hmotnost na nápravu	16 000 kg

Tabulka 5: Technické údaje podvozku [56]

2.2 Paleta

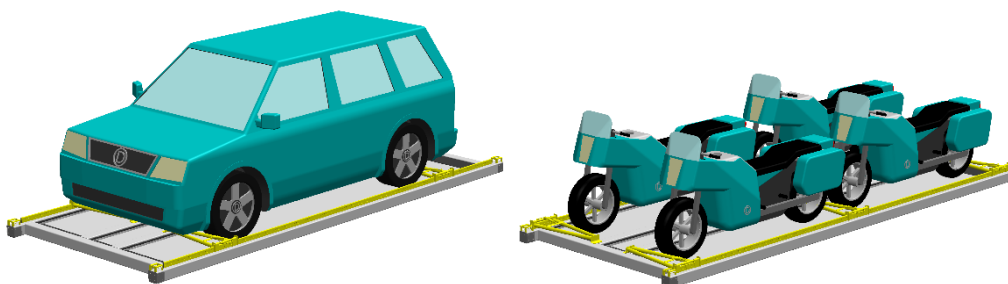
V navrhovaném systému jsou vozidla přepravována na paletách. Podobné palety se používají v některých automatických parkovacích domech. Tento způsob přepravy přináší následující výhody:

- oddělení zajištění a nakládky vozidel
- komfortnější zajišťování vozidel (méně stísněný prostor)
- možnost bočních přesunů vozidel



Obrázek 48: Paleta

Využitelná délka palety je 5 400 mm, celková délka včetně nosných výstupků je 5 700 mm. Vnitřní šířka je 2 090 mm, vnitřní světlá šířka je 610 mm (oba rozměry zohledňují ochranné pryžové lišty). Zvolení těchto hodnot je blíže popsáno v části 3. Tyto rozměry umožňují přepravu jednoho běžného osobního automobilu, v případě kratších vozidel včetně např. nosiče jízdních kol na tažné zařízení, nebo dvou čtyřkolek či podobných vozidel, nebo čtyř motocyklů.

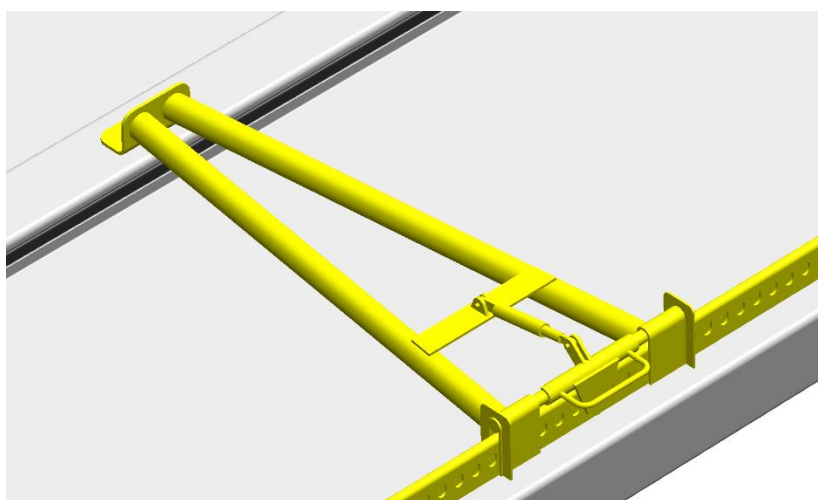


Obrázky 49 a 50: Přeprava automobilu a motocyklů na paletě

Hlavní konstrukce palety je tvořena svařovaným rámem z profilů ČSN EN 10219 – 120x5 z oceli S235JR, které tvoří dva hlavní podélníky, ke kterým jsou přivařeny dva příčné, ke kterým jsou přivařeny dva středové podélníky. Mezi těmito profily jsou pojížděné plochy, které jsou tvořeny trapézovým plechem tloušťky 2 mm (v případě středového 1 mm) a výšky 40 mm a krycím plechem tloušťky 2 mm (v případě středového 1 mm). Plechy jsou taktéž z oceli S235JR. Na hlavních podélnících jsou přivařeny vodící lišty, které slouží k uchycení kolových zarážek. Na koncích hlavních podélníků jsou pak přivařeny úchyt pro manipulátory, ke kterým jsou přišroubované kontaktní vložky z polyethylenu. Ty kromě omezení opotřebení také tlumí rázy a hluk při manipulaci. Dále jsou na výstupcích přišroubované kontaktní plechy tloušťky 4 mm, které zabraňují opotřebení hlavní konstrukce palety. Pro snadnější nájezd vozidel je paleta opatřena pryžovými nájezdy a pro zabránění poškození disků kol ochrannými pryžovými lištami. Hmotnost palety je přibližně 900 kg, ve výpočtu hmotností vozu bylo počítáno s hmotností 1 000 kg, protože k hmotnosti palety je potřeba přičíst ještě hmotnost zarážek (přibližně 10 kg jedna) a určitou rezervu. Výkres palety je přiložen jako příloha F.

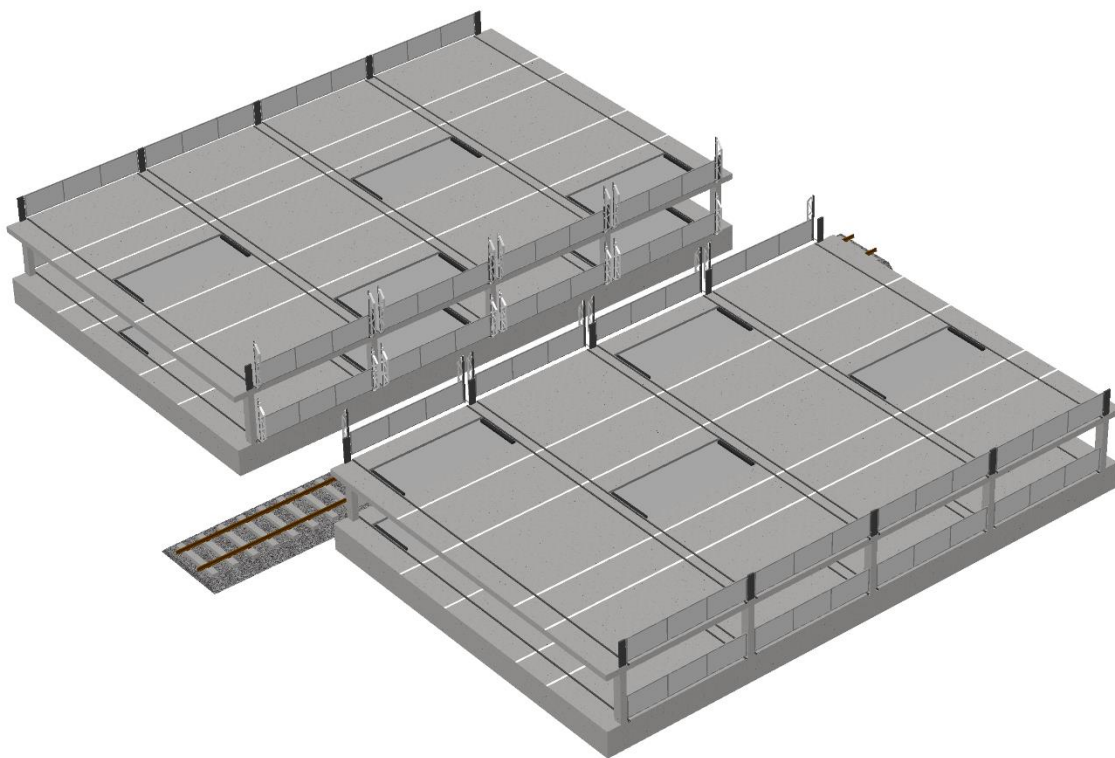
2.2.1 Zajištění vozidel na paletě

K zajištění vozidel se používají symetrické kolové zarážky, jejichž horní kontaktní hrana je ve výšce 118 mm nad pojížděnou plochou. Aretace zarážek je realizována pomocí čepu zasunutého do otvoru ve vodící liště. Čep je udržován v zajištěné poloze pomocí pružiny. V případě přepravy nižších vozidel se počítá s použitím vaků jako byly popsány v části 1.5.2. Při přepravě motocyklů je počítáno s dodatečným zajištěním pomocí popruhů. Předpokládá se umístění zajišťovacích prostředků ve vyšších počtech v terminálech (nevyužité zarážky tedy nejsou běžně přepravovány), aby nebyla zbytečně zvyšována hmotnost autovozu.



Obrázek 51: Zarážka na paletě

2.3 Terminál



Obrázek 52: Terminál

Terminál je tvořen dvěma dvoupatrovými konstrukcemi, podobnými parkovacím domům, které stojí naproti sobě kolem železniční koleje. V každé z těchto konstrukcí se v každém patře nachází obslužná komunikace pro auta, kolem které jsou střídavě rozmístěná místa pro palety. Střídavé uspořádání umožňuje relativně komfortní najíždění a sjíždění z palet. Souběžně s komunikací pro vozidla vede na straně dále od koleje pruh pro chodce, za kterým se nachází prostor pro manipulátory. Manipulátory zajišťují přesun palet mezi autovozem a terminálem. Pohybují se po kolejnicích, přičemž mezeru mezi autovozem a terminálem překonávají pomocí kolejnic umístěných na sklopném zábradlí terminálu. Na obrázku 52 je znázorněn jeden modul terminálu pro vykládku jednoho vozu, reálný terminál se může skládat z několika těchto modulů pro souběžnou vykládku většího počtu autovozů.

2.4 Manipulátor



Obrázek 53: Manipulátor

Manipulátor slouží k převozu palet s automobily mezi autovozem a terminálem. Tvarem i způsobem pohybu (po kolejnicích) připomíná portálový jeřáb, od něj se odlišuje způsobem manipulace s přepravovaným objektem.

Konstrukce manipulátoru je tvořena dvěma pojezdovými částmi, na kterých jsou na každé dva svislé nosníky, které jsou na horních koncích propojené. Na svislých nosnících se nachází zvedací zařízení. Ta jsou řešena jako elementy pohybující se po vertikálních pohybových šroubech. Na spodním konci každého elementu se nachází otočný „twist-lock“, kterým se zachytává paleta za úchyt. Jeho principem je zasunutí dílu tvaru obráceného písmene T otvorem do úchyty a jeho následné otočení o 90°, což umožní zachycení palety. Pohon manipulátoru se předpokládá elektrický, s přívodem elektrického proud kabelem odvíjejícím se z bubnu na manipulátoru (není zobrazen na obrázku 53).

3 Základní rozměry

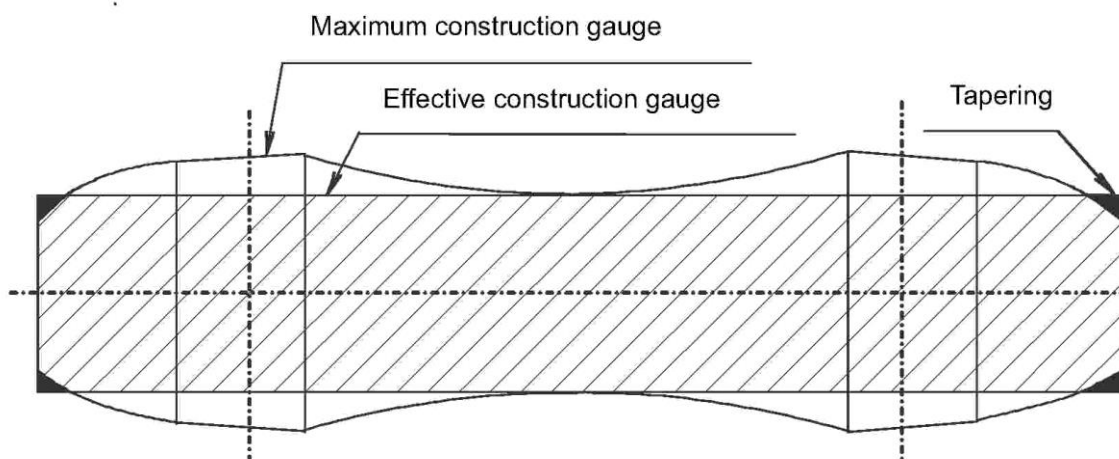
V této části práce jsou vysvětlené a vypočtené rozměry vozu, z nichž některé již byly uvedeny v předchozích částech práce.

3.1 Konstrukční omezení

Konstrukční omezení můžeme rozdělit na omezení týkající se autovozu, omezení týkající se terminálu a omezení týkající se manipulátoru.

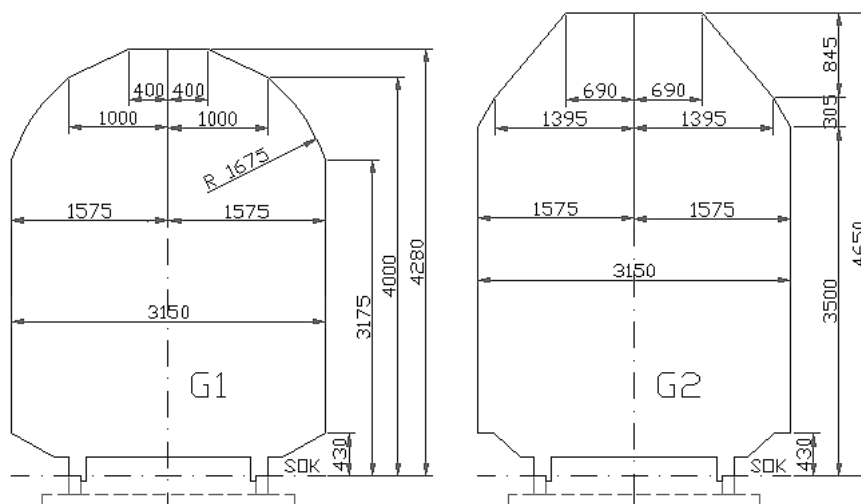
3.1.1 Konstrukční omezení autovozu

Příčné rozměry železničních vozidel jsou definované konstrukčním obrysem, který se stanovuje výpočtem z referenčního konstrukčního obrysu podle normy ČSN 28 0312. Do tohoto výpočtu vstupuje řada parametrů, přičemž největší vliv mají vzdálenost otočných čepů podvozků a rozvor podvozků. Dalšími parametry vstupujícími do výpočtu jsou například minimální poloměry směrových a výškových oblouků, vůle ve vypružení, nepřesnosti výroby a opotřebení (např. zmenšování průměrů kol z důvodu jejich obrušování o kolejnice). Konstrukční obrys nepřímě omezuje i délku železničních vozidel, protože čím je vůz delší, tím musí být užší. V praxi proto délka vozů běžně nepřesahuje 27 m a vzdálenost otočných čepů 20 m. Existuje více možností výpočtu konstrukčního obrysu, nejpoužívanější je v současnosti tzv. kinematický obrys [55]. Další možností výpočtu je například obrys statický. [54]



Obrázek 54: Maximální konstrukční obrys (pohled shora) a jeho běžně využívaná část (vyšrafovaná) [60]

Rozměry referenčního konstrukčního obrysu se odvíjí od průjezdného průřezu platného na dané železniční infrastruktuře. Základní mezinárodní průjezdný průřez má označení G1, ve spouště zemí však platí velkorysejší průjezdné průřezy, např. ve střední Evropě je rozšířený typ G2. Nové tratě se v současnosti běžně staví na ještě větší průřez GC [57].



Obrázek 55: Referenční konstrukční obrysy G1 a G2 (statické) [61]

Další konstrukční omezení představuje hmotnost. Běžné podvozky pro osobní vozy s konstrukční rychlostí 200 km/h (např. Siemens SF 300 [55] nebo Bombardier FLEXX Fit [56]) mají maximální zatížitelnost jedné nápravy kolem 16 t. Celý autovůz včetně převážených vozidel by tedy neměl vážit více než 64 t.

V předchozích částech práce zmíněným omezením jsou pak i bezpečnostní odstupy definované Nakládací směrnici UIC. Ta předepisuje vertikální odstup mezi automobily a jinými objekty (střecha, palety ve vyšší patře) 80 mm. Dále pak zmiňuje horizontální odstup v podélném směru mezi pevnými částmi vozu a přepravovanými vozidly 100 mm. [28]

3.1.2 Konstrukční omezení terminálu

Z hlediska konstrukce terminálu je limitujícím faktorem navrhovaného systému rozdíl úrovní obou pater. Konstrukce terminálu se podobá konstrukci dvoupodlažního parkovacího domu, z tohoto důvodu byla světlá výška spodního patra stanovena pomocí normy pro parkovací domy ČSN 73 6058, která předepisuje volnou výšku alespoň o 200 mm větší, než je maximální výška vozidel, jimž je v daném prostoru umožněn průjezd, přičemž minimální hodnota světlé výšky je 2 200 mm. Dále norma upravuje výšku v místě zavazadlového prostoru, která se doporučuje nejméně 2 400 mm. [58]

3.1.3 Konstrukční omezení manipulátoru

Manipulátory představují zařízení, která mají znaky portálových jeřábů, zvedáků osobních aut a automatických parkovacích systémů. Hlavním omezením jsou bezpečnostní odstupy od pevných částí terminálu, konkrétně nosných sloupů, a sloupů zvedacích zařízení v autovoze. K nim se manipulátor dostává nejbližší při přesunech po kolejnicích, přičemž při tomto pohybu jsou dominantní znaky portálového jeřábu. Pro portálové jeřáby doporučuje norma ČSN EN 15011 odstupy příčnicku od pevných překážek 50 mm, tato hodnota byla v práci přejata pro odstup manipulátoru od převážených vozidel, autovoze i terminálu. Norma předepisuje i vertikální vzdálenosti portálových jeřábů od stropu a zvedaného břemene, jejich hodnoty jsou však pro navrhovaný systém příliš vysoké (500 mm), pravděpodobně z důvodu primárního určení normy pro velké jeřáby. Z tohoto důvodu byly vertikální odstupy zvoleny shodné s horizontálními odstupy (50 mm). [59]

3.2 Průzkum automobilového trhu

Navrhovaný systém by měl umožnit přepravu co největšího počtu modelů automobilů, aby měl co největší počet potenciálních zákazníků. Základním přehledem pro navrhovaný systém je proto přehled rozměrů automobilů na trhu bez ohledu na jejich prodeje.

Konstrukční omezení uvedená v části práce 3.1.1 ovšem nemusí umožnit přepravu všech dostupných modelů na trhu, z tohoto důvodu byla zpracována analýza prodejů nových automobilů v Evropě, včetně trendů. Zdrojové statistiky [62] však vykazovaly následující kvalitativní nedostatky:

- prodeje vozidel ve statistice k danému roku se lišily od prodejů stejných vozidel uvedených ve statistice k následujícímu roku (pozn.: u každého roku byl vždy uveden údaj o prodeji v předchozím roce pro meziroční srovnání)
- nebyla vždy použita stejná datová základna (např. v roce 2015 byly započítány i lehké užitkové vozy, v ostatních letech nikoliv)

Z důvodů těchto problémů proto byla zpracována ještě statistika prodejů nových vozidel v Německu, které je významným evropským automobilovým trhem. V těchto datech [63] se zmíněné nedostatky nevyskytují a jsou v nich zahrnuta i lehká užitková vozidla, která tvoří jednu z rozměrově největších kategorií automobilů do 3,5 tuny.

Celkově obě vypracované statistiky zahrnují vždy 100 nejprodávanějších modelů za dané časové období. Těchto 100 modelů tvoří přibližně 2/3 trhu s novými automobily

[příloha A][65]. Statistiky neobsahovaly údaje o karosářské verzi daných modelů, u každého proto byla zvolena jedna referenční verze podle následujících pravidel:

- 1) prioritně byla zvolena základní verze (tedy verze bez dalšího označení (např. „kombi“))
- 2) pokud byla základní verze 3dveřová a v nabídce byla i 5dveřová, byla zvolena 5dveřová
- 3) v případě vozidel kategorie „LCV“ a „MB“ byla počítána nejmenší verze

Výjimka z těchto pravidel byla provedena u vozidla BMW řady 2, kde byla z důvodu nejvyšších prodejů [66] jako referenční zvolena verze Active Tourer. V případě Fordu Transit pak byla jako referenční verze vybrána varianta Custom.

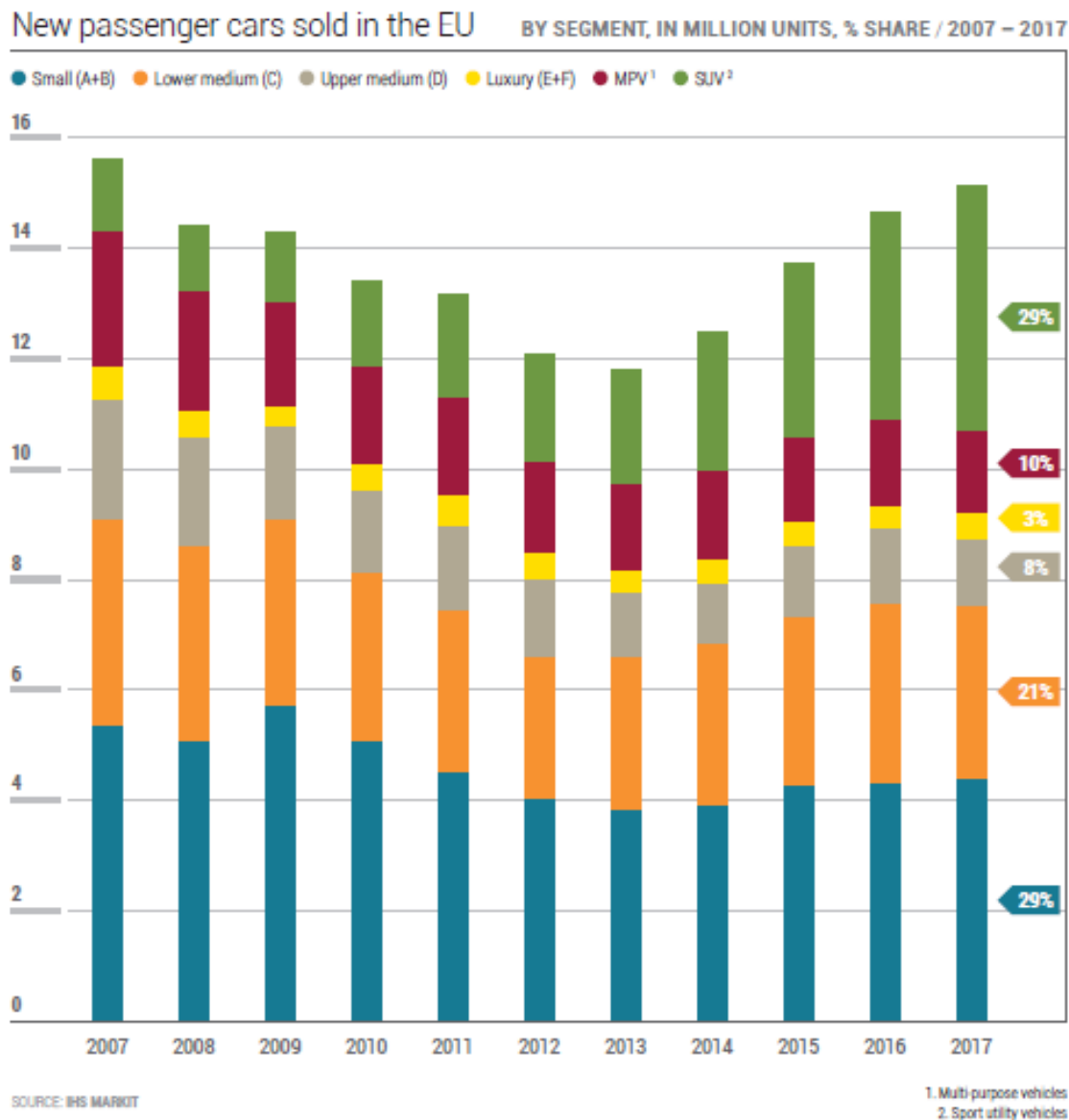
Rozměry automobilů byly určeny primárně z webové stránky automobiledimension.com [64], pokud na této stránce dané vozidlo nebylo, pak byla data získána z jiných zdrojů: [67][68][69][70][71][72][73][74][75][76][77][78][79][80][81][82]

Pro konstrukci navrhovaného systému jsou důležité následující rozměry:

- délka vozidel
- šířka vozidel
- výška vozidel
- volná šířka mezi koly náprav
- světlá výška podvozku

Nejkritičtější z těchto rozměrů je výška, protože v případě všech ostatních rozměrů lze autovůz do jisté míry upravit tak, aby bylo získáno relativně efektivní řešení, zatímco v případě výšky se obvykle úprava omezí na dilema, jestli při zvolených rozměrech vozu umožnit přepravu vyšších aut, avšak za cenu výrazné redukce kapacity (s tím, že maximální výška může být nakonec zákazníky využívána jen zřídka), nebo umožnit přepravu pouze nižších vozidel, čímž se ovšem stane služba pro některé zákazníky nedostupná. V současné době roste obliba vyšších vozidel typu SUV, jak je patrné z grafu 1. Celkově tvořila vyšší vozidla (SUV + MPV) v roce 2017 téměř 40 % prodaných automobilů a výrobci nadále rozšiřují jejich nabídku, lze tedy očekávat, že tento trend bude pokračovat. Proti tomuto trendu jde naopak trend omezování emisí, který naopak tlačí automobilky k výrobě úspornější vozidel. Jednou z cest, jak toho dosáhnout, je snižování aerodynamického odporu, což vede kromě tvarové optimalizace i ke zmenšování čelní plochy vozidel, kterého se nejsnáze docílí snížením jejich výšky (omezování šířky omezuje velikost deformačních zón při bočním nárazu). Nižší vozidla také obvykle mívají nižší hmotnost, což opět vede ke snížení spotřeby a tím i emisí CO₂. Je tedy

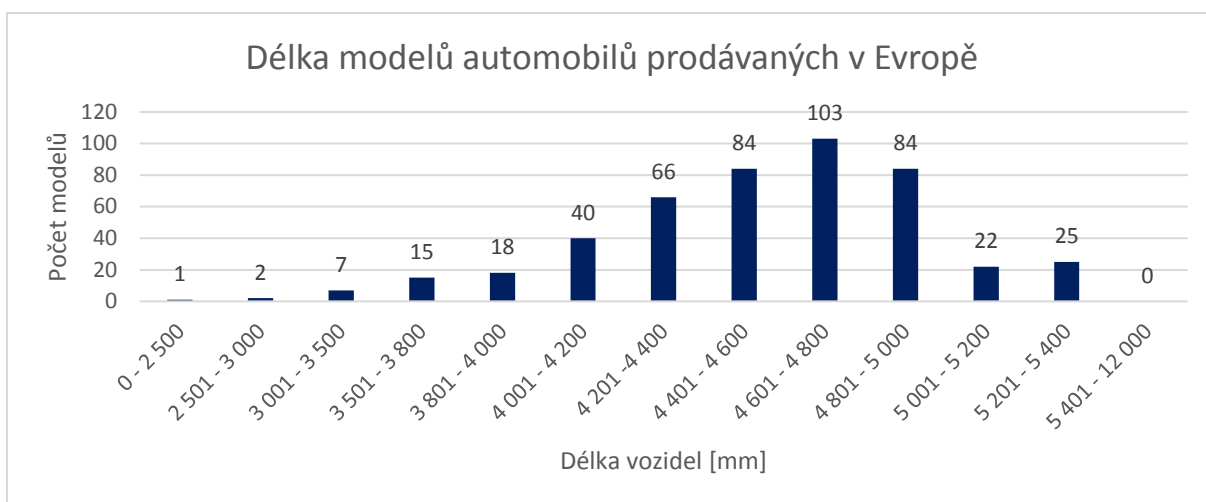
možné, že sice rostou prodeje vozidel typu SUV, ale zároveň se snižuje jejich výška. V analýze prodeje tedy byl kromě výšky všech nejprodávanějších vozidel i samostatně zhodnocen trend výšky vozidel kategorie SUV. Celá analýza prodeje je přiložena jako příloha A.



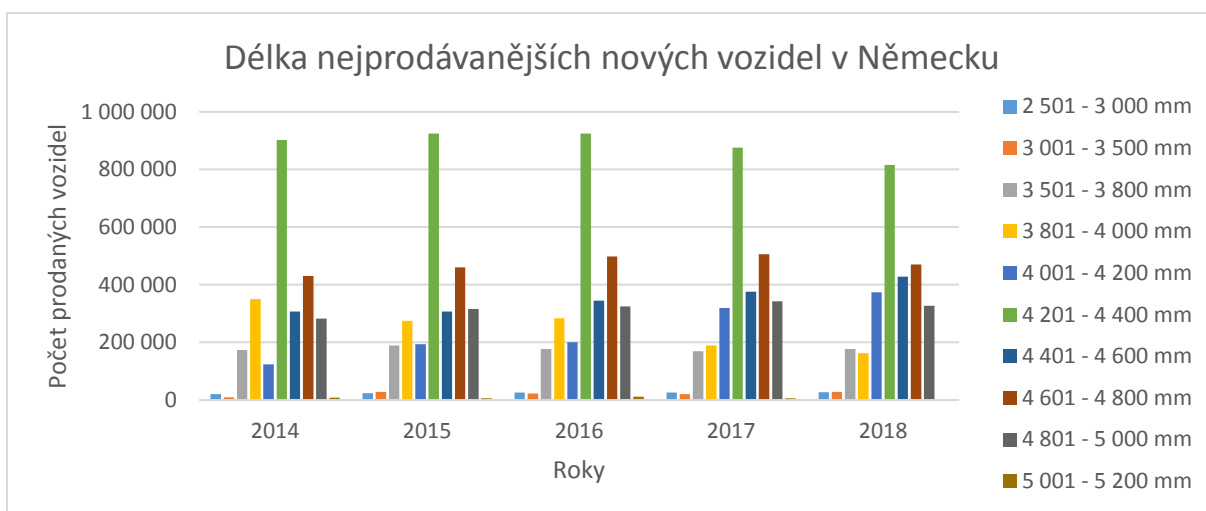
Graf 1: Prodeje vozidel v EU podle segmentů [65]

3.2.1 Délka vozidel

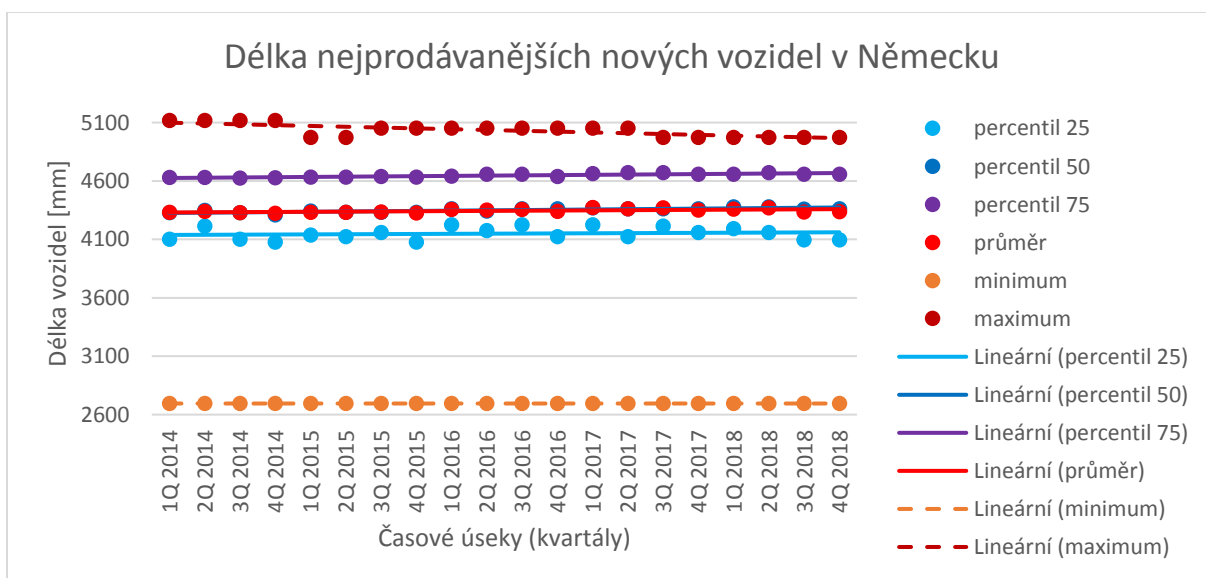
Na následující stránce je zobrazen histogram délky modelů automobilů prodávaných v Evropě, histogram délky nejprodávanějších nových vozidel v Německu a trend délky nejprodávanějších nových vozidel v Německu. Další grafy (pro Evropu) jsou uvedené v příloze A. Data pro Německo byla upřednostněna z důvodu jejich lepších kvalitativních parametrů.



Graf 2: Délka modelů automobilů prodáváných v Evropě



Graf 3: Délka nejprodávanejších nových vozidel v Německu



Graf 4: Délka nejprodávanejších nových vozidel v Německu – trendy

Délku přepravovaného vozidla může zvětšit nosič jízdní kol na tažném zařízení. Lze předpokládat, že rozměry nosičů pro stejný počet jízdní kol budou podobné napříč trhem, proto byly vybrány náhodně tři nosiče – nosič CARFACE SCORPION pro 2 jízdní kola [83], univerzální nosič CARFACE pro 3 jízdní kola [84] a nosič CARFACE CARWING 4 pro 4 jízdní kola [85]. K délce nosičů byla ještě přičtena vzdálenost mezi nosičem a nárazníkem automobilu, která byla stanovena na přibližně 100 mm. Výsledné výpočtové hodnoty jsou uvedené v tabulce 6 níže.

Nosič	Počet jízdních kol	Délka [mm]	Výpoč. délka [mm]	Zdroj
CARFACE SCORPION	2	720	800	[83]
CARFACE	3	880	1 000	[84]
CARFACE CARWING 4	4	1 080	1 200	[85]

Tabulka 6: Délka nosičů jízdních kol na tažné zařízení

Dále by v navrhovaném autovoze mělo být možné efektivně převážet motocykly, protože v letní sezoně jsou motorkáři častými zákazníky dálkových autovlaků. Na prostoru pro jedno auto by mohlo být možné převážet až 4 motocykly. Všechny motocykly na trhu jsou přibližně stejně dlouhé, proto byl zvolen jeden referenční, konkrétně Honda Gold Wing Tour GL1800, což je jeden z největších podávaných motocyklů. Délka toho modelu je 2 575 mm [86], výpočtová délka tedy byla zvolena 2 600 mm.

Na prostoru koncipovaném pro jedno auto by také mohlo být možné převážet 2 čtyřkolky. Rozměry čtyřkolek jsou podobné, proto byla zvolena stejná metoda jako v případě motocyklů, tedy výběr jednoho většího referenčního modelu. Jako referenční model byla vybrána čtyřkolka TGB BLADE 1000i LT EVO EFI 4x4 EPS s délkou 2 330 mm [87], výpočtová délka byla zvolena 2 400 mm.

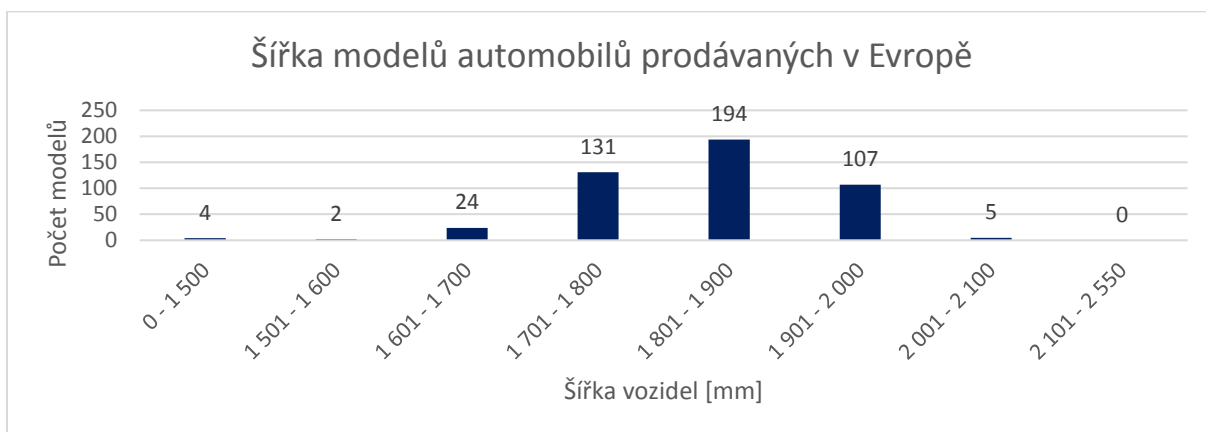
Další specifickou skupinu představují mikroauta, mezi něž patří např. Smart Fortwo. Je možné, že i některá z těchto vozidel by bylo možné převážet po dvojicích, oproti motocyklům a čtyřkolkám však již jsou jejich rozměry větší, jak ukazuje tabulka 7 níže.

Model	Délka [mm]	Zdroj
Smart Fortwo	2 695	[23]
Renault Twizy	2 337	[64]
Aixam Mínavto GT	2 759	[24]
Aixam City Pack	2 762	[88]
Ligier JS50	2 825	[89]

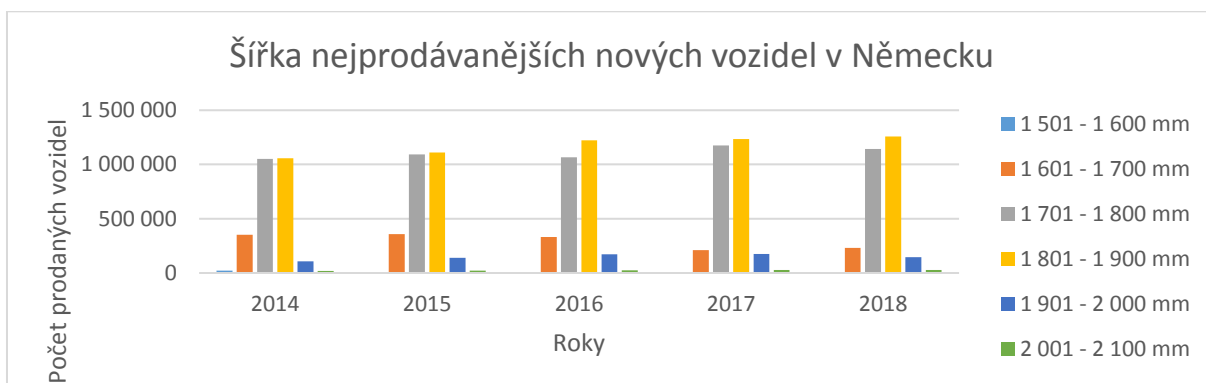
Tabulka 7: Délka mikroaut

3.2.2 Šířka vozidel

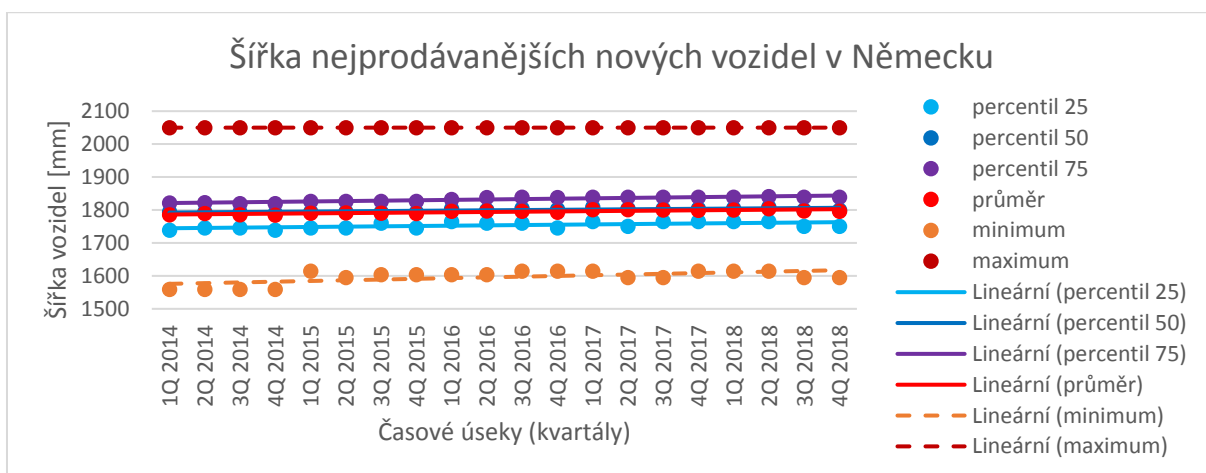
Níže je zobrazen histogram šířky modelů automobilů prodáváných v Evropě, histogram šířky nejprodávanějších nových vozidel v Německu a trend šířky nejprodávanějších nových vozidel v Německu. Další grafy (pro Evropu) jsou uvedené v příloze A. Data pro Německo byla upřednostněna z důvodu jejich lepších kvalitativních vlastností.



Graf 5: Šířka modelů automobilů prodáváných v Evropě



Graf 6: Šířka nejprodávanějších nových vozidel v Německu



Graf 7: Šířka nejprodávanějších nových vozidel v Německu – trendy

3.2.3 Volná šířka mezi koly

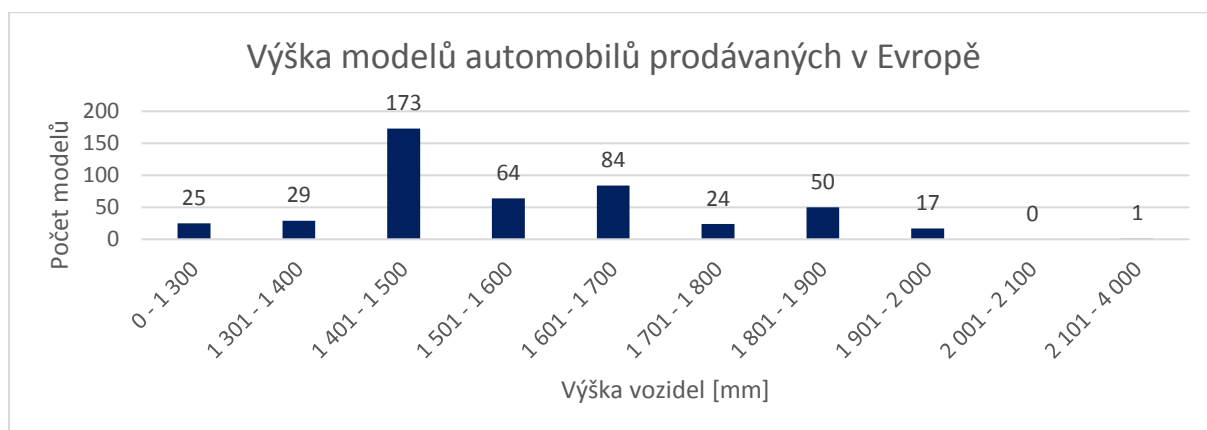
Volná šířka je důležitá pro dimenzování střední části palety. Limitními vozidly jsou v tomto případě čtyřkolka a Renault Twizy. Hodnoty byly získány z šířky (čtyřkolka) a rozchodu (Twizy) a rozměrů pneumatik. Vypočtené hodnoty jsou v tabulce 8 níže.

Vozidlo	Volná šířka [mm]	Zdroj
TGB BLADE 1000i LT EVO EFI 4x4 EPS	641	[87]
Renault Twizy	955	[90]

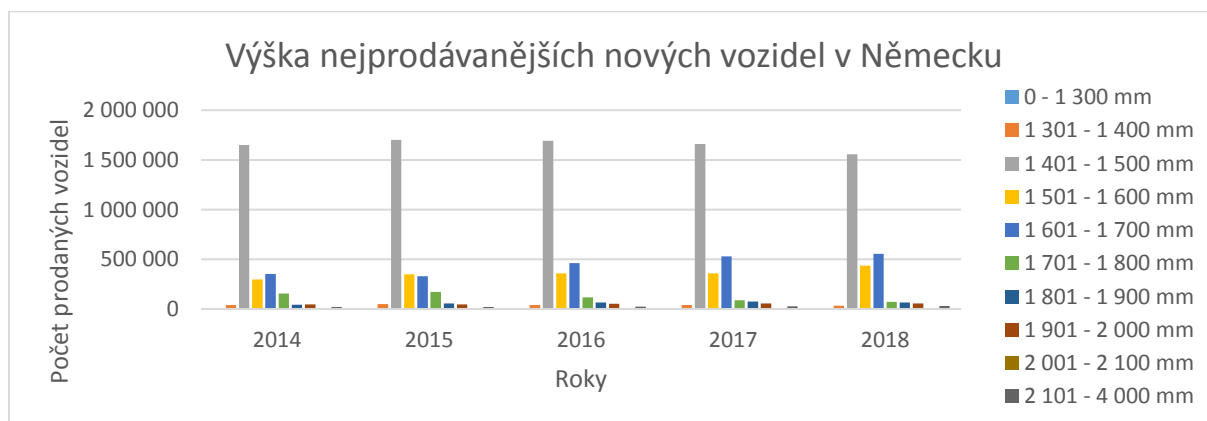
Tabulka 8: Volná šířka

3.2.4 Výška vozidel

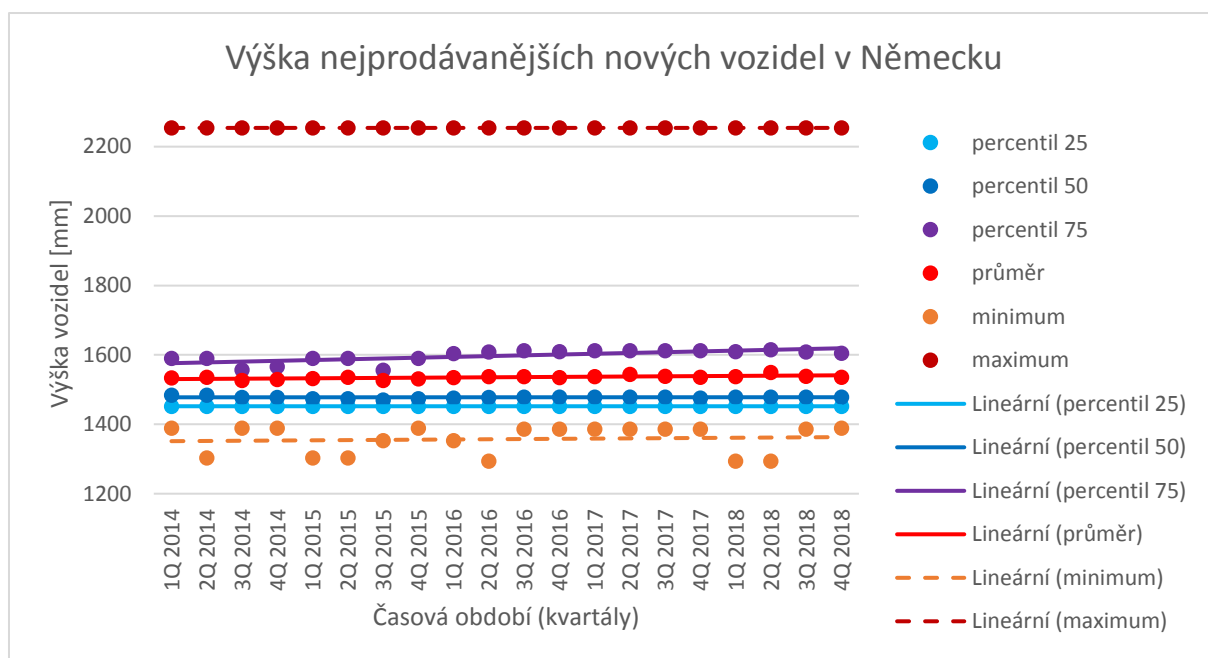
Níže je zobrazen histogram výšky modelů automobilů prodáváných v Evropě, histogram výšky nejprodávanějších nových vozidel v Německu, trend výšky nejprodávanějších nových vozidel v Německu a trend výšky nejprodávanějších nových vozidel typu SUV v Německu. Další grafy (pro Evropu) jsou uvedené v příloze A. Data pro Německo byla upřednostněna z důvodu jejich lepších kvalitativních vlastností.



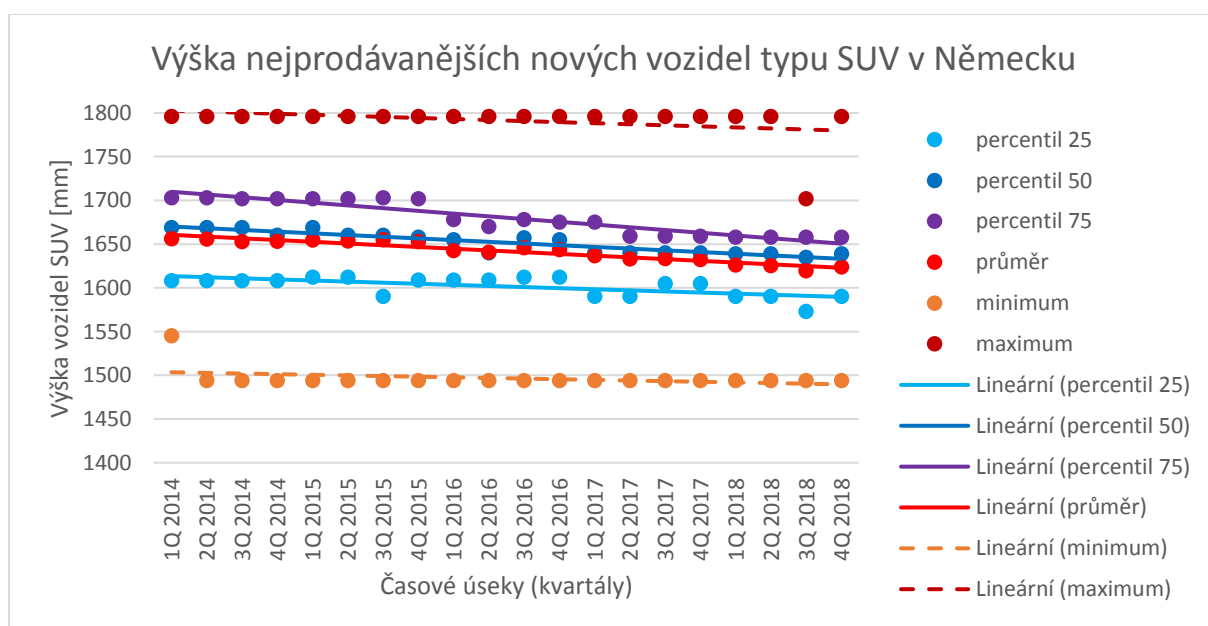
Graf 8: Výška modelů automobilů prodáváných v Evropě



Graf 9: Výška nejprodávanějších nových vozidel v Německu



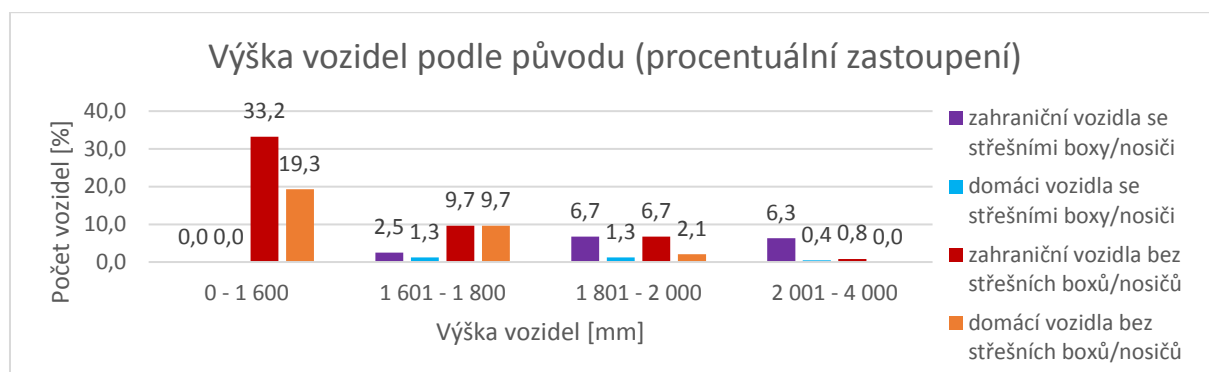
Graf 10: Výška nejprodávanějších nových vozidel v Německu – trendy



Graf 11: Výška nejprodávanějších nových vozidel typu SUV v Německu – trendy

Podobně jako délka vozidel, i výška vozidel může být ovlivněna příslušenstvím – např. střešní boxy, nosiče lyží nebo střešní nosiče jízdních kol. Vzhledem k očekávané maximální výšce přepravovaných vozidel kolem 2 000 mm a výšce jízdních kol je nepravděpodobné, že by v autovoze bylo možné převážet jízdní kola na střešních nosičích. Jiná je situace v případě střešních boxů a nosičů lyží, které jsou nižší. Za účelem prozkoumání četnosti střešního příslušenství a výšky vozidel jím vybavených byl autorem proveden v únoru roku 2016 během dopoledne orientační průzkum na dvou parkovacích plochách lyžařského střediska

Kitzsteinhorn. Níže je zobrazen graf procentuální četnosti vozidel s daným příslušenstvím a rozměry, rozdělených podle původu na zahraniční, u nichž je vyšší pravděpodobnost zájmu o autovlak, a domácí, pro které by pravděpodobně autovlak kvůli menší přepravní vzdálenosti atraktivní nebyl.



Graf 12: Výška vozidel v lyžařském středisku Kitzsteinhorn podle země původu a příslušenství v %

3.2.5 Světlá výška vozidel

Světlá výška podvozku vozidel je důležitá kvůli zapuštění pojižděných plechů do rámu palety a kvůli konstrukci kolových zarážek. Nejnížší světlou výšku mají sportovní automobily, z nich byl vybrán jeden referenční, který se řadí k těm nejnižším – Lamborghini Aventador. Světlá výška tohoto automobilu je 100 mm [91].

3.3 Výsledné rozměry

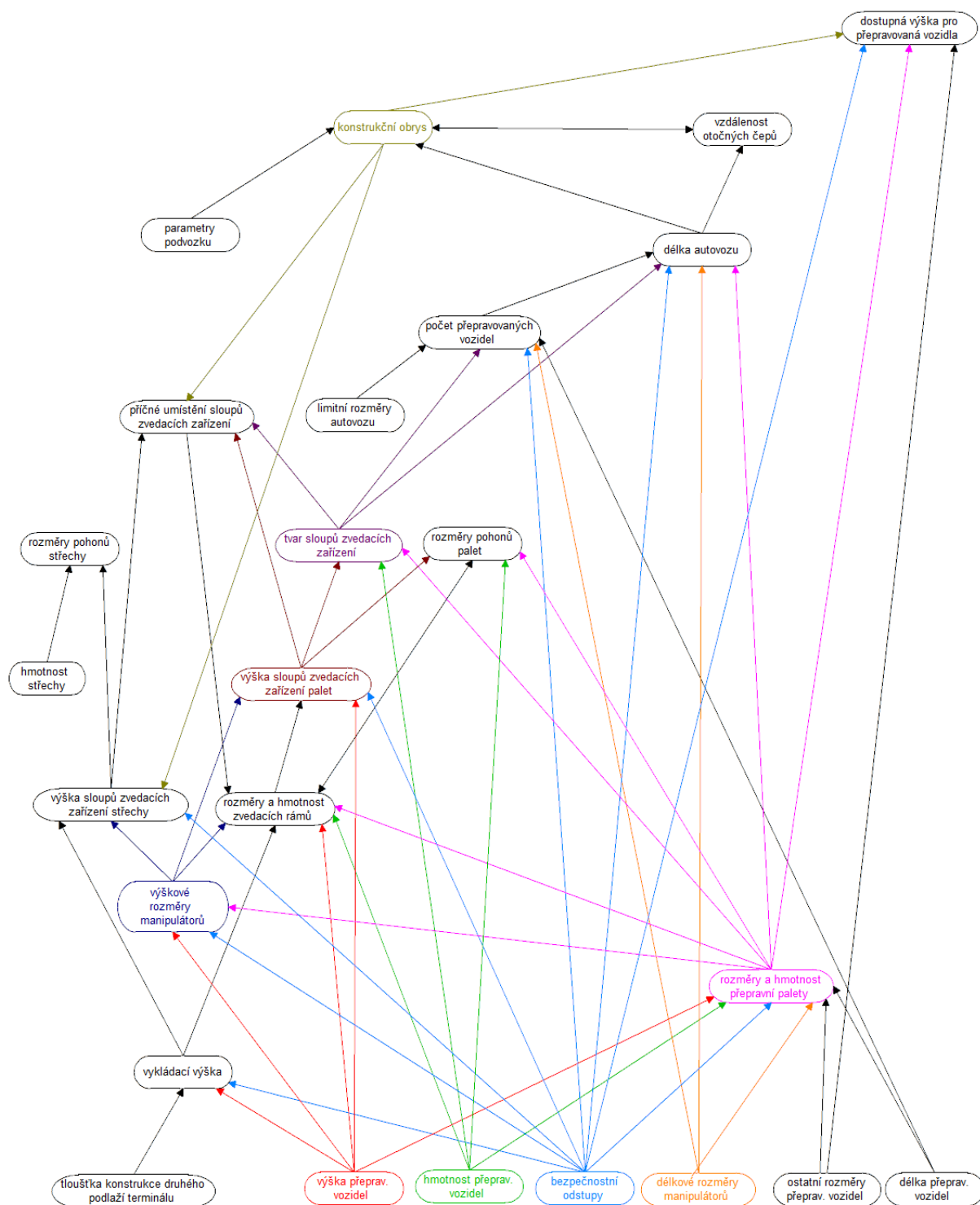
Cílem práce je určit rozměry palety, rozměry autovozy (délka, vzdálenost otočných čepů, konstrukční obrys, dostupná výška pro vozidla) a parametry pohonů palet a střechy. Nejdříve bylo nutné stanovit vzájemné závislosti rozměrů, které jsou popsány v tabulce 9 a graficky zobrazené v grafu 13, aby byla určena posloupnost jejich výpočtu.

V tabulce 9 jsou u jednotlivých rozměrů uvedeny rozměry, na kterých tyto rozměry závisí. Ty jsou dále rozdělené na rozměry známé (mezi ně jsou počítány i rozměry získané vyhodnocením statistik) a neznámé (rozměry, jejichž hodnotu je nutné získat z jiných rozměrů). Rozměry jsou v tabulce seřazené odshora dolů přibližně od nejzávislejší rozměrů po rozměry, které závisí jen na známých hodnotách.

V grafu 13 jsou rozměry znázorněné v různých výškových úrovních podle vzájemné závislosti. Jednotlivé rozměry, které ovlivňují alespoň tři další rozměry, jsou pro přehlednost zobrazené různými barvami.

Dostupná výška pro přepravovaná vozidla	
známé	bezpečnostní odstupy, rozměry vozidel
neznámé	konstrukční obrys, rozměry palet
Konstrukční obrys	
známé	parametry podvozku
neznámé	vzdálenost otočných čepů, délka autovozu
Vzdálenost otočných čepů	
známé	-
neznámé	konstrukční obrys, délka autovozu
Délka autovozu	
známé	délkové rozměry manipulátorů, bezpečnostní odstupy
neznámé	rozměry přepravních palet, tvar sloupů zvedacích zařízení, počet přep. vozidel
Počet přepravovaných automobilů	
známé	délka přep. vozidel, délkové rozm. man., bezp. odstupy, limitní rozm. autovozu
neznámé	tvar sloupů zvedacích zařízení
Tvar sloupů zvedacích zařízení	
známé	hmotnost přepravovaných vozidel
neznámé	výška sloupů zved. zařízení, rozměry a hmot. zved. ráků, hmotnost přep. palety
Výška sloupů zvedacích zařízení – palety a střecha	
známé	bezpečnostní odstupy, výška přepravovaných vozidel
neznámé	výškové rozměry manipulátorů, rozměry a hmotnost zvedacích ráků
Rozměry a hmotnost zvedacích ráků	
známé	výška přepravovaných vozidel, hmotnost přepravovaných vozidel
neznámé	výškové rozměry manipulátorů, rozměry a hmotnost přepravních palet, vykládací výška, příčné umístění sloupů zvedací zařízení, rozměry pohonů palet
Výškové rozměry manipulátorů	
známé	výška přepravovaných vozidel, bezpečnostní odstupy
neznámé	rozměry a hmotnost přepravní palety
Rozměry a hmotnost přepravní palety	
známé	rozměry přepravovaných vozidel, hmotnost přepravovaných vozidel, délkové rozměry manipulátorů, bezpečnostní odstupy
neznámé	-
Vykládací výška	
známé	výška přep. vozidel, bezp. odstupy, tloušťka konst. druhého podlaží terminálu
neznámé	-
Příčné umístění sloupů zvedacích zařízení	
známé	-
neznámé	výška sloupů zved. zařízení palet, výška sloupů zved. zařízení střechy, konst. obrys, tvar sloupů zved. zařízení
Výška sloupů zvedacích zařízení střechy	
známé	bezpečnostní odstupy, hmotnost střechy
neznámé	konstrukční obrys, vykládací výška, výškové rozměry manipulátorů
Rozměry pohonů palet	
známé	hmotnost přepravovaných vozidel
neznámé	rozm. a hmot. zved. ráků, rozměry a hmot. palet, výška sloupů zved. zař. palet
Rozměry pohonů střechy	
známé	hmotnost střechy
neznámé	výška sloupů zvedacích zařízení střechy

Tabulka 9: Závislost rozměrů



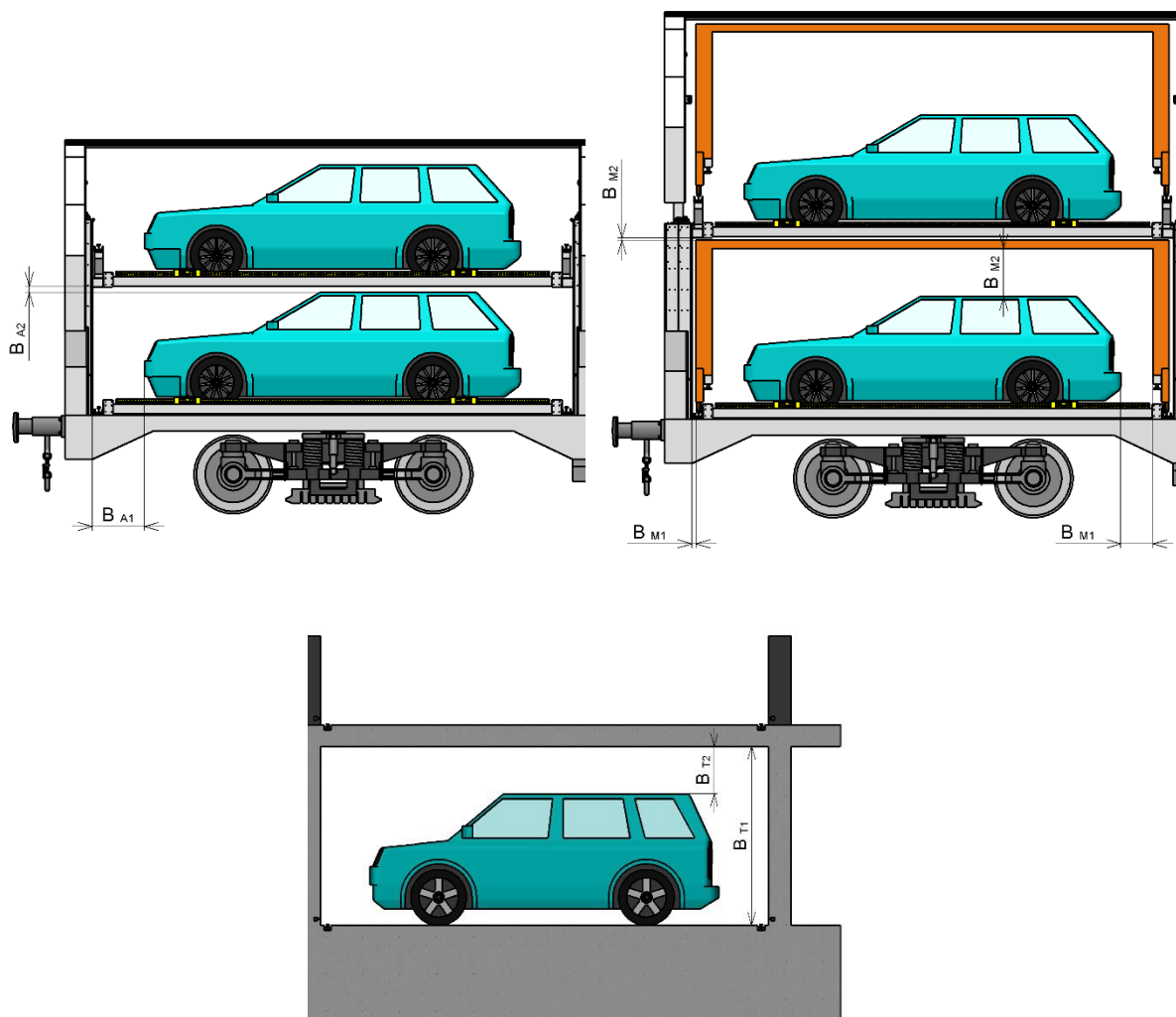
Graf 13: Závislost rozměrů

3.3.1 Bezpečnostní odstupy

Bezpečnostní postupy byly popsány v části 3.1. Jejich přehled je uveden v tabulce 10 a na obrázcích 56 až 58 níže.

Bezpečnostní odstup	Veličina	Hodnota
odstup vozidel od pevných částí autovozu/vozidel v podélném směru	B_{A1}	100
odstup vozidel od pevných částí autovozu ve svislém směru	B_{A2}	80
odstup manipulátorů od pevných částí vozu/vozidel v podélném směru	B_{M1}	50
odstup manipulátorů od pevných částí vozu/vozidel ve svislém směru	B_{M2}	50
minimální světlá výška v terminálu v místě zavazadlového prostoru	B_{T1}	2 400
odstup střechy vozidel a stropu v terminálu	B_{T2}	200

Tabulka 10: Bezpečnostní odstupy



Obrázky 56, 57, 58: Bezpečnostní odstupy vozidel, manipulátorů, terminálu

3.3.2 Rozměry a hmotnost přepravovaných vozidel

Pro stanovení rozměrů byla využita analýza automobilového trhu popsaná v části 3.2, která je přiložena jako příloha A.

V první iteraci byl systém navržen tak, aby byl využitelný pro všechny modely aut na trhu a aby bylo na jedné paletě možné přepravit čtyři motocykly nebo dvě čtyřkolky.

Pro přepravu všech modelů automobilů je potřebná délka palety $5\,400$ mm, pro přepravu čtyř motocyklů $2\,600 + 100$ (odstup) $+ 2\,600 = 5\,300$ mm a pro přepravu dvou čtyřkolek $2\,400 + 100 + 2\,400 = 4\,900$ mm. Z těchto délek byla zvolena největší hodnota, tedy $5\,400$ mm.

Z pohledu šířky je rozhodující šířka automobilů, která byla na základě provedené analýzy zvolena pro potřeby výpočtu na $2\,100$ mm. Jedná se o výpočtovou hodnotu ve výšce kol. Ve finálním návrhu palety byla tato šířka zmenšena o 10 mm použitím ochranných pryžových lišt a v reálném provozu je nutné počítat s jistou vůlí, reálně využitelná hodnota je proto přibližně $2\,070$ mm, což je ovšem dostačující i pro nejširší vozidlo – Tesla Model X ($2\,070$ mm) [64].

Pro vnitřní volnou šířku jsou rozhodující rozměry čtyřkolek, byla tedy stanovena na 600 mm. Opět se jedná o výpočtovou hodnotu, která odpovídá kontaktu vnitřní strany kol se středovými profily palety. V provozu by bylo nutné od této hodnoty odečíst tloušťku ochranných pryžových lišt (celkem 10 mm) a určitou vůli, lze tedy očekávat reálnou hodnotu využitelnou hodnotu kolem 630 mm, což je například pro modelovou čtyřkolku dostačující (volná šířka 641 mm). V případě menší volné šířky by mělo být možné vozidlo přepravit tak, že bude jednou řadou kol stát na středových plechách, což by při přepravě lehkých vozidel mělo být akceptovatelné.

Maximální výška byla zvolena $2\,000$ mm, neboť do této hodnoty se vejdou všechny automobily s výjimkou velkých dodávek a dodávek se zvýšenou střechou. Zároveň je tato hodnota postačující i pro většinu vozidel se střešním příslušenstvím (dle provedeného průzkumu).

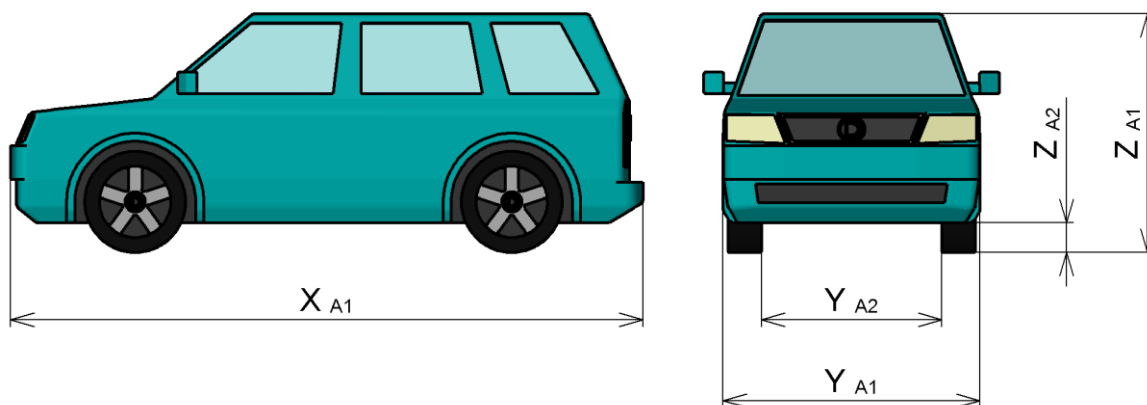
Nejmenší světlá výška byla stanovena na 100 mm, přičemž hloubka palety by neměla přesahovat 60 mm, aby byla zajištěna mezera mezi paletou a podvozkem vozidla i při průhybu určitém průhybu palety. Teoreticky je možné převážet i nižší vozidla, v takovém případě by však bylo vhodné umístit mezi podvozek auta a paletu ještě nějakou ochrannou podložku.

Maximální hmotnost vozidla byla stanovena na $3\,500$ kg.

Na základě vypočtených parametrů jednotlivých komponent systému (paleta, autovůz, ...) pro tuto iteraci bylo poté v plánu přistoupit k dalším iteracím, které by zohledňovaly prodeje automobilů nebo další příslušenství. Vzhledem k tomu, že již v této první iteraci vycházely rozhodující rozměry (délka autovoze, vzdálenost otočných čepů) velmi blízko mezních rozměrů, nebyla provedena žádná další iterace. Výsledné rozměry přepravovaných vozidel jsou souhrnně uvedeny v tabulce 11.

Rozměr	Veličina	Hodnota
délka vozidel	X_{A1}	5 400 mm
šířka vozidel (výpočtová)	Y_{A1}	2 100 mm
šířka vozidel (provozní)	Y_{A1p}	2 070 mm
volná šířka mezi koly (výpočtová)	Y_{A2}	600 mm
volná šířka mezi koly (provozní)	Y_{A2p}	630 mm
výška vozidel	Z_{A1}	2 000 mm
světla výška vozidel	Z_{A2}	100 mm
hmotnost vozidel	m_A	3 500 kg

Tabulka 11: Rozměry vozidel



Obrázek 59: Rozměry vozidel

3.3.3 Délkové rozměry manipulátorů

Délka manipulátoru (1) byla odvozena od délky (z pohledu osy autovozeu) vertikálních nosníků a zvedacích elementů manipulátoru. Tyto rozměry byly zvoleny na základě odhadu autora práce.

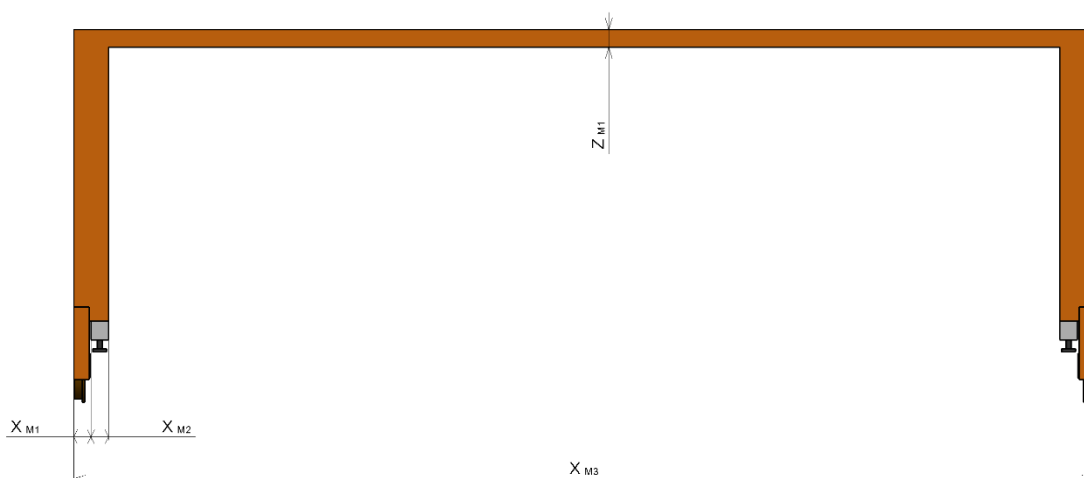
$$X_{M3} = 2 \cdot (X_{M1} + X_{M2} + B_{M1}) + X_{A1} \quad (1)$$

$$X_{M3} = 2 \cdot (100 + 100 + 50) + 5\,400$$

$$X_{M3} = 5\,900 \text{ mm}$$

Rozměr	Veličina	Hodnota
délka vertikálních nosníků	X_{M1}	100 mm
délka zvedacích elementů	X_{M2}	100 mm
Výška horizontálních nosníků	Z_{M1}	100 mm
Délka manipulátorů	X_{M3}	5 900 mm

Tabulka 12: Rozměry vozidel



Obrázek 60: Rozměry manipulátoru

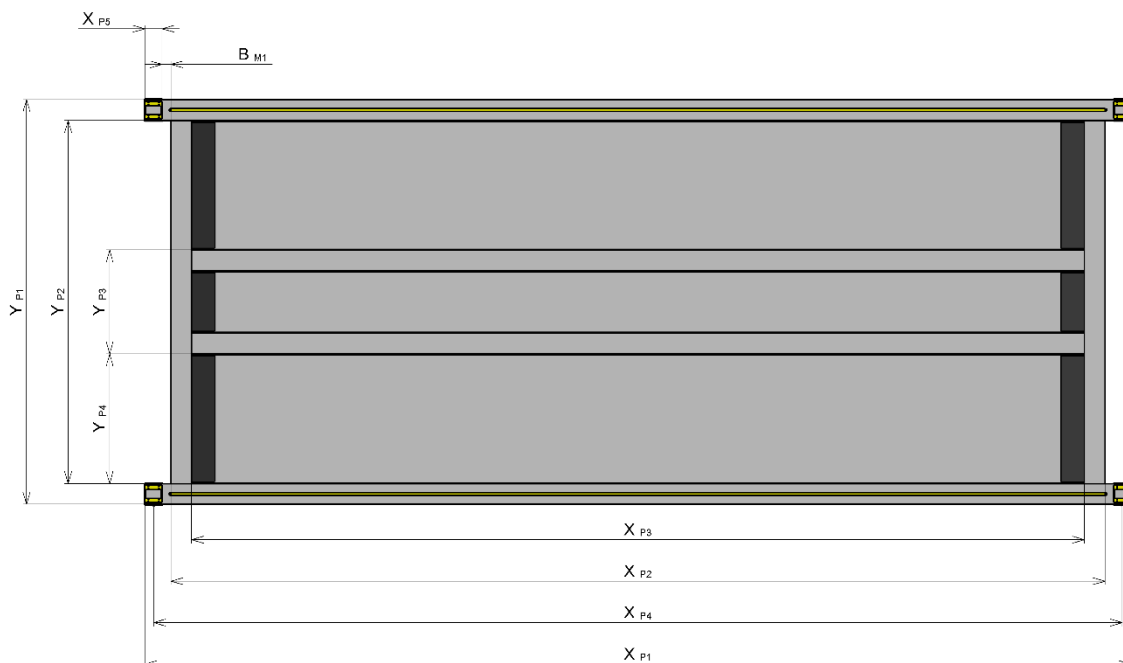
3.3.4 Rozměry a hmotnost přepravní palety

Rozměry palety byly odvozeny na základě rozměrů přepravovaných vozidel, rozměrů manipulátorů, bezpečnostních odstupů a pevnostního posouzení. Celkem byla paleta prověřována na čtyři možné způsoby namáhání – svislé, příčné, podélné a mimořádné podélné. Velikost působících sil závisí na zrychlení, jehož hodnoty byly zvoleny na základě konzultací s vedoucím práce Ing. Tomášem Heptnerem, přičemž vychází z pevnostních požadavků

na železniční vozidla. Základní výpočtové rozměry palety jsou uvedené v tabulce 13, podrobnější popis je k dispozici ve výpočtech (příloha B) a ve výkrese palety (příloha F). Hodnoty v tabulce 13 nezohledňují rozměry kontaktních plechů, ochranných lišt apod.

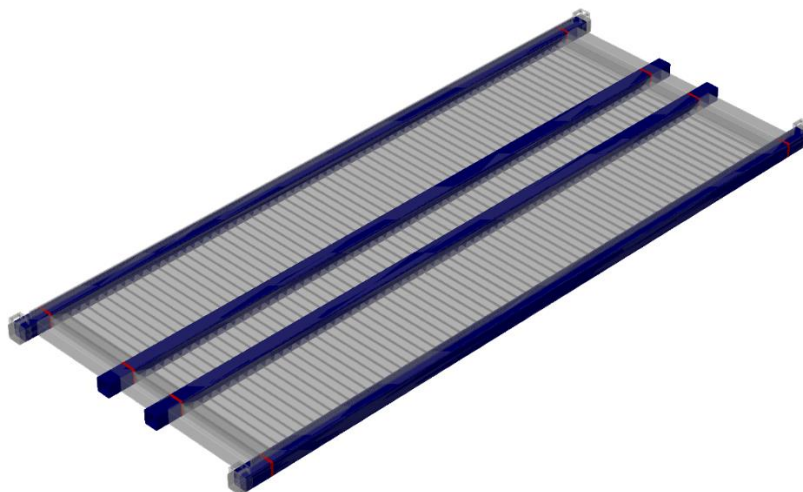
Rozměr	Veličina	Hodnota
délka hlavního nosníku palety	X_{P1}	5 700 mm
délka hlavní části palety (ložná délka)	X_{P2}	5 400 mm
ložná délka mezi příčnícíky	X_{P3}	5 160 mm
délka aktivní části palety (vzdálenost opěr)	X_{P4}	5 600 mm
délka podpírané části na každém konci	X_{P5}	100 mm
šířka palety	Y_{P1}	2 340 mm
vnitřní šířka palety	Y_{P2}	2 100 mm
šířka středové části palety	Y_{P3}	600 mm
šířka hlavních pojížděných ploch	Y_{P4}	750 mm
bezpečnostní odstup manipulátoru	B_{M1}	50 mm

Tabulka 13: Rozměry palety



Obrázek 61: Rozměry palety

Hlavní rám palety je svařen z profilů ČSN EN 10219 – 120x5 z oceli S235JR, jak je uvedeno v popisné části práce. Pro účely výpočtů byla paleta zjednodušena na čtyři podélníky délky 5 600 mm (na obrázku 62 modře). Pro tuto modelovou konstrukci pak bylo spočítáno největší napětí a největší průhyby pro celou paletu a dále hodnoty těchto veličin ve vzdálenosti, ve které jsou přivařené středové podélníky k příčnicům (na obrázku 62 červeně). Důvodem je dimenzování palety v těchto místech na vyšší koeficient bezpečnosti.



Obrázek 62: Výpočtový model palety

3.3.4.1 Výpočty průřezových charakteristik profilů palety

V rovnici (2) níže je uveden výpočet obsahu zvoleného profilu, v rovnici (3) je výpočet kvadratického modulu průřezu vůči příčné ose a v rovnici (4) je výpočet průřezového modulu v krajních vláknech vůči příčné ose. Hodnoty pro další zvažované profily jsou v příloze B.

$$S_{Pp} = Y_{Pp} \cdot Z_{Pp} - (Y_{Pp} - T_{Pp}) \cdot (Z_{Pp} - T_{Pp}) \quad (2)$$

$$S_{Pp} = 120 \cdot 120 - (120 - 5) \cdot (120 - 5)$$

$$S_{Pp} = 2\,300 \text{ mm}^2$$

$$J_{PpY} = \frac{1}{12} \cdot Y_{Pp} \cdot Z_{Pp}^3 - \frac{1}{12} \cdot (Y_{Pp} - T_{Pp}) \cdot (Z_{Pp} - T_{Pp})^3 \quad (3)$$

$$J_{PpY} = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 120^3 - \frac{1}{12} \cdot (120 - 5) \cdot (120 - 5)^3$$

$$J_{PpY} = 5\,079\,166,67 \text{ mm}^4$$

Obdobně vypočtený kvadr. modul průřezu vůči svislé ose $J_{PpZ} = 5\,079\,166,67 \text{ mm}^4$.

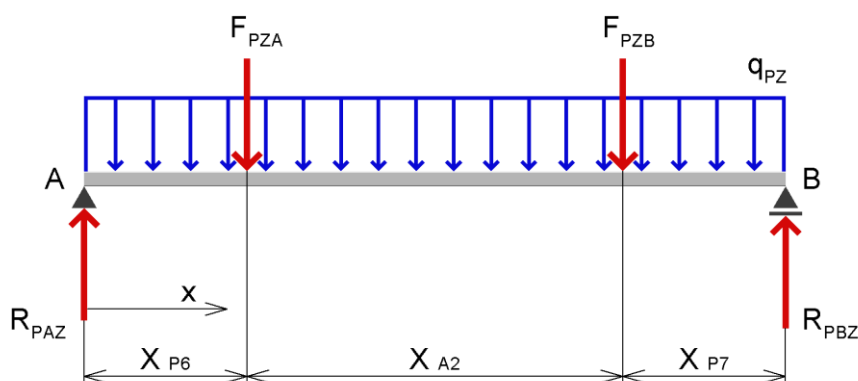
$$W_{PpY} = \frac{J_{PpY}}{0,5 \cdot Z_{Pp}} \quad (4)$$

$$W_{PpY} = \frac{5\,079\,166,67}{0,5 \cdot 120}$$

$$W_{PpY} = 84\,652,78 \text{ mm}^3$$

Obdobně vypočtený průřezový modulu vůči příčné ose $W_{PpZ} = 84\,652,78 \text{ mm}^3$.

3.3.4.2 Svislé provozní namáhání



Obrázek 63: Svislé provozní namáhání palety

Při výpočtu silového působení byly použity rozměry vozidel doporučené normou ČSN EN 1493, jejímž předmětem jsou zvedáky vozidel, protože uložení vozidel v autovoze je zvedákům podobné. Norma předepisuje pro vozidla do 3,5 tuny rozvor 3 000 mm a rozložení hmotnosti na nápravy přední:zadní 40:60. V práci bylo počítáno s opačným poměrem, tzn. rozložení hmotnosti přední:zadní 60:40, protože většina vozidel na trhu má hnanou přední nápravu a motor v přední části vozidla, z pohledu dimenzování to však není podstatné, neboť vůz musí být dimenzovaný na oba směry jízdy a uložení vozidel. Svislé namáhání má hodnotu 1,3 G.

Silové účinky od přední nápravy vozidla:

$$F_{PZA} = m_A \cdot g \cdot a_{PZ} \cdot 0,6 \quad (5)$$

$$F_{PZA} = 3\,500 \cdot 9,81 \cdot 1,3 \cdot 0,6$$

$$F_{PZA} = 26\,781,3 \text{ N}$$

Obdobně vypočtená síla od zadní nápravy $F_{PZB} = 17\,854,2 \text{ N}$.

Silové účinky od vlastní tíhy palety:

$$q_{PZ} = \frac{m_P \cdot g \cdot a_{PZ}}{X_{P4}} \quad (6)$$

$$q_{PZ} = \frac{980 \cdot 9,81 \cdot 1,3}{5\,600}$$

$$q_{PZ} = 2,23 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Reakce v bodě B:

$$R_{PBZ} = \frac{F_{PZA} \cdot X_{P6} + F_{PZB} \cdot (X_{P6} + X_{A2})}{X_{P6} + X_{A2} + X_{P7}} + \frac{q_{PZ} \cdot X_{P4}}{2} \quad (7)$$

$$R_{PBZ} = \frac{26\,781,3 \cdot 1\,300 + 17\,854,2 \cdot (1\,300 + 3\,000)}{1\,300 + 3\,000 + 1\,300} + \frac{2,23 \cdot 5\,600}{2}$$

$$R_{PBZ} = 26\,174,04 \text{ N}$$

Reakce v bodě A $R_{PAZ} = 30\,956,42 \text{ N}$

Pro výpočet průhybů je nutné vypočítat momenty na jednotlivých polích podélníků, pro výpočet maximálního napětí pak jejich derivace:

Moment v části před přední nápravou:

$$M_{PZ-I} = R_{PAZ} \cdot x - q_{PZ} \cdot \frac{x^2}{2} \quad (8)$$

Derivace momentu v části před přední nápravou:

$$M'_{PZ-I} = R_{PAZ} - q_{PZ} \cdot x \quad (9)$$

Moment v části mezi nápravami:

$$M_{PZ-II} = R_{PAZ} \cdot x - F_{PZA} \cdot (x - X_{P6}) - q_{PZ} \cdot \frac{x^2}{2} \quad (10)$$

Derivace momentu v části mezi nápravami:

$$M'_{PZ-II} = R_{PAZ} - F_{PZA} - q_{PZ} \cdot x \quad (11)$$

Moment v části za zadní nápravou:

$$M_{PZ-III} = R_{PAZ} \cdot x - F_{PZA} \cdot (x - X_{P6}) - F_{PZB} \cdot (x - X_{P6} - X_{A2}) - q_{PZ} \cdot \frac{x^2}{2} \quad (12)$$

Derivace momentu v části mezi nápravami:

$$M'_{PZ-III} = R_{PAZ} - F_{PZA} - F_{PZB} - q_{PZ} \cdot x \quad (13)$$

Byly prověřeny krajní body intervalů a body, v nichž byla některá z derivací (9) (11) (13) rovna nule. Největšího momentu $M_{PZmax} = 38\,721,9 \text{ N} \cdot \text{m}$ bylo dosaženo v bodě $x = 1\,871,2 \text{ mm}$. V místě svaru ($x = 220 \text{ mm}$ a $x = 5\,380 \text{ mm}$) byl vypočten větší moment v bodě $x = 220 \text{ mm}$, $M_{PsvZmax} = 6\,756 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Největší napětí:

$$\begin{aligned} \sigma_{PZmax} &= \frac{M_{PZmax}}{W_{PpY}} & (14) \\ \sigma_{PZmax} &= \frac{38\,721\,943,92}{84\,652,78} \\ \sigma_{PZmax} &= 114,36 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Koeficient bezpečnosti:

$$\begin{aligned} k_{PZreal} &= \frac{\sigma_{co-P}}{\sigma_{PZmax}} & (15) \\ k_{PZreal} &= \frac{154,80}{114,36} \\ k_{PZreal} &= 1,35 \end{aligned}$$

Největší napětí ve svaru:

$$\begin{aligned} \sigma_{PsvZmax} &= \frac{M_{PsvZmax}}{W_{PpY}} & (16) \\ \sigma_{PsvZmax} &= \frac{6\,756\,415,63}{84\,652,78} \\ \sigma_{PsvZmax} &= 19,95 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Koeficient bezpečnosti ve svaru:

$$k_{PsvZreal} = \frac{\sigma_{Co-P}}{\sigma_{PsvZmax}} \quad (17)$$

$$k_{PsvZreal} = \frac{154,80}{19,95}$$

$$k_{PsvZreal} = 7,76$$

V obou případech byl koeficient bezpečnosti určen vzhledem k mezi únavy, přičemž v případě maximálního napětí v paletě byla požadována hodnota 1,1 (získána hodnota 1,35) a v případě svarů hodnota 3 (získána hodnota 7,76). Navržené řešení tedy požadavkům vyhovělo.

Pro výpočet průhybů byla použita Bernoulliho diferenciální rovnice (18), přičemž poloha extrému byla vypočtena po vyřešení integračních konstant z její první derivace. Níže je zobrazena pro část před přední nápravou.

$$v''_{PZmax-l}(x) = -\frac{M_{PZmax-l}(x)}{E \cdot J_{ppY}} = -\frac{1}{E \cdot J_{ppY}} \cdot (R_{PAZ} \cdot x - q_{PZ} \cdot \frac{x^2}{2}) \quad (18)$$

$$v'_{PZmax-l}(x) = -\frac{1}{E \cdot J_{ppY}} \cdot (R_{PAZ} \cdot \frac{x^2}{2} - q_{PZ} \cdot \frac{x^3}{6} + C_1)$$

$$v_{PZmax-l}(x) = -\frac{1}{E \cdot J_{ppY}} \cdot (R_{PAZ} \cdot \frac{x^3}{6} - q_{PZ} \cdot \frac{x^4}{24} + C_1 \cdot x + C_2)$$

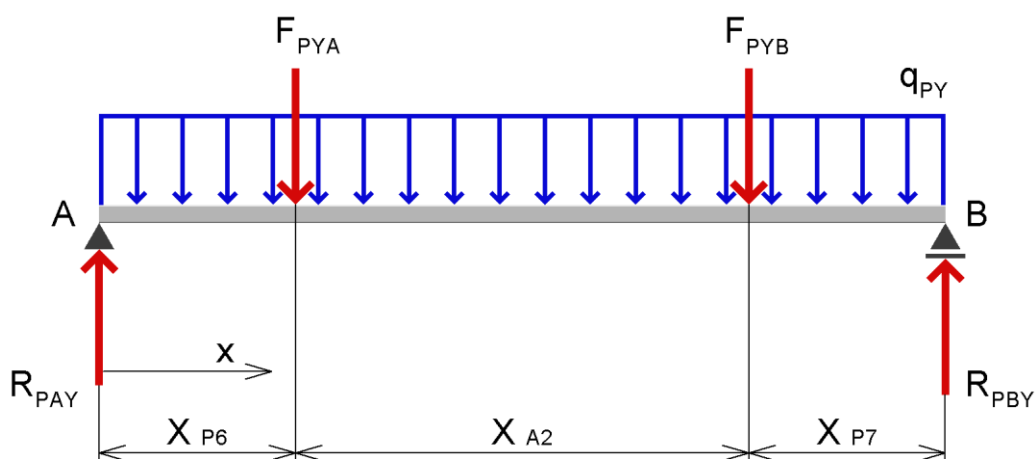
K největšímu průhybu dochází ve vzdálenosti $x = 2\,743,8\text{ mm}$ a jeho hodnota je $v_{PZmax} = 31,45\text{ mm}$. Přehled hodnot pro svislé provozní namáhání je v tabulce 14.

Rozměr	Veličina	Hodnota
maximální průhyb	v_{PZmax}	31,45 mm
maximální napětí	σ_{PZmax}	114,36 MPa
koeficient bezpečnosti	k_{PZreal}	1,35
požadovaný koeficient bezpečnosti	k_{PZpoz}	1,1
maximální průhyb v místě svaru	$v_{PsvZmax}$	4,16 mm
maximální napětí v místě svaru	$\sigma_{PsvZmax}$	19,95 MPa
koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvZreal}$	7,76
požadovaný koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvZpoz}$	3

Tabulka 14: Svislé provozní namáhání

3.3.4.3 Příčné provozní namáhání

Výpočty použité při prověřování příčného provozního namáhání jsou stejné jako v případě svislého provozního namáhání (rovnice (5) až (18) s jinými hodnotami). Níže je tedy uvedena pouze tabulka 15 s vypočtenými hodnotami a schéma. Příčné namáhání má hodnotu 0,5 G. Další hodnoty jsou k dispozici v příloze B.



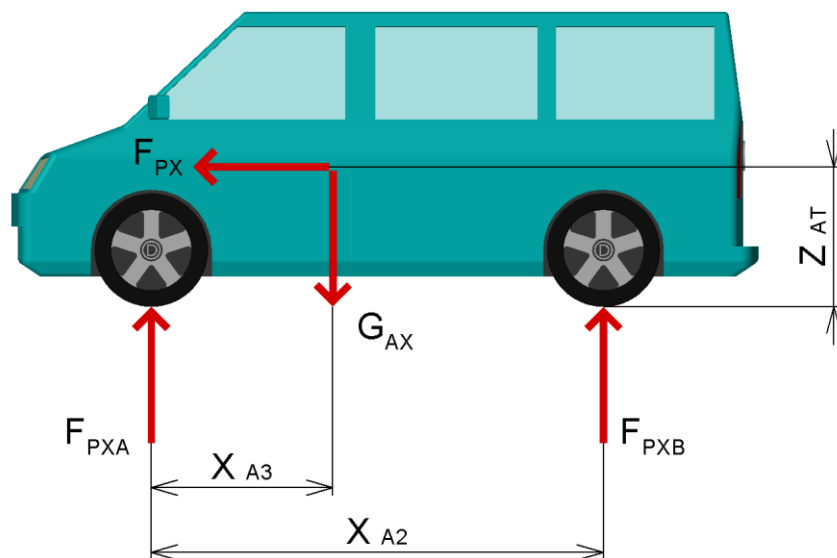
Obrázek 64: Příčné provozní namáhání palety

Rozměr	Veličina	Hodnota
maximální průhyb	V_{PYmax}	12,10 mm
maximální napětí	σ_{PYmax}	43,98 MPa
koeficient bezpečnosti	k_{PYreal}	3,52
požadovaný koeficient bezpečnosti	k_{PYpoz}	1,1
maximální průhyb v místě svaru	$V_{PsvYmax}$	1,60 mm
maximální napětí v místě svaru	$\sigma_{PsvYmax}$	7,67 MPa
koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvYreal}$	20,17
požadovaný koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvYpoz}$	3

Tabulka 15: Příčné provozní namáhání

3.3.4.4 Podélné provozní namáhání

Na rozdíl od svislého a příčného namáhání je při podélném namáhání nutné vypočítat účinky klopného momentu. Ostatní hodnoty byly získány stejnými rovnicemi (5) až (18) jako u svislého namáhání, pouze s použitím jiných hodnot. Podélné namáhání má hodnotu 0,3 G a bylo prověřeno pro oba možné směry orientace auta.



Obrázek 65: Klopný moment při podélném provozním namáhání

Výpočet síly v podélném směru:

$$F_{PX} = m_A \cdot g \cdot a_{PX} \quad (19)$$

$$F_{PX} = 3\,500 \cdot 9,81 \cdot 0,3$$

$$F_{PX} = 10\,300,5 \text{ N}$$

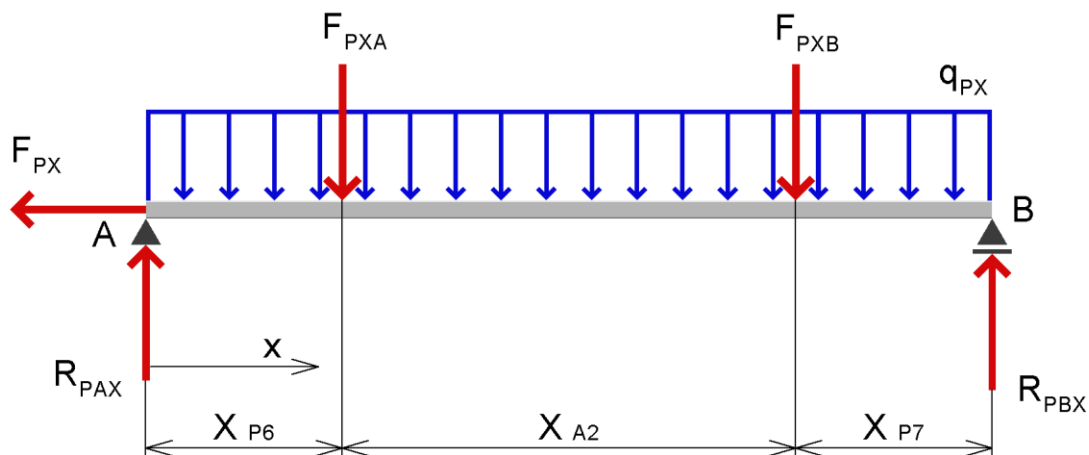
Výpočet síly na přední nápravě:

$$F_{PXA} = \frac{Z_{AT} \cdot F_{PX} + g \cdot m_A \cdot (X_{A2} - X_{A3})}{X_{A2}} \quad (20)$$

$$F_{PXA} = \frac{1\,000 \cdot 10\,300,5 + 9,81 \cdot 3\,500 \cdot (3\,000 - 1\,200)}{3\,000}$$

$$F_{PXA} = 24\,034,5 \text{ N}$$

Obdobně vypočtená síla od zadní nápravy $F_{PXB} = 10\,300,5 \text{ N}$.



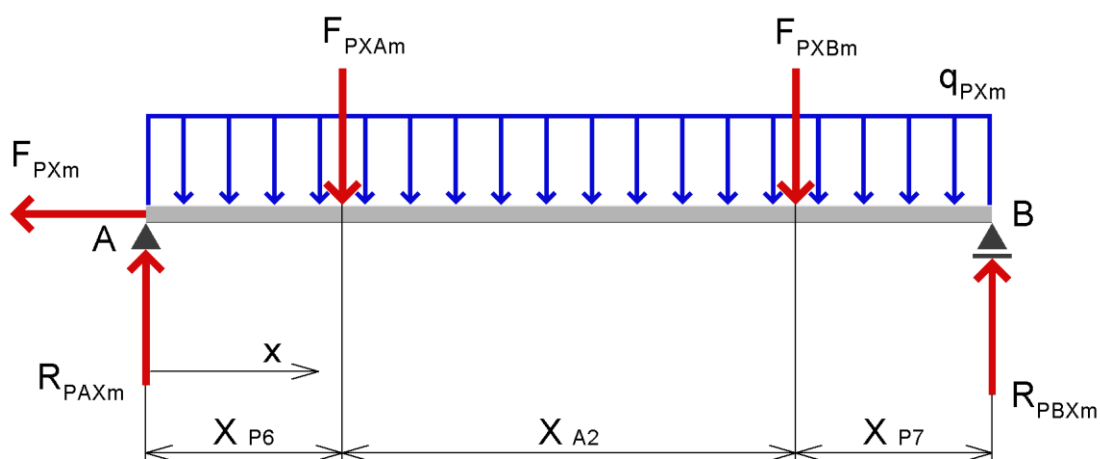
Obrázek 66: Podélné provozní namáhání palety

Rozměr	Veličina	Hodnota
maximální průhyb	V_{PXmax}	24,23 mm
maximální napětí	σ_{PXmax}	95,56 MPa
koeficient bezpečnosti	$k_{PX1real}$	1,62
koeficient bezpečnosti – druhý směr	$k_{PX2real}$	1,79
požadovaný koeficient bezpečnosti	k_{PXpoz}	1,1
maximální průhyb v místě svaru	$V_{PsvXmax}$	3,29 mm
maximální napětí v místě svaru	$\sigma_{PsvXmax}$	17,96 MPa
koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvX1real}$	8,62
koeficient bezpečnosti v místě svaru – druhý směr	$k_{PsvX2real}$	9,94
požadovaný koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvXpoz}$	3

Tabulka 16: Podélné provozní namáhání

3.3.4.5 Podélné mimořádné namáhání

Při výpočtu účinků podélného mimořádného namáhání, jehož hodnota je 3 G, byl použit stejný postup jako při výpočtu hodnot podélného provozního namáhání, pouze byly obměněny hodnoty. Koeficienty bezpečnosti byly v tomto případě počítány vůči mezi kluzu. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 17.



Obrázek 67: Podélné mimořádné namáhání palety

Rozměr	Veličina	Hodnota
maximální průhyb	V_{PXmmax}	36,06 mm
maximální napětí	σ_{PXmmax}	187,31 MPa
koeficient bezpečnosti	$k_{PX1mreal}$	1,25
koeficient bezpečnosti – druhý směr	$k_{PX2mreal}$	1,41
požadovaný koeficient bezpečnosti	k_{PXmpoz}	1,1
maximální průhyb v místě svaru	$V_{PsvXmmax}$	5,29 mm
maximální napětí v místě svaru	$\sigma_{PsvXmmax}$	44,61 MPa
koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvX1mreal}$	5,27
koeficient bezpečnosti v místě svaru – druhý směr	$k_{PsvX2mreal}$	5,71
požadovaný koeficient bezpečnosti v místě svaru	$k_{PsvXmpoz}$	3

Tabulka 17: Podélné mimořádné namáhání

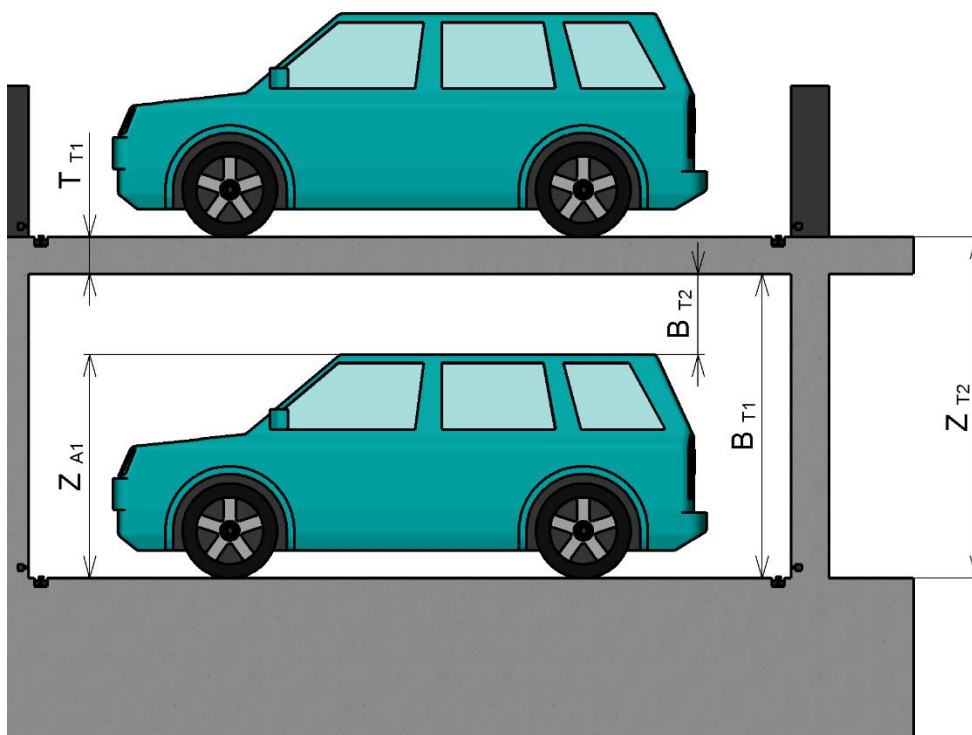
3.3.5 Vykládací výška

Pro výpočet vykládací výšky bylo nutné určit, jestli je rozhodující požadavek na minimální světlou výšku v terminálu v místě zavazadlového prostoru vozidla nebo výška vozidla a odstup jeho střechy od stropu terminálu. Rozhodující hodnotou byla světlá výška v místě zavazadlového prostoru. Výpočet vykládací výšky je uveden níže.

$$Z_{T2} = Z_{T1} + T_{T1} \quad (21)$$

$$Z_{T2} = 2\,400 + 300$$

$$Z_{T2} = 2\,700 \text{ mm}$$



Obrázek 68: Vykládací výška

3.3.6 Výškové rozměry manipulátorů

Pro určení výšky manipulátorů byly porovnány dva stavy – příjezd manipulátoru do vozu s naloženým autem o maximální výšce (rovnice (22)) a odvoz tohoto auta z vozu (rovnice (23)). Poté byla vybrána větší hodnota (v tomto případě vyšly totožné hodnoty). Výška manipulátoru $Z_{M3} = 2\,130 \text{ mm}$.

$$Z_{M3A} = Z_{A1} + B_{M2} + Z_{M1} + Z_{Pp} - Z_{P1} + T_{UV} - Z_{Vkm3} \quad (22)$$

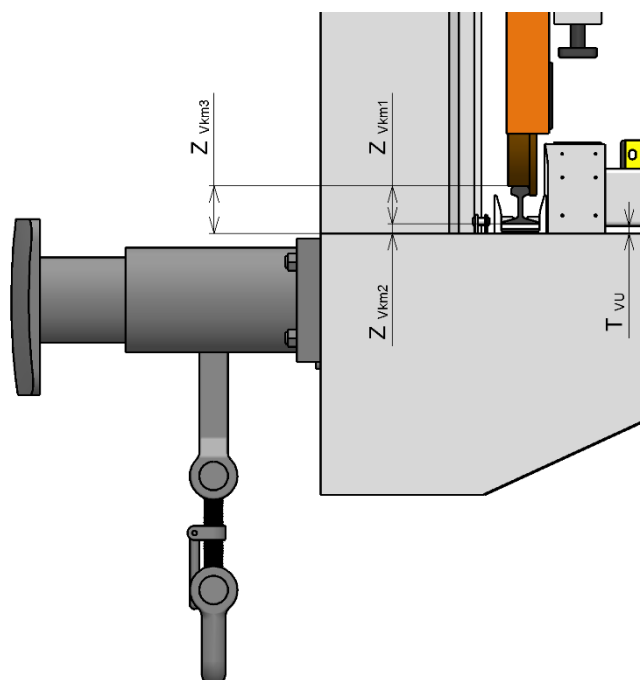
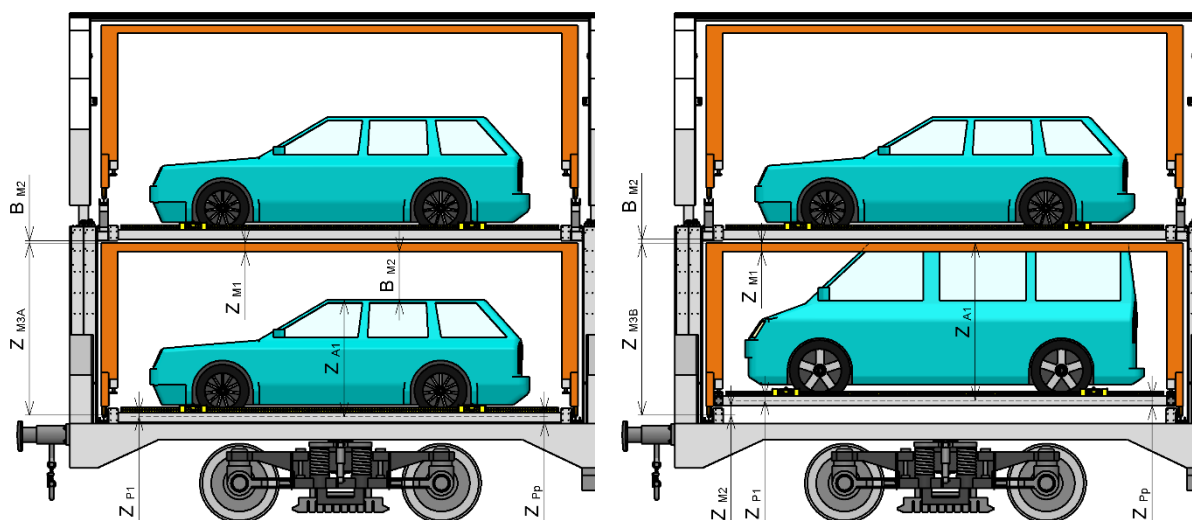
$$Z_{M3A} = 2\,000 + 50 + 100 + 120 - 60 + 20 - 100$$

$$Z_{M3A} = 2\,130 \text{ mm}$$

$$Z_{M3B} = Z_{A1} + Z_{Pp} - Z_{P1} + Z_{M2} \quad (23)$$

$$Z_{M3B} = 2\,000 + 120 - 60 + 70$$

$$Z_{M3B} = 2\,130 \text{ mm}$$



Obrázky 69 až 71: Výškové rozměry manipulátorů

3.3.7 Rozměry a hmotnost zvedacích ráků

Pro výpočet Rozměrů zvedacích ráků bylo nejprve nutné spočítat rozměry jezdce, k čemuž bylo zapotřebí provést přibližný výpočet rozměrů pohybových šroubů, aby byl zřejmý potřebný prostor pro matici. Přibližný výpočet jejího středního závitu je proveden níže (24). Jako osová síla byla zvolena poloviční hodnota největší reakce vypočtená v bodě 3.3.4 (protože tato reakce bude působit na dva pohybové šrouby).

Předběžný střední průměr závitu [46]:

$$d'_{2-Všp} = \sqrt{\frac{Q_{Všp}}{\pi \cdot \psi_{H-Všp} \cdot \psi_{h-Všp} \cdot p_{VšpD}}} \quad (24)$$

$$d'_{2-Všp} = \sqrt{\frac{23\,494,38}{\pi \cdot 0,5 \cdot 2 \cdot 10\,000\,000}}$$

$$d'_{2-Všp} = 27,35 \text{ mm}$$

Porovnáním parametrů závitů bylo odhadnuto, že závit pravděpodobně nebude větších rozměrů než Tr 50x8. Tomuto závitu odpovídá FM matice o vnějším průměru 110 mm, vnější šířka konstrukce jezdce bez rolen tedy byla zvolena na 130 mm, což při tloušťce plechů 8 mm dává vnitřní šířku 114 mm.

Bylo spočítáno silové působení na rolly od palety s vozidly a vlastní hmotnosti rámu. Ve výpočtech se vždy počítalo s tím, že síly přenáší pouze dva páry rolen za čtyř. na základě vypočtených hodnot pak byly zvoleny rolly HEC 4.055 [95]. Bližší údaje včetně vypočtených hodnot jsou k dispozici v příloze B.

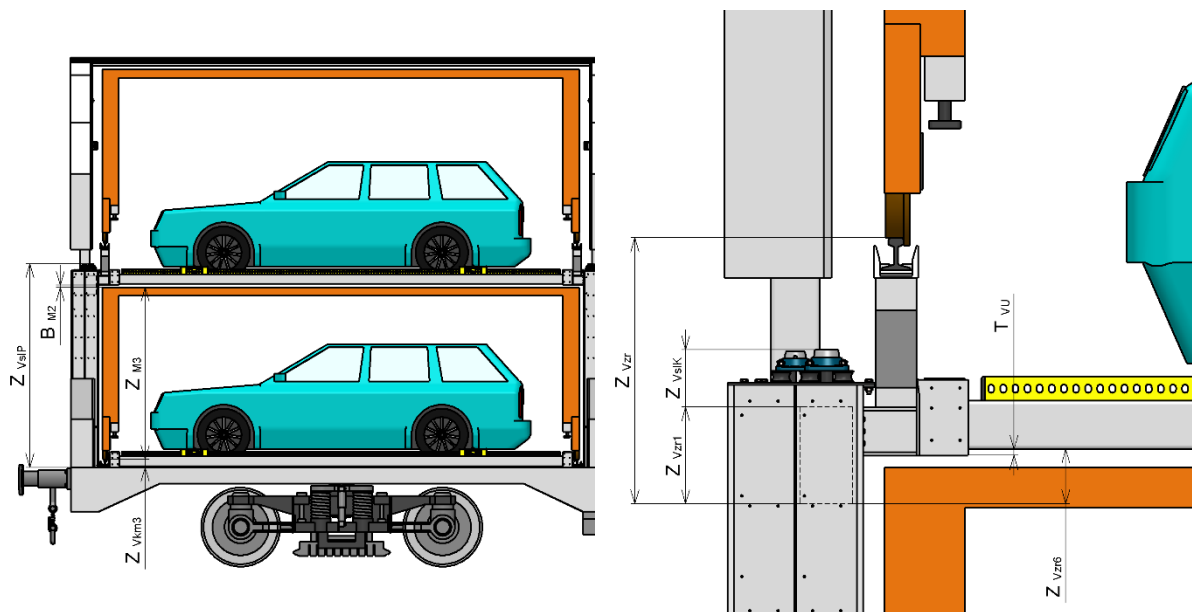
3.3.8 Výška sloupů zvedacích zařízení dle palet

Sloupy zvedacích zařízení jsou společné pro pohony palet i střechy. Výška byla vypočtena pro každou soustavu pohonů zvlášť, protože potřebná výška se může lišit (je ale předpokládáno, že jejich hodnoty budou podobné). Nejprve byla vypočtena výška sloupů potřebná pro palety, protože jejímu výpočtu nebrání neznalost konstrukčního obrysu.

$$Z_{VSLP} = Z_{M3} + Z_{Vkm3} + B_{M2} + Z_{Vzr1} + Z_{VslK} + T_{VU} - Z_{Vzr6} \quad (25)$$

$$Z_{VSLP} = 2\,130 + 100 + 50 + 240 + 100 + 20 - 140$$

$$Z_{VSLP} = 2\,500 \text{ mm}$$



Obrázky 72 a 73: Výška sloupů zvedacích zařízení dle palet

3.3.9 Rozměry pohonů palet

Předběžný střední průměr závitu je již znám z části 3.3.7. Z pohonů palet jsou nekritičtější parametry pohybových šroubů. Z katalogu [92] bylo vybráno několik převodovek, které poté byly porovnány s požadavky. Pro manipulaci s paletami byla zvolena zesílená převodovka TSE 50 se šroubem Tr 50x8. Porovnání převodovek je součástí přílohy B.

3.3.9.1 Úhly

Úhel stoupání:

$$\gamma_{Všp} = \arctg\left(\frac{i_{Všp} \cdot P_{Všp}}{\pi \cdot d_{2-Všp}}\right) \quad (26)$$

$$\gamma_{Všp} = \arctg\left(\frac{1 \cdot 8}{\pi \cdot 46}\right)$$

$$\gamma_{Všp} = 3,17^\circ$$

Úhel boku profilu – normálový:

$$\beta_{n-Všp} = \arctg[\operatorname{tg}(\beta_{Všp}) \cdot \cos(\gamma_{Všp})] \quad (27)$$

$$\beta_{n-Všp} = \arctg[\operatorname{tg}(15^\circ) \cdot \cos(3,17^\circ)]$$

$$\beta_{n-Všp} = 14,98^\circ$$

Třecí úhel:

$$\varphi'_{Všp} = \arctg\left(\frac{f_{Všp}}{\cos(\beta_{n-Všp})}\right) \quad (28)$$

$$\varphi'_{Všp} = \arctg\left(\frac{0,13}{\cos(14,98^\circ)}\right)$$

$$\varphi'_{Všp} = 7,66^\circ$$

3.3.9.2 Předběžné parametry matice

Předběžná výška matice:

$$h_{VšpP} = \psi_{h-Všp} \cdot d_{2-Všp} \quad (29)$$

$$h_{VšpP} = 2 \cdot 46$$

$$h_{VšpP} = 92 \text{ mm}$$

Konstrukční počet závitů:

$$z_{Všp} = \frac{h_{VšpP}}{P_{Všp}} \quad (30)$$

$$z_{Všp} = \frac{92}{8}$$

$$z_{Všp} = 11,5$$

3.3.9.3 Kontrolní výpočty

Kontrola otlačení závitů:

$$p_{Všp} = \frac{Q_{Všp}}{z_{\check{c}-Všp} \cdot \pi \cdot d_{2-Všp} \cdot H_{1-Všp}} \quad (31)$$

$$p_{Všp} = \frac{23\,494,38}{9 \cdot \pi \cdot 46 \cdot 4}$$

$$p_{Všp} = 4,52 \text{ MPa}$$

$$(p_{Všp} = 4,52 \text{ MPa}) < (p_{VšpD} = 10 \text{ MPa})$$

Kontrola dřívku šroubu – napětí v tlaku:

$$\begin{aligned}\sigma_{VšpD} &= \frac{Q_{Všp}}{S_{3-Všp}} & (32) \\ \sigma_{VšpD} &= \frac{23\,494,38}{1\,320} \\ \sigma_{VšpD} &= 17,80 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kontrola dřívku šroubu – napětí v krutu:

$$\begin{aligned}\tau_{Všp} &= \frac{M_{k-Všp}}{W_{k3-Všp}} & (33) \\ \tau_{Všp} &= \frac{103\,403,12}{13\,532,61} \\ \tau_{Všp} &= 7,64 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kontrola dřívku šroubu – redukované napětí:

$$\begin{aligned}\sigma_{Všpred} &= \sqrt{\sigma_{VšpD}^2 + 3 \cdot \tau_{Všp}^2} & (34) \\ \sigma_{Všpred} &= \sqrt{17,80^2 + 3 \cdot 7,64^2} \\ \sigma_{Všpred} &= 22,18 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kontrola dřívku šroubu – koeficient bezpečnosti:

$$\begin{aligned}k_{Všp} &= \frac{\sigma_{kt-Všp}}{\sigma_{Všpred}} & (35) \\ k_{Všp} &= \frac{295}{22,18} \\ k_{Všp} &= 13,30\end{aligned}$$

Kontrola vzpěru – poloměr setrvačnosti:

$$i_{x-všp} = \frac{d_{3-všp}}{4} \quad (36)$$

$$i_{x-všp} = \frac{41}{4}$$

$$i_{x-všp} = 10,25 \text{ mm}$$

Kontrola vzpěru – výpočtová vzpěrná délka šroubu:

$$L_{v-všp} = \mu \cdot L_{Všp} \quad (37)$$

$$L_{v-všp} = 0,71 \cdot L_{Všp}$$

$$L_{v-všp} = 1\,704 \text{ mm}$$

Kontrola vzpěru – štíhlostní poměr:

$$\lambda_{Všp} = \frac{L_{v-všp}}{i_{x-všp}} \quad (38)$$

$$\lambda_{Všp} = \frac{1\,704}{10,25}$$

$$\lambda_{Všp} = 166,24$$

$$(\lambda_{Všp} = 166,24) > (\lambda_{m-všp} = 105) \rightarrow \text{Euler}$$

Kontrola vzpěru – kritické napětí:

$$\sigma_{E-všp} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda_{Všp}^2} \quad (39)$$

$$\sigma_{E-všp} = \frac{\pi^2 \cdot 210\,000}{166,24^2}$$

$$\sigma_{E-všp} = 74,99 \text{ MPa}$$

Kontrola vzpěru – koeficient bezpečnosti:

$$k_{v-všp} = \frac{\sigma_{E-šp}}{\sigma_{VšpD}} \quad (40)$$

$$k_{v-všp} = \frac{74,99}{17,80}$$

$$k_{v-všp} = 4,21$$

$$(k_{v-všp} = 4,21) > (k_{v-všpmin} = 3,5)$$

3.3.9.4 Kinematika

Rychlost zdvihu:

$$u_{VšpS} = \frac{u_{VšpMIN}}{60} \quad (41)$$

$$u_{VšpS} = \frac{1\,000}{60}$$

$$u_{VšpS} = 16,67 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$$

Otáčky šroubu:

$$n_{Všp} = \frac{u_{VšpS} \cdot 60}{P_{Všp}} \quad (42)$$

$$n_{Všp} = \frac{16,67 \cdot 60}{8}$$

$$n_{Všp} = 125 \text{ min}^{-1}$$

Otáčky vstupní hřídele převodovky:

$$n_{VšpHR} = \frac{n_{Všp}}{i_{p-všpR}} \quad (43)$$

$$n_{VšpHR} = \frac{125}{0,1429}$$

$$n_{VšpHR} = 875 \text{ min}^{-1}$$

3.3.9.5 Energetické poměry

Výkon motoru:

$$P_{VšpMR} = \frac{Q_{VšpC} \cdot \frac{u_{VšpS}}{1\,000}}{\eta_{VšpZR} \cdot \eta_{VšpV} \cdot \eta_{VšpK}^2} \quad (44)$$

$$P_{VšpMR} = \frac{47\,870,51 \cdot \frac{16,67}{1\,000}}{0,32 \cdot 0,95 \cdot 0,94^2}$$

$$P_{VšpMR} = 2\,966,50 \text{ W}$$

Účinnosti vychází z katalogů: [92] [96]

Moment motoru:

$$M_{VšpMR} = \frac{P_{VšpMR}}{\pi \cdot \frac{n_{VšpHR}}{30}} \quad (45)$$

$$M_{VšpMR} = \frac{2\,966,50}{\pi \cdot \frac{875}{30}}$$

$$M_{VšpMR} = 32,37 \text{ N} \cdot \text{m}$$

3.3.10 Tvar sloupů zvedacích zařízení

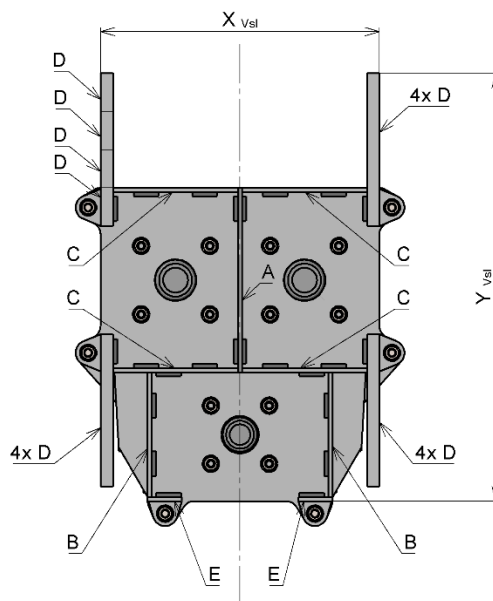
Sloup byl pro potřeby návrhu rozdělen na jednotlivé plechy, pro které byly vypočteny kvadratické moduly průřezu. Následně se tyto hodnoty sečetly (47), čímž byl získán celkový kvadratický modul nosných částí sloupu. Vzhledem k dosud neznámé výšce potřebné pro zdvih střechy bylo počítáno s výškou pro palety. Výkres sloupu je přiložen jako příloha E. Na výkrese je použito mírně odlišné značení plechů.

Kvadratický modul průřezu plechu D:

$$J_{VslD} = \frac{1}{12} \cdot Y_{VslD} \cdot X_{VslD}^3 + O_{VslD}^2 \cdot S_{VslD} \quad (46)$$

$$J_{VslD} = \frac{1}{12} \cdot 46 \cdot 15^3 + 160^2 \cdot 690$$

$$J_{VslD} = 17\,676\,937,5 \text{ mm}^4$$



Obrázek 74: Tvar sloupu zvedacích zařízení

Kvadratický modul průřezu sloupu (ve vetknutí):

$$\begin{aligned}
 J_{Vsl} &= J_{VslA} + J_{VslB} \cdot 2 + J_{VslC} \cdot 4 + J_{VslD} \cdot 16 + J_{VslE} \cdot 2 & (47) \\
 J_{Vsl} &= 2\,312,5 + 8\,830\,750 \cdot 2 + 5\,910\,937,5 \cdot 4 + \\
 &\quad + 17\,676\,937,5 \cdot 16 + 1\,707\,718,33 \cdot 2 \\
 J_{Vsl} &= 327\,553\,999 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Průřezový modul v krajních vláknech:

$$\begin{aligned}
 W_{Vsl} &= \frac{J_{Vsl}}{0,5 \cdot X_{Vsl}} & (48) \\
 W_{Vsl} &= \frac{327\,553\,999}{0,5 \cdot 335} \\
 W_{Vsl} &= 1\,955\,546,26 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Hmotnost sloupu:

$$\begin{aligned}
 m_{Vsl} &= Z_{VslP} \cdot 10^{-3} \cdot (S_{Vsl} \cdot 10^{-6} - (16 - 4) \cdot S_{VslD} \cdot 10^{-6} \cdot 0,5) \cdot \rho_{Vsl} + & (49) \\
 &\quad + m_{VslR} \\
 m_{Vsl} &= 2\,500 \cdot 10^{-3} \cdot (17\,060 \cdot 10^{-6} - (16 - 4) \cdot 690 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5) \cdot 7\,850 \\
 &\quad + 100 \\
 m_{Vsl} &= 353,56 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Výška působíště síly od palety (zvedacích ráků):

$$Z_{VslF} = Z_{Pp} - Z_{P1} + T_{VU} + Z_{A1} + B_{A2} - Z_{Vzr6} + Z_{Vzr1} \quad (50)$$

$$Z_{VslF} = 120 - 60 + 20 + 2\,000 + 80 - 140 + 240$$

$$Z_{VslF} = 2\,260 \text{ mm}$$

Síla působící na sloup:

$$F_{Vslm} = \frac{F_{PX1m}}{2} + a_{PXm} \cdot g \cdot \left(\frac{m_P}{2} + m_{Vzr} \right) + F_{Vsls} \quad (51)$$

$$F_{Vslm} = \frac{103\,005}{2} + 3 \cdot 9,81 \cdot \left(\frac{980}{2} + 200 \right) + 17\,658$$

$$F_{Vslm} = 89\,463,76 \text{ N}$$

Moment ve vetknutí od síly působící na sloup:

$$M_{VslFm} = F_{Vslm} \cdot Z_{VslF} \quad (52)$$

$$M_{VslFm} = 89\,463,76 \cdot 2\,260$$

$$M_{VslFm} = 202\,188\,098 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Moment ve vetknutí od vlastní tíhy:

$$M_{VslTm} = \frac{m_{Vsl} \cdot a_{PXm} \cdot g}{Z_{VslP}} \cdot \frac{Z_{VslP}^2}{2} \quad (53)$$

$$M_{VslTm} = \frac{353,56 \cdot 3 \cdot 9,81}{2\,500} \cdot \frac{2\,500^2}{2}$$

$$M_{VslTm} = 13\,006\,404,6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Celkový moment ve vetknutí:

$$M_{Vslm} = M_{VslFm} + M_{VslTm} \quad (54)$$

$$M_{Vslm} = 202\,188\,098 + 13\,006\,404,6$$

$$M_{Vslm} = 215\,194\,502 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Napětí ve vetknutí:

$$\sigma_{Vslm} = \frac{M_{Vslm}}{W_{Vsl}} \quad (55)$$

$$\sigma_{Vslm} = \frac{215\,194\,502}{1\,955\,546,26}$$

$$\sigma_{Vslm} = 110,04 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti:

$$k_{Vslm} = \frac{\sigma_{kt-Vsl}}{\sigma_{Vslm}} \quad (56)$$

$$k_{Vslm} = \frac{235}{110,04}$$

$$k_{Vslm} = 2,14$$

3.3.11 Počet přepravovaných vozidel

V této části bylo prověřeno, jestli by bylo vhodné přepravovat ve voze 8 nebo 10 palet s vozidly.

Teoretická délka modulu:

$$X_{Vmdteor} = \frac{X_{Vmax} - X_{Vsl} - 2 \cdot X_{VN}}{0,5 \cdot 8} \quad (57)$$

$$X_{Vmdteor} = \frac{27\,000 - 335 - 2 \cdot 650}{0,5 \cdot 8}$$

$$X_{Vmdteor} = 6\,341,25 \text{ mm}$$

Délka modulu pro případ 10 palet $X_{Vmdteor} = 5\,073 \text{ mm}$.

Teoretická délka přepravovaných vozidel:

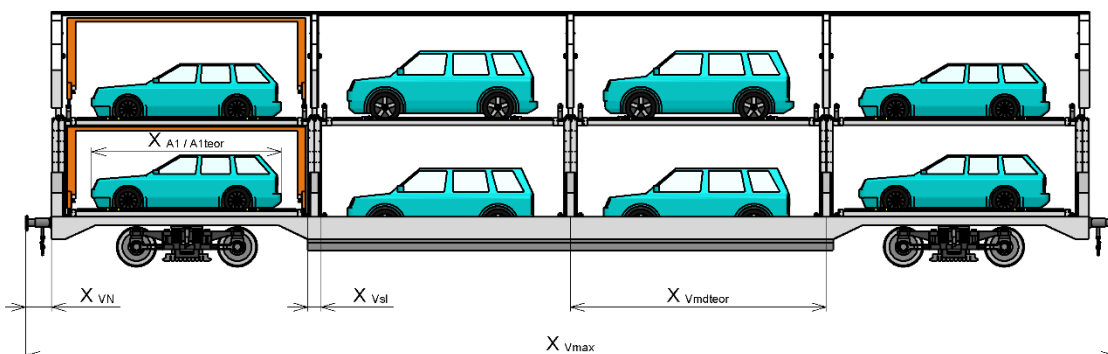
$$X_{A1teor} = X_{Vmdteor} - 2 \cdot (X_{M1} + X_{M2} + B_{M1} \cdot 2 + \frac{X_{Vsl}}{2}) \quad (58)$$

$$X_{A1teor} = 6\,341,25 - 2 \cdot (100 + 100 + 50 \cdot 2 + \frac{335}{2})$$

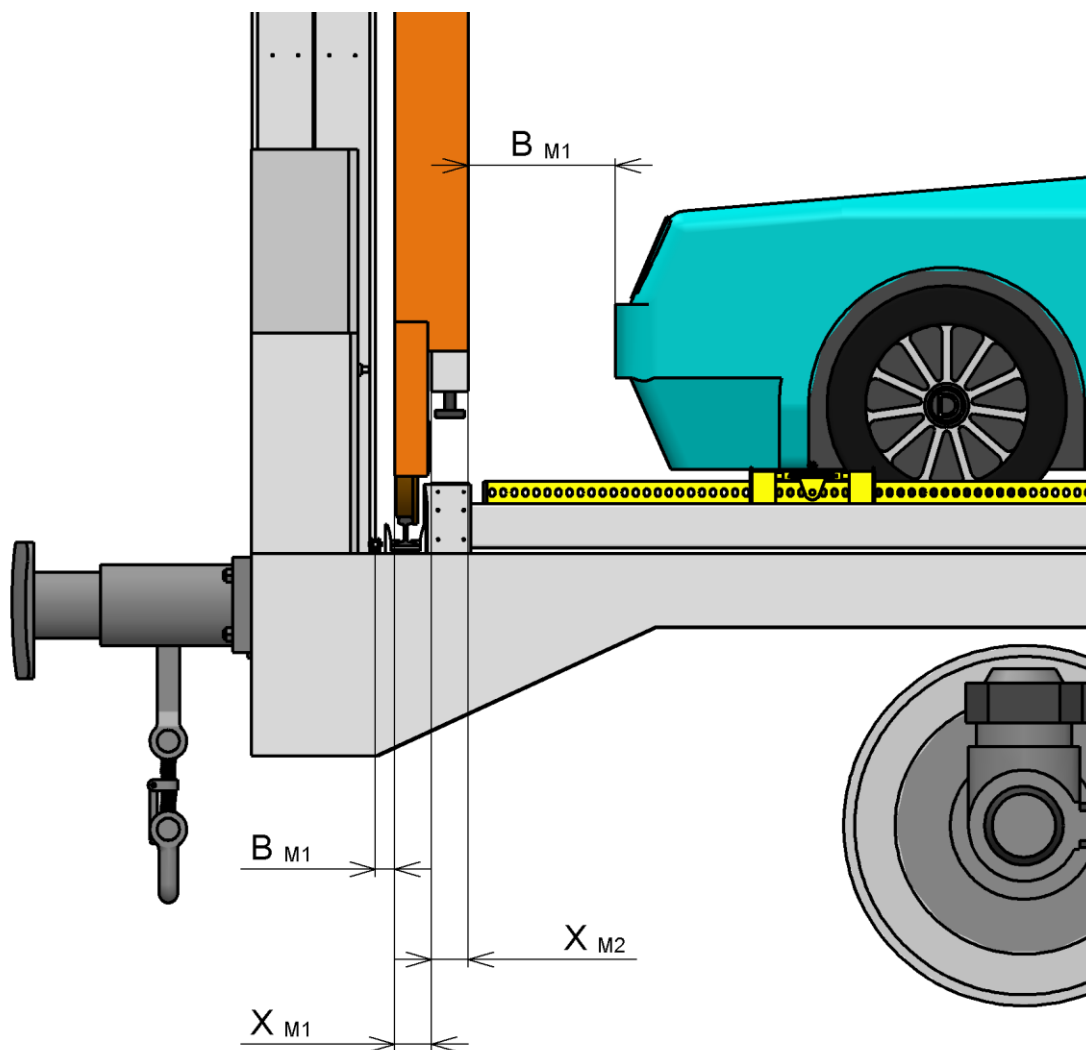
$$X_{A1teor} = 5\,406,25 \text{ mm}$$

Teoretická délka přepravovaných vozidel při variantě pro 10 palet $X_{A1teor} = 4\,138\text{ mm}$.

Vzhledem k požadované délce vozidel 5 400 mm byla zvolena varianta s 8 paletami.



Obrázek 75: Teoretická délka modulu a přepravovaných vozidel



Obrázek 76: Rozměry a bezpečnostní odstupy manipulátorů

3.3.12 Délka autovozu

Obdobným způsobem jako teoretická délka modulu byla spočtena i délka modulu pro přepravu automobilů délky 5 400 mm. Dále byla vypočtena odpovídající hodnota délky skříně vozu a délky vozu přes nárazníky. Tyto hodnoty poté byly upraveny na hodnoty uvedené v tabulce 18.

Rozměr	Veličina	Vypočtená hodnota	Zvolená hodnota
délka modulu	X_{VmdP}	6 335 mm	6 340 mm
délka skříně vozu	X_{VrvP}	25 675 mm	25 700 mm
délka vozu přes nárazníky	X_{VP}	26 975 mm	27 000 mm

Tabulka 18: Délka autovozu

3.3.13 Vzdálenost otočných čepů

V této části byla určena minimální a maximální vzdálenost otočných čepů z pohledu dispozičního řešení vozu. Výsledky jsou shrnuty v tabulce 19 níže.

Rozměr	Veličina	Hodnota
minimální vzdálenost otočných čepů	$X_{Včpmin}$	17 515 mm
maximální vzdálenost otočných čepů	$X_{Včpmax}$	21 200 mm
zvolená vzdálenost otočných čepů	$X_{Včp}$	19 000 mm

Tabulka 19: Vzdálenost otočných čepů

V této části byla také provedena kontrola vzdálenost nárazníků a otočných čepů (při velkých hodnotách by mohlo v provozu docházet ke komplikacím např. při přejezdu výhybek). Její hodnota je 4 000 mm, což je hodnota, která se na osobních vozech vyskytuje a problém by zde tedy být neměl [97].

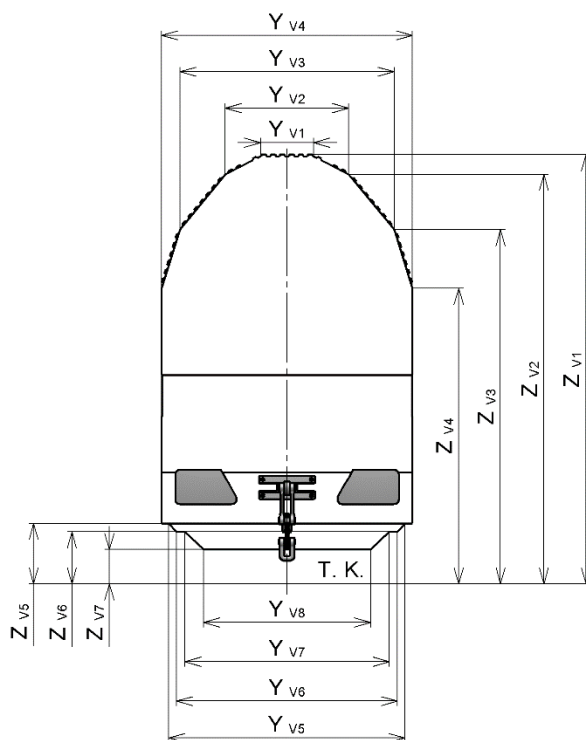
3.3.14 Konstrukční obrys

Výpočet konstrukčního obrysu byl proveden v Excelovém programu vytvořeném doc. Ing. Josefem Kolářem, CSc., který je přiložen jako příloha C. Vůz je tvarově optimalizován tak, aby byl schopen efektivně využívat konstrukční obrisy G2 i G1.

Rozměry středové části vozu jsou uvedeny v tabulce 20.

Rozměr	Veličina	Hodnota pro profil G2	Hodnota pro profil G1
šířka nahoře 1	Y_{V1}	580 mm	580 mm
šířka nahoře 2	Y_{V2}	1 350 mm	1 350 mm
šířka nahoře 3	Y_{V3}	2 340 mm	2 340 mm
šířka celková	Y_{V4}	2 700 mm	2 700 mm
šířka dole 4	Y_{V5}	2 550 mm	2 550 mm
šířka dole 3	Y_{V6}	2 380 mm	2 380 mm
šířka dole 2	Y_{V7}	2 200 mm	2 200 mm
šířka dole 1	Y_{V8}	1 800 mm	1 800 mm
výška celková	Z_{V1}	4 630 mm	4 630 mm
výška nahoře 1	Z_{V2}	4 430 mm	4 430 mm
výška nahoře 2	Z_{V3}	3 830 mm	3 830 mm
výška nahoře 3	Z_{V4}	3 250 mm	3 250 mm
výška dole 3	Z_{V5}	650 mm	650 mm
výška dole 2	Z_{V6}	560 mm	560 mm
výška dole 1	Z_{V7}	370 mm	370 mm

Tabulka 20: Konstrukční obrys



Obrázek 77: Konstrukční obrys

3.3.15 Předběžná výška sloupů zvedacích zařízení střechy

V této části byla vypočtena předběžná hodnota výšky části sloupů zvedacích zařízení střechy. Hodnota byla dále upřesněna v části 3.3.16, kde byla upřesněna velikost prostoru pro převodovku.

Maximální celková výška konstrukce (při vykládání):

$$Z_{VCmax} = Z_{Vrvp} + Z_{Vkm3} + Z_{T2} + Z_{M3} + B_{M2} + T_{Vst} \quad (59)$$

$$Z_{VCmax} = 1\,200 + 100 + 2\,700 + 2\,130 + 50 + 100$$

$$Z_{VCmax} = 6\,280 \text{ mm}$$

Požadovaný zdvih střechy:

$$L_{Vst} = Z_{VCmax} - Z_{VCmin} \quad (60)$$

$$L_{Vst} = 6\,280 - 4\,230$$

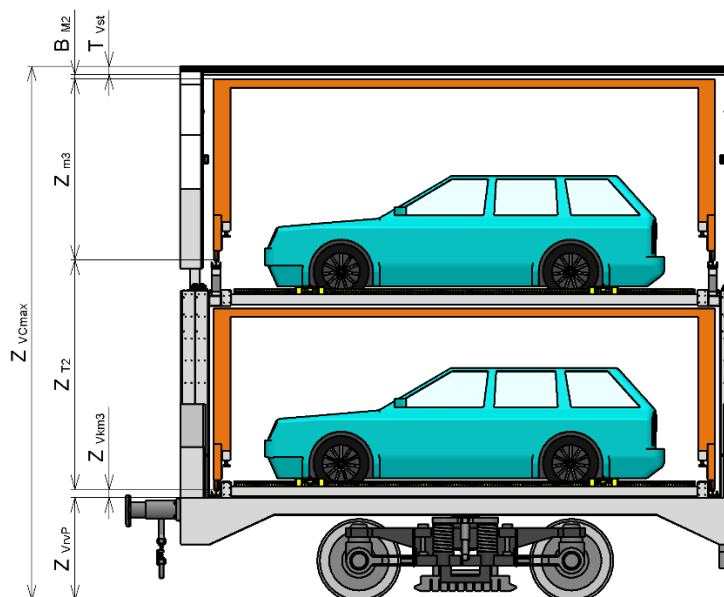
$$L_{Vst} = 2\,050 \text{ mm}$$

Předběžná výška sloupů zvedacích zařízení dle střechy:

$$Z_{VslST} = L_{Vst} + Z_{Vzr1} + Z_{VslK} + Z_{VslR} \quad (61)$$

$$Z_{VslST} = 2\,050 + 240 + 100 + 150$$

$$Z_{VslST} = 2\,540 \text{ mm}$$



Obrázek 78: Maximální výška konstrukce

3.3.16 Rozměry pohonů střechy

Metodika výpočtu byla stejná jako v části 3.3.9 zabývající se rozměry pohonů palet. Pro manipulaci se střechou byla zvolena zesílená převodovka TSE 25 s pohybovým šroubem Tr 40x7. Pro zvolenou zdvižnou převodovku je postačující prostor vysoký 110 mm, což je oproti původní hodnotě o 40 mm méně. Výška části sloupů zvedacích zařízení pro zdvih střechy je tedy 2 500 mm, což je stejná hodnota, jako je potřeba pro zvedací zařízení palet. Vypočtené hodnoty pro pohony střechy jsou uvedeny v tabulce 21, další hodnoty jsou v příloze B.

Rozměr	Veličina	Hodnota
osová tlaková síla	$O_{V\dot{s}s}$	7 651,80 N
střední průměr závitu	$d'_{2-V\dot{s}s}$	15,61 mm
úhel stoupání	$\beta_{V\dot{s}s}$	14,97°
úhel boku profilu – normálový	$\gamma_{V\dot{s}s}$	3,49°
třecí úhel	$\varphi'_{V\dot{s}s}$	7,66°
předběžná výška matice	$h_{V\dot{s}sP}$	73 mm
konstrukční počet závitů	$Z_{V\dot{s}s}$	10,43
kontrola otláčení závitů – kontaktní tlak	$p_{V\dot{s}s}$	2,12 MPa
kontrola dříku šroubu – napětí v tlaku	$\sigma_{V\dot{s}sD}$	9,52 MPa
kontrola dříku šroubu – napětí v krutu	$\tau_{V\dot{s}s}$	4,28 MPa
kontrola dříku šroubu – redukované napětí	$\sigma_{V\dot{s}sred}$	12,06 MPa
kontrola dříku šroubu – koeficient bezpečnosti	$k_{V\dot{s}s}$	24,45
kontrola vzpěru – poloměr setrvačnosti	$i_{x-V\dot{s}s}$	8 mm
kontrola vzpěru – výpočtová vzpěrná délka šroubu	$L_{v-V\dot{s}s}$	1 732,4 mm
kontrola vzpěru – štíhlostní poměr	$\lambda_{V\dot{s}s}$	216,55
kontrola vzpěru – kritické napětí	$\sigma_{E-V\dot{s}s}$	44,20 MPa
kontrola vzpěru – koeficient bezpečnosti	$k_{v-V\dot{s}s}$	4,64
kinematika – rychlost zdvihu	$u_{V\dot{s}sS}$	16,67 mm·min ⁻¹
kinematika – otáčky šroubu	$n_{V\dot{s}s}$	142,86 min ⁻¹
kinematika – otáčky vstupní hřídele	$n_{V\dot{s}sHR}$	1 000 min ⁻¹
energetické poměry – výkon motoru	$P_{w-V\dot{s}sMR}$	7 403,99 W
energetické poměry – moment motoru	$M_{V\dot{s}sMR}$	70,70 N·m

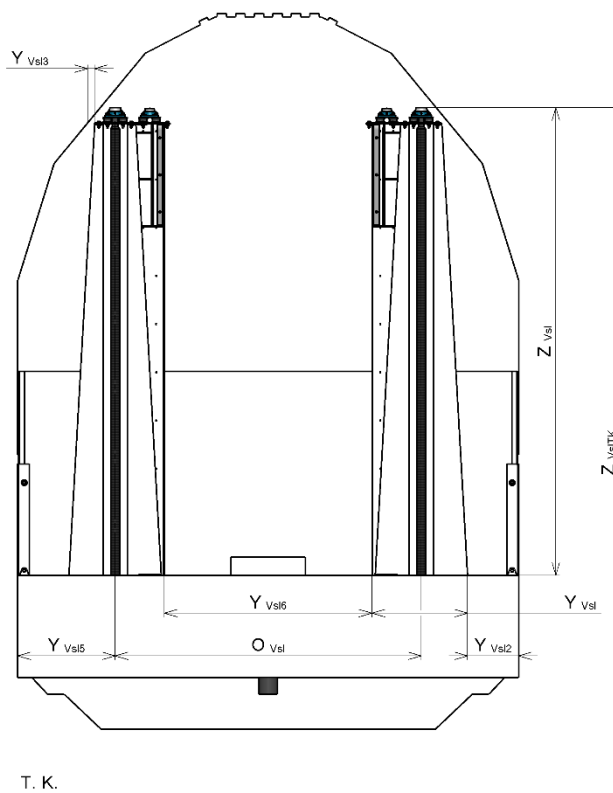
Tabulka 21: Rozměry pohonů střechy

3.3.17 Příčné umístění sloupů zvedacích zařízení

Sloupy zvedacích zařízení byly umístěny co nejbližěji k okrajům vozu, aby bylo omezeno kroucení konstrukce vozu a ohybové namáhání zvedacích přepravních rámpů. Popis příčné polohy sloupů je uveden v tabulce 22.

Rozměr	Veličina	Hodnoty pro profil G1
šířka sloupu zvedacích zařízení ve vetknutí	Y_{Vsl}	515 mm
vzdálenost spodní hrany okraje sloupu od okraje vozu	Y_{Vsl2}	276 mm
vzdálenost horní hrany okraje sloupu od okraje vozu	Y_{Vsl3}	11,25 mm
vzdálenost os šroubů pohonů palet od kraje vozu	Y_{Vsl5}	525 mm
volná šířka mezi sloupy zvedacích zařízení	Y_{Vsl6}	1 118 mm
vzdálenost os šroubů zvedacích zařízení palet	O_{Vsl}	1 650 mm
výška sloupů zvedacích zařízení	Z_{Vsl}	2 500 mm
výška sl. zvedacích zařízení nad temenem kolejnice	Z_{VslTK}	3 700 mm

Tabulka 22: Příčné umístění sloupů zvedacích zařízení



Obrázek 79: Příčné umístění sloupů zvedacích zařízení

3.3.18 Dimenzování nosných částí zvedacích přepravních rámu

Po určení příčného umístění sloupů zvedacích zařízení bylo možné nadimenzovat nosnou část zvedacích přepravních rámu a ověřit tak původní předpokládanou hmotnost. Příčný spojovací čtvercový profil byl dimenzován na svislý a podélný ohyb. Připojovací svařovaný profil, který připojuje příčný profil k jezdcí, byl dimenzován na tlak a svislý ohyb. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 23, další údaje jsou v příloze B.

Rozměr	Veličina	Hodnota
délka obdélníkového profilu	Y_{VzrPR}	2 064 mm
výška obdélníkového profilu	Z_{VzrPR}	120 mm
šířka obdélníkového profilu	X_{VzrPR}	120 mm
tloušťka stěny obdélníkového profilu	T_{VzrPR}	8 mm
kombinované provozní namáhání obdélníkového profilu	σ_{VzrK}	50,11 MPa
kom. provozní namáhání obdélníkového profilu – koeficient b.	k_{VzrK}	3,09
kombinované mimořádné namáhání obdélníkového profilu	σ_{VzrKm}	203,02 MPa
kom. mimořádné namáhání obdélníkového profilu – koeficient b.	k_{VzrKm}	1,16
délka svařovaného I profilu	X_{VzrPI}	165 mm
šířka svařovaného I profilu	Y_{VzrPI}	110 mm
tloušťka horizontálních plechů svařovaného I profilu	T_{VzrPIH}	8 mm
výška svařovaného I profilu	Z_{VzrPI}	110 mm
tloušťka vertikálního plechu svařovaného I profilu	T_{VzrPIV}	8 mm
kombinované provozní namáhání svařovaného I profilu	σ_{VzrIK}	23,07 MPa
kom. provozní namáhání svařovaného I profilu – koeficient b.	k_{VzrIK}	6,71
kombinované mimořádné namáhání svařovaného I profilu	σ_{VzrIKm}	110,88 MPa
kom. mimořádné namáhání svařovaného I profilu – koeficient b.	k_{VzrIKm}	2,12
hmotnost zvedacího přepravního rámu dle softwaru Solidworks	m_{VzrS}	199,86 kg

Tabulka 23: Dimenzování nosných částí zvedacích přepravních rámu

3.3.19 Dostupná výška pro převážená vozidla

Uvedené výpočty jsou pro provozní režim na infrastruktuře s profilem G2, hodnoty pro profil G1 jsou uvedeny vždy pod výpočtem.

Teoretická maximální dostupná výška nad podvozky:

$$Z_{APteor} = Z_{V1} - Z_{VUP} - T_{Vst} - 2 \cdot B_{A2} - 2 \cdot (Z_{Pp} - Z_{P1}) \quad (62)$$

$$Z_{APteor} = 4\,630 - 1\,220 - 100 - 2 \cdot 80 - 2 \cdot (120 - 60)$$

$$Z_{APteor} = 3\,030 \text{ mm}$$

Pro profil G1 $Z_{APteor} = 2\,630 \text{ mm}$.

Teoretická maximální dostupná výška uprostřed:

$$Z_{ASteor} = Z_{V1} - Z_{VUS} - T_{Vst} - 2 \cdot B_{A2} - 2 \cdot (Z_{Pp} - Z_{P1}) \quad (63)$$

$$Z_{ASteor} = 4\,630 - 580 - 100 - 2 \cdot 80 - 2 \cdot (120 - 60)$$

$$Z_{ASteor} = 3\,670 \text{ mm}$$

Pro profil G1 $Z_{ASteor} = 3\,270 \text{ mm}$.

Ve výpočtech je nutné zohlednit zužující se profil v horní části, protože kvůli tomu není možné plně využít teoretickou maximální dostupnou výšku. Maximální výška převážených vozidel je tedy závislá na šířce jejich střech. Pro výpočet maximální výšky pro vozidla se střechou dané šířky je nutné zjistit výšku střechy autovozy na krajních body střechy a od té odečítat bezpečnostní odstupy a další hodnoty. Výpočty jsou ukázány na příkladu vozidla s šířkou střechy 1 350 mm, hodnoty pro další vozidla jsou v tabulce 24 (hodnoty byly zaokrouhleny na desítky milimetrů).

Maximální dostupná výška nad podvozky pro vozidla s šířkou střechy 1 350 mm:

$$Z_{AP} = Z_{Aroz} - Z_{VUP} - T_{VstPŠ} - 2 \cdot B_{A2} - 2 \cdot (Z_{Pp} - Z_{P1}) \quad (64)$$

$$Z_{AP} = 4\,430 - 1\,220 - 30 - 2 \cdot 80 - 2 \cdot (120 - 60)$$

$$Z_{AP} = 2\,900 \text{ mm}$$

Pro profil G1 $Z_{AP} = 2\,500 \text{ mm}$.

Maximální dostupná výška uprostřed pro vozidla s šířkou střechy 1 350 mm:

$$Z_{AS} = Z_{Aroz} - Z_{VUS} - T_{VstPš} - 2 \cdot B_{A2} - 2 \cdot (Z_{Pp} - Z_{P1}) \quad (65)$$

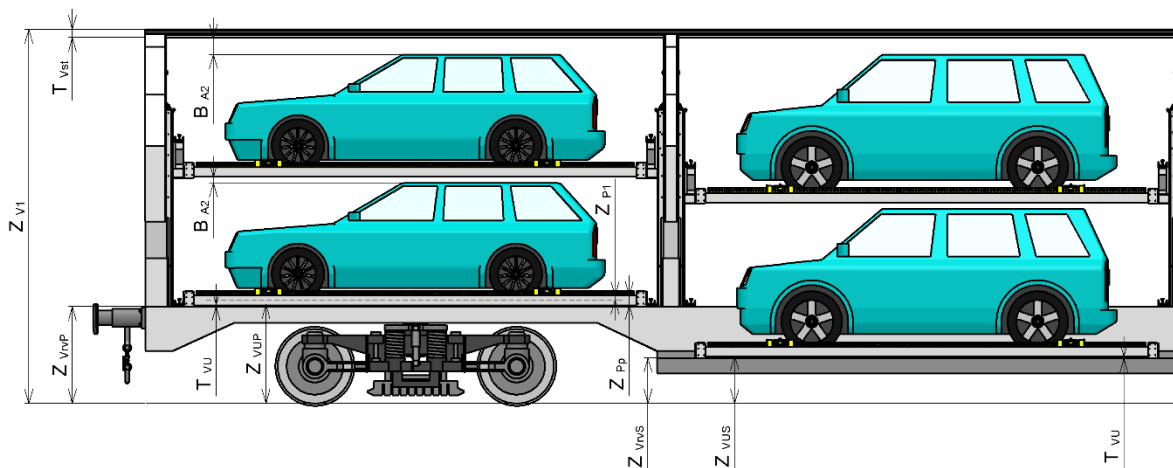
$$Z_{AS} = 4\,430 - 580 - 30 - 2 \cdot 80 - 2 \cdot (120 - 60)$$

$$Z_{AS} = 3\,540 \text{ mm}$$

Pro profil G1 $Z_{AS} = 2\,900 \text{ mm}$.

Šířka střechy		1 350 mm		1 450 mm		1 550 mm	
Profil		G2	G1	G2	G1	G2	G1
Výška nad podvozkem	Z_{AP}	2 900	2 500	2 840	2 440	2 780	2 380
Výška uprostřed	Z_{AS}	3 540	3 140	3 480	3 080	3 420	3 020

Tabulka 24: Dostupná výška pro převážená vozidla



Obrázek 80: Dostupná výška pro převážená vozidla

Závěr

Cílem práce bylo navrhnout železniční nákladní vůz pro přepravu automobilů, primárně určený pro dálkové autovlaky. Vůz se vyznačuje boční automatizovanou nakládkou vozidel, která jsou přepravována na speciálních přepravních paletách.

V první části práce byla provedena rešerše technologií přepravy osobních automobilů po železnici, a to jak v současné době používaných, tak dosud nezrealizovaných nebo již opuštěných, s nastíněním dalšího možného vývoje.

Druhá část práce se zabývá popisem vlastního navrhovaného systému, s důrazem na železniční nákladní vůz. Systém byl dekomponován na jednotlivé funkční celky a v případě vozu i podcelky, které byly detailněji popsány.

Třetí část práce je věnována technickým aspektům navrhovaného systému. Tato část se zabývá převážně výpočty potřebnými pro návrh nákladního vozu a přepravní palety, jsou v ní však popsána i některá konstrukční omezení a její součástí je i analýza automobilového trhu s důrazem na rozměry vozidel.

V práci se podařilo navrhnout koncept vozu, který splňuje technologické požadavky z pohledu nakládky a vykládky vozidel, za očekávání však zůstala dostupná výška pro vozidla. Oproti stávajícím vozům došlo jen k poměrně malému snížení nivelity spodní ložné plochy uprostřed vozu a nad podvozky jsou auta přepravována oproti stávajícím vozům dokonce o něco výše. Dva stejné automobily, které by bylo možné přepravovat nad podvozky nad sebou (v profilu G2), by musely být vysoké nevíce než 1 450 mm, což je ovšem dle analýzy automobilových prodejů hodnota, do které se vejde pouze kolem 25 % prodávaných nových vozidel.

Za jeden z důvodů lze považovat šířku palety, která je o téměř 400 mm širší než většina automobilů na trhu. Kvůli tomu její polohu začne poměrně brzy limitovat spodní linie konstrukčního obrysu. Navíc je paleta takto široká i 60 mm pod úroveň pojezdných ploch. Zde by tedy bylo vhodné do budoucna zvážit konstrukční úpravy, spočívající například v přechodu od čtvercových normovaných profilů k optimalizovanému svařenci z plechů. Otázkou také zůstává, jestli by nebylo vhodné používat na voze více typů palet – jiné pro horní podlaží a jiné pro spodní podlaží nad podvozky a uprostřed vozu. U části nad podvozky by pak bylo vhodné zvážit i optimalizaci samotného hlavního rámu vozu, která by umožnila snížení nivelity palet.

Dalším směrem budoucího vývoje by měla být snaha o snížení hmotnosti vozu a přepravních palet. Zde se nabízí již zmíněná optimalizace palety, spočívající v přechodu k plechovému svařenci. Další možností může být například použití jiných materiálů. Na samotném nákladním voze jsou pak sloupy zvedacích zařízení namáhány na ohyb, do budoucna by tedy bylo vhodné detailněji prověřit možnost jejich propojení v horní části.

Na závěr je nutné zmínit, že úspěch systému dálkových autovlaků nezávisí jen na jeho technickém provedení, ale velkou mírou i na komfortu osobních vozů a poskytovaném servisu.

Zdroje

- [1] Laaers BA810 by BLG AutoRail. In: *YouTube* [online]. ©2019, 26. 6. 2014 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=T0gCZzj0BfQ>
- [2] *Operating instructions for the BLG wagons of type 800*. Mainz: BLG AutoRail, 2011.
- [3] Laaers 560. *Güterwagenkatalog* [online]. Duisburg: Deutsche Bahn, ©2016 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://gueterwagenkatalog.dbcargo.com/de/gueterwagenkatalog/wagengattungen/kfz-transport/detail/bauart/560/?tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedBranch%5D=&tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedProduktart%5D=&cHash=8ad34c92480eca0e8fea60d94b8e2c9d
- [4] Vozy na přepravu aut typ DDm 916. *Nákladní vozy ČSD/ČD* [online]. PAROSTROJ, 2018, 5. 5. 2007 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.parostroj.net/katalog/nv/clanky/Vozy_DDm/vozy_DDm.php3
- [5] *Car Carrying Wagon Hccmqqr*. Kockums Industrier.
- [6] *Nakládací směrnice UIC: Svazek 1* [online]. 3. Generální ředitelství ČD Cargo, a.s., Mezinárodní železniční unie, 2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.cdcargo.cz/documents/10179/247058/Nak1%C3%A1dac%C3%AD%20sm%C4%9Brnice+UIC_sv1.pdf/945b885b-8f40-4906-8db7-f3c1d9361b5e
- [7] *Laes* [online]. Poprad: Tatravagónka a.s. Poprad, 2016 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://tatravagonka.sk/file/2016/06/laes.pdf>
- [8] Laes 559. *Güterwagenkatalog* [online]. Duisburg: Deutsche Bahn, ©2016 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://gueterwagenkatalog.dbcargo.com/en/gueterwagenkatalog/wagengattungen/kfz-transport/detail/bauart/559/?tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedBranch%5D=&tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedProduktart%5D=&cHash=7a130be879af1f244b82fbba80c20226

- [9] Löpverk under snabba godsvagnar. *Tydal* [online]. Thomas Tydal, ©1999-2014, 3. 7. 2007 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.tydal.nu/postvagnen/774967.htm>
- [10] Hccrrs. *Tatravagónka a.s.* [online]. Poprad: Tatravagónka a.s. Poprad, ©2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://tatravagonka.sk/wagons/hccrrs/>
- [11] Hccrrs 328. *Güterwagenkatalog* [online]. Duisburg: Deutsche Bahn, ©2016 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://gueterwagenkatalog.dbcargo.com/en/gueterwagenkatalog/wagengattungen/kfz-transport/detail/bauart/328/?tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedBranch%5D=&tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedProduktart%5D=&cHash=86cf212cc10a3025c3a8d5138cb288c1
- [12] Nákup ÖBB (vozy řady DDm). *Alan Butschek: Železniční zajímavosti* [online]. Alan Butschek, 2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: http://www.alanbutschek.cz/rady/rada_dd.php
- [13] ČSN EN 1493. *Zvedáky vozidel*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [14] MDDm 911 / 912. In: *Wagen – Das Archiv der deutschen Reisezug - und Güterwagen: Reisezugwagen*. GeraNova, 2000.
- [15] Car on a train journey. In: *Euscreen* [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://euscreen.eu/item.html?id=EUS_416ED8A51B0F432D904E98EA534AB46A
- [16] DB Autoreisezug Narbonne mit Alpina B10 4.6 Touring Teil 2. In: *YouTube* [online]. ©2019, 25. 10. 2011 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=AZjljaovDeA>
- [17] Geschlossener Doppelstock-Autoreisezugwagen. In: *Deutsches Eisenbahn Archiv - Beiträge zur deutschen Eisenbahngeschichte: Kapitel 3 Lokomotiven und Wagen*. Braunschweig: Archiv Verlag, 80. léta, 03.529.
- [18] *Roller pallet system for loading vehicles on a train*. 1985. USA. US4543027 (A). Uděleno 11. 10. 1983. Zapsáno 24. 9. 1985.

- [19] *System for loading and unloading motor vehicles and loads onto and from a rail vehicle*. 1987. Německo. DE3616484 (A1). Uděleno 15. 5. 1986. Zapsáno 19. 11. 1987.
- [20] Elektromobily v ČR – srovnání dojezdu. In: *AutoECO.cz* [online]. Praha: OR MEDIA, ©2019, 7. 12. 2017 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.autoeco.cz/elektromobily/2017/12/07/elektromobily-v-cr-srovnani-dojezdu/>
- [21] Pressemitteilung. In: *Rinspeed AG: 2010 / Rinspeed UC?* [online]. Zumikon (Schweiz): Rinspeed, 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.rinspeed.eu/upload/conceptfiles/uc_text_de.pdf
- [22] Technische Daten. In: *Rinspeed AG: 2010 / Rinspeed UC?* [online]. Zumikon (Schweiz): Rinspeed, 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.rinspeed.eu/upload/conceptfiles/uc_daten.pdf
- [23] Technické údaje. In: *Smart* [online]. Daimler, 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.smart.com/cz/cs/index/smart-fortwo-453/technical-data.html>
- [24] Aixam Mínavto Access. In: *Aixam* [online]. Aixam [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <http://www.aixam.cz/cs/minavto/access>
- [25] A look back in time: The GM/Southern Pacific Vert-A-Pac. In: *Railway Age* [online]. USA: Simmons-Boardman Publishing, 2018, 12. 5. 2013 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.railwayage.com/mechanical/freight-cars/a-look-back-in-time-the-gm-southern-pacific-vert-a-pac/>
- [26] EL-RAK: Exterior Loading Racking System. In: *Trans-Rak* [online]. United Kingdom: Trans-Rak, 2019© [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.trans-rak.com/products/el-rak/>
- [27] Nakládací směrnice. <https://www.cdcargo.cz/> [online]. Praha: © ČD Cargo, a.s, 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.cdcargo.cz/cs/nakladaci-smernice>
- [28] *Nakládací směrnice UIC: Svazek 2* [online]. 3. Generální ředitelství ČD Cargo, a.s., Mezinárodní železniční unie, 2019 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: https://www.cdcargo.cz/documents/10179/247058/Nakl%C3%A1dac%C3%AD+sm%C4%9Brnice+UIC_sv2.pdf/d965d89b-ca75-4c29-a2c8-1bac419a09ff

- [29] *Bedienungsanleitung 2x2achsige doppelstöckige Autotransportwageneinheit Bauart Laaers 560.1. 02.* Niesky: DB Waggonbau Niesky, 2012.
- [30] *Bedienungsanleitung für den BLG - Waggon der Bauart 700.* Mainz: BLG AutoRail, 2009.
- [31] *Open Car Carrier, Type L03A / BA810.* Leipzig: Greenbrier Germany.
- [32] Ceny za použití dráhy pro jízdu vlaku pro JŘ 2020. *SŽDC* [online]. Praha: SŽDC, ©2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z:
<https://provoz.szdc.cz/Portal/ViewArticle.aspx?oid=1686323>
- [33] ČAPKA, Miroslav. Evropské linky Ro-La. *Stránky Přátel Železnic* [online]. Praha: © SPŽ, 2019, 2003 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z:
<http://spz.logout.cz/provoz/rola2003.html>
- [34] *CARGO RAIL CARRIAGE FOR THE TRANSPORT OF ROAD VEHICLES.*
Evropská unie. EP3388303 (A1). Uděleno 11. 4. 2018.
- [35] Autovlakem pohodlně tam i zpět: Časné jitro v Popradu. In: *Portál hlavního města Prahy* [online]. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, ©2019, 21. 8. 2007 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z:
http://www.praha.eu/jnp/cz/doprava/vlakova/autovlakem_pohodlne_tam_i_zpet_1.html
- [36] Autotransportwagen Bauart 560 - Deutsche Bahn AG. In: *Yumpu* [online]. Switzerland, ©2019, 2013 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z:
<https://www.yumpu.com/de/document/view/42062300/autotransportwagen-bauart-560-deutsche-bahn-ag>
- [37] *Autotransportwagen Bauart 810.* Mainz: BLG AutoRail.
- [38] Hccrrs. In: *Tatravagonka Bratstvo* [online]. Srbija: Tatravagonka Bratstvo d.o.o. [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <http://www.tatravagonkabratstvo.rs/de/products-program/novogradnja/hccrrs/>
- [39] DDm 915: ddm.png. In: *Transport Fever* [online]. 2019 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.transportfever.net/index.php/Thread/4379-DDm-915/>

- [40] VAN DEN HEUVEL, Aat. Tauern treintunnel. In: *Salzburgwiki* [online]. 2018, 2010 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.sn.at/wiki/Datei:Tauern_treintunnel_-_panoramio.jpg
- [41] "Bilen med på togrejse". In: *Jernbanen* [online]. Dánsko: Jernbanen.dk, ©2019, 2013 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.jernbanen.dk/forum2/index.php?mode=thread&id=4871>
- [42] Taking the Komet to Chiasso. In: *Tapatalk* [online]. Tapatalk, ©2019, 2015 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.tapatalk.com/groups/germanrailfr/taking-the-komet-to-chiasso-t6227.html>
- [43] *Autotransportwagen Bauart 700*. Mainz: BLG AutoRail.
- [44] *Autotransportwagen Bauart 800*. Mainz: BLG AutoRail.
- [45] ARS Altmann-Gruppe Autotransportwaggon Laaers 5.837. In: *ARS Altmann AG AAutomobillogistik* [online]. 29. 8. 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.ars-althmann.de/wp-content/uploads/2018/10/Waggondatenblatt_ARSLaaers_5.837.pdf
- [46] *Části a mechanismy strojů I.: Převodový mechanismu se závitovou dvojicí*. 2014.
- [47] ARS Altmann-Gruppe Autotransportwaggon Hccrrs 5.860. In: *ARS Altmann AG AAutomobillogistik* [online]. 31. 1. 2018 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.ars-althmann.de/wp-content/uploads/2018/02/Datenblatt_ARSHccrrs5.860.pdf
- [48] Gepackwagen und Autotransport-wagen MDDum 56. In: *Tapatalk* [online]. Tapatalk, ©2019, 2014 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.tapatalk.com/groups/germanrailfr/gallery-of-classic-db-coaches-blue-green-red-tee-t5909-s30.html>
- [49] Zvláštní přepravní podmínky ČD pro autovlaky. In: *České dráhy* [online]. © České dráhy, a.s, 2016, 10. 12. 2017 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.cd.cz/assets/dalsi-sluzby/autovlak/destinace/zvlastni-prepravni-podminky-cd-pro-autovlaky_10_12_2017.pdf

- [50] Rinspeed UC? in Genf 2010. In: *AUTOBILD.DE* [online]. Axel Springer SE [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.autobild.de/bilder/rinspeed-uc-in-genf-2010-1025292.html#bild2>
- [51] Systém Vert-A-Pac vyvinula automobilka General Motors v 70. letech minulého století pro přepravu modelu Chevrolet Vega po železnici. In: *IDNES.cz* [online]. MAFRA, 2019, 24. 5. 2015 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/preprava-modelu-chevrolet-vega-po-zeleznici-v-minulem-stoleti.A150522_145026_automoto_hig/foto
- [52] *Kolová vozidla do hmotnosti 2800 kg na voze Laaers 560* [online]. In: . DB Cargo, 31. 3. 2016 [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjWiKbEkrXhAhWjyIUKHZ-LBAwQFjAAegQIAhAC&url=http%3A%2F%2Fhelpload.cdcargo.cz%2FShow.aspx%3Foid%3D1612&usg=AOvVaw1DBGwrkNRLqfXAnceFgJNa>
- [53] 209 VYHLÁŠKA ze dne 20. září 2018 o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel. *Trans Service Václav Mrštík DOPROVODY s. r. o.* [online]. doprovody.eu, 2012 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.doprovody.eu/index.php/cs/legislativa/59-rozmary-vozidel>
- [54] ČSN 28 0312. *OBRYSY PRO KOLEJOVÁ VOZIDLA S ROZCHODEM 1435 a 1520 mm*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1976.
- [55] First Class Bogies. *Siemens* [online]. © Siemens, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/mobility/global/SiteCollectionDocuments/en/rail-solutions/components-and-systems/bogies-catalog-en.pdf>
- [56] FLEXX Fit Bogies. *Bombardier* [online]. © Bombardier, 2019 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.bombardier.com/content/dam/Websites/bombardiercom/supporting-documents/BT/Bombardier-Transportation-Bogies-FLEXX-Fit.pdf>
- [57] Technické normy a sny o sjednocené Evropské železniční síti. *Koridory.cz* [online]. Koridory.cz, ©Copyright2006-2019, 18. 3. 2017 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z:

- <https://www.koridory.cz/technicke-normy-a-historie-sjednocene-evropske-zeleznicni-site/>
- [58] ČSN 73 6058. *Jednotlivé, řadové a hromadné garáže*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [59] ČSN EN 15011+A1. *Jeřáby - Mostové a portálové jeřáby*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [60] *EUR-Lex* [online]. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=celex:02006D0861-20130124.CES.xhtml.L_2006344CS.01014201.tif.jpg
- [61] Loading gauges for railway clearance G1 (International) and G2 (Germany). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Loading_gauge#/media/File:Lademas_s_EBO.png
- [62] *Focus2move* [online]. Focus2move.com, 2099 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://focus2move.com/>
- [63] *Pkw Neuzulassungen 2019, 2018, 2017, 2016 PKW Bestand 2019* [online]. [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.kfz-auskunft.de/kfz/zulassungen.html>
- [64] *Automobiledimension.com* [online]. automobiledimension.com, Copyright©2012-2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.automobiledimension.com/>
- [65] The Automobile Industry Pocket Guide 2018 - 2019. In: *ACEA* [online]. ACEA, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/publications/ACEA_Pocket_Guide_2018-2019.pdf
- [66] BMW 220i Gran Tourer – Pro sportování i rodinu. *Auto.cz* [online]. Copyright CZECH NEWS CENTER a.s, ©2001-2019, 26. 2. 2018 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/bmw-220i-gran-tourer-pro-sportovani-i-rodinu-113625>
- [67] Toyota Corolla (E170). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Corolla_\(E170\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_Corolla_(E170))

- [68] Lada Priora. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lada_Priora
- [69] Lada Kalina. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lada_Kalina
- [70] Lada Vesta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lada_Vesta
- [71] Lada Largus. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lada_Largus
- [72] Lada Granta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Lada_Granta
- [73] Hyundai Accent. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Hyundai_Accent
- [74] Hyundai Creta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Hyundai_Creta
- [75] Mercedes-Benz Sprinter. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://de.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_Sprinter
- [76] Volkswagen Transporter (T5). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Transporter_\(T5\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Volkswagen_Transporter_(T5))
- [77] Mercedes-Benz Viano. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_Viano

- [78] Mercedes-Benz E-Class (C207). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_E-Class_\(C207\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Mercedes-Benz_E-Class_(C207))
- [79] Renault MASTER. In: *Renault Česká republika* [online]. © Renault, 2019, 11. 10. 2016 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.renault.cz/content/dam/Renault/CZ/pdf/brochures/master-furgon-brochure.pdf>
- [80] DUCATO PŘEPRAVA OSOB. In: *Fiat Professional* [online]. FIAT CHRYSLER AUTOMOBILES ČR s.r.o, ©2015 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: https://www.fiatprofessional.cz/images/mod_catalog/pdf/1609_1_DUCATO_Preprava%20osob%20-%20technicky%20katalog%20CZ.pdf
- [81] The Caddy Life and Caddy Maxi Life. In: *CarAdvice* [online]. CarAdvice.com Pty Limited, Copyright 2006-2019 [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: https://s3.caradvice.com.au/wp-content/uploads/2010/12/CaddyLife_Specs_Dec_2010.pdf
- [82] Citroen Berlingo II Phase II 1.6 HDi (115 Hp) FAP Specs. In: *Auto-Data.net* [online]. [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/citroen-berlingo-ii-phase-ii-1.6-hdi-115hp-fap-18271>
- [83] Nosič kol na tažné z. SCORPION - pro 2 elektro/kola. In: *Auto Kelly* [online]. Auto Kelly, ©2018 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.autokelly.cz/Product/DO-CF145962E/12156808/39849642;38957087;38908720;40109475;40112016>
- [84] Nosič kol na tažné zařízení - pro 3 kola. In: *Auto Kelly* [online]. Auto Kelly, ©2018 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.autokelly.cz/Product/DO-CF105923EF/8433512/39849642;38957087;38908720;40109475;40112016>
- [85] Nosič kol na tažné zařízení CARWING 4 - pro 4 kola. In: *Auto Kelly* [online]. Auto Kelly, ©2018 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.autokelly.cz/Product/DO-CF185914EF/12431326/39849642;38957087;38908720;40109475;40112016>
- [86] Gold Wing GL1800. In: *Motocykly - Honda* [online]. Honda [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: https://www.honda.cz/motorcycles/range/touring/gold-wing/specifications.html#goldwing_tour_dct_airbag_2019

- [87] BLADE 1000i LT EVO EFI 4x4 EPS. In: *TGB* [online]. ASP Group, ©2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.tgbmotor.cz/ctyrkolky/blade-1000i-lt-evo-efi-4x4-eps>
- [88] Technická data pro City Pack. In: *Aixam* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.aixam.cz/cs/city/pack>
- [89] Ligier JS50. In: *Ligier* [online]. © Ligier.cz (Mopedcars s.r.o.), 2015 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.ligier.cz/cz/menu/x32-Ligier-JS50.htm>
- [90] Renault Twizy Technic. In: *Autonoto.cz* [online]. Autonoto, 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://autonoto.cz/katalog/detail/renault-twizy-technic>
- [91] Lamborghini Aventador Ground Clearance. In: *AUTOPORTAL* [online]. © Autoportal.com, 2019 [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://autoportal.com/newcars/lamborghini/aventador/feature/ground-clearance.html>
- [92] Zdvíhací převodovky Typ TSE I S rotujícím šroubem. In: *T.E.A. TECHNIC s.r.o.* [online]. © Teatechnik, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc%2FTSE_rotuj%20C3%ADc%20C3%AD.pdf&name=tse_rotujici.pdf
- [93] AM8064 | Servomotor 49 Nm (M0), F6 (142 mm). In: *BECKHOFF* [online]. 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/german/Einzelseiten/Antriebstechnik/am8064.pdf
- [94] AM8073 | Servomotor 72,6 Nm (M0), F7 (194 mm). In: *BECKHOFF* [online]. 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://download.beckhoff.com/download/Document/Catalog/Main_Catalog/german/Einzelseiten/Antriebstechnik/am8073.pdf
- [95] Kombinované rolny. In: *T.E.A. TECHNIC s.r.o.* [online]. © Teatechnik, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc%2FKombinovan%20C3%A9_rolny.pdf&name=kombinovane_rolny.pdf

- [96] Kuželové převodovky Typ BG | Přehled. In: *T.E.A. TECHNIC s.r.o.* [online]. © Teatechnik, 2019 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z:
<https://www.teatechnik.cz/download.php?file=doc%2FBG.pdf&name=bg.pdf>
- [97] © PD. 51 56 05-70 517-4. In: *VagonWEB* [online]. [cit. 2019-09-09]. Dostupné z:
<https://www.vagonweb.cz/fotogalerie/foto/200801/Bcmh517-2.jpg>

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Čelní nakládka pomocí výškově stavitelné jednopodlažní rampy [35]
- Obrázek 2: Nákladní vůz Laaers 560 [3]
- Obrázek 3: Nákladní vůz Laes 559 [8]
- Obrázek 4: Nákladní vůz Hccrrs [38]
- Obrázek 5: Nákladní vůz DDm⁹¹⁵ [39]
- Obrázek 6: Jednopodlažní vozy na kyvadlovém autovlaku Autoschleuse Tauernbahn [40]
- Obrázek 7: Nakládání vozidel do vozu DPw4ümg 1 [42]
- Obrázek 8: Nakládání vozidel do vozu DPw4ümg 2 [42]
- Obrázek 9: Nákladní vůz DPw4ümg [41]
- Obrázek 10: Systém popsáný v patentu US4543027A 1 [18]
- Obrázek 11: Systém popsáný v patentu US4543027A 2 [18]
- Obrázek 12: Systém popsáný v patentu DE3616484A1 [19]
- Obrázek 13: Koncept Rinspeed UC? [50]
- Obrázek 14: Systém Vert-A-Pac [51]
- Obrázek 15: Přeprava aut v kontejnerech pomocí systému EL-RAK 1 [26]
- Obrázek 16: Přeprava aut v kontejnerech pomocí systému EL-RAK 2 [26]
- Obrázek 17: Běžná zarážka na voze DDm
- Obrázek 18: Vak pro auta s nízkým podvozkem
- Obrázek 19: Zarážka autovoze Laaers 560 v jistící poloze [29]
- Obrázek 20: Zarážka autovoze Laaers 560 v poloze nejistící [29]
- Obrázek 21: Zarážka autovoze Laaers 700 v jistící poloze [30]
- Obrázek 22: 3D model zarážky autovoze Laaers 700 [31]
- Obrázek 23: Nákladní vůz popsáný v patentové přihlášce EP3388303A1 [34]

- Obrázek 24: Umístění přepravovaných vozidel v autovoze
- Obrázek 25: Navrhovaný systém (vůz v přepravní konfiguraci)
- Obrázek 26: Navrhovaný systém rozdělený na subsystémy (vůz ve vykládací konfiguraci)
- Obrázek 27: Autovůz rozdělený na funkční celky
- Obrázek 28: Hlavní rám autovozu ve voze
- Obrázek 29: Hlavní rám autovozu
- Obrázek 30: Zvedací zařízení ve voze
- Obrázek 31: Zvedací zařízení
- Obrázek 32: Sloup zvedacích zařízení
- Obrázek 33: Pohon zvedacích zařízení palety
- Obrázek 34: Pohon zvedacích zařízení střechy
- Obrázky 35: Zvedací přepravní rámy ve voze
- Obrázky 36: Zvedací přepravní rámy
- Obrázky 37: Spodní přepravní rámy ve voze
- Obrázky 38: Spodní přepravní rámy
- Obrázky 39: Střecha ve voze
- Obrázky 40: Střecha
- Obrázek 41: Nosná část střechy
- Obrázek 42: Střešní bočnice ve voze
- Obrázek 43: Střešní bočnice
- Obrázek 44: Bočnice ve voze
- Obrázek 45: Bočnice
- Obrázky 46: Podvozek ve voze
- Obrázky 47: Podvozek

- Obrázek 48: Paleta
- Obrázek 49: Přeprava automobilu na paletě
- Obrázek 50: Přeprava motocyklů na paletě
- Obrázek 51: Zarážka na paletě
- Obrázek 52: Terminál
- Obrázek 53: Manipulátor
- Obrázek 54: Maximální konstrukční obrys (shora) a jeho běžně využívaná část [60]
- Obrázek 55: Referenční konstrukční obrysy G1 a G2 (statické) [61]
- Obrázek 56: Bezpečnostní odstupy vozidel
- Obrázek 57: Bezpečnostní odstupy manipulátorů
- Obrázek 58: Bezpečnostní odstupy terminálu
- Obrázek 59: Rozměry vozidel
- Obrázek 60: Rozměry manipulátoru
- Obrázek 61: Rozměry palety
- Obrázek 62: Výpočtový model palety
- Obrázek 63: Svislé provozní namáhání palety
- Obrázek 64: Příčné provozní namáhání palety
- Obrázek 65: Klopný moment při podélném provozním namáhání
- Obrázek 66: Podélné provozní namáhání palety
- Obrázek 67: Podélné mimořádné namáhání palety
- Obrázek 68: Vykládací výška
- Obrázek 69: Výškové rozměry manipulátorů 1
- Obrázek 70: Výškové rozměry manipulátorů 2
- Obrázek 71: Výškové rozměry manipulátorů 3

Obrázek 72: Výška sloupů zvedacích zařízení dle palet 1

Obrázek 73: Výška sloupů zvedacích zařízení dle palet 2

Obrázek 74: Tvar sloupu zvedacích zařízení

Obrázek 75: Teoretická délka modulu a přepravovaných vozidel

Obrázek 76: Rozměry a bezpečnostní odstupy manipulátorů

Obrázek 77: Konstrukční obrys

Obrázek 78: Maximální výška konstrukce

Obrázek 79: Příčné umístění sloupů zvedacích zařízení

Obrázek 80: Dostupná výška pro převážená vozidla

Seznam tabulek

- Tabulka 1: Technické údaje vybraných autovozů
- Tabulka 2: Základní rozměry autovoze
- Tabulka 3: Výška přepravovaných vozidel v navrhovaném autovozu
- Tabulka 4: Hmotnosti navrhovaného autovoze
- Tabulka 5: Technické údaje podvozku [56]
- Tabulka 6: Délka nosičů jízdních kol na tažné zařízení
- Tabulka 7: Délka mikroaut
- Tabulka 8: Volná šířka
- Tabulka 9: Závislost rozměrů
- Tabulka 10: Bezpečnostní odstupy
- Tabulka 11: Rozměry vozidel
- Tabulka 12: Rozměry vozidel
- Tabulka 13: Rozměry palety
- Tabulka 14: Svislé provozní namáhání
- Tabulka 15: Příčné provozní namáhání
- Tabulka 16: Podélné provozní namáhání
- Tabulka 17: Podélné mimořádné namáhání
- Tabulka 18: Délka autovoze
- Tabulka 19: Vzdálenost otočných čepů
- Tabulka 20: Konstrukční obrys
- Tabulka 21: Rozměry pohonů střechy
- Tabulka 22: Příčné umístění sloupů zvedacích zařízení
- Tabulka 23: Dimenzování nosných částí zvedacích přepravních rámu
- Tabulka 24: Dostupná výška pro převážená vozidla

Seznam grafů

- Graf 1: Prodeje vozidel v EU podle segmentů [65]
- Graf 2: Délka modelů automobilů prodávaných v Evropě
- Graf 3: Délka nejprodávanějších nových vozidel v Německu
- Graf 4: Délka nejprodávanějších nových vozidel v Německu – trendy
- Graf 5: Šířka modelů automobilů prodávaných v Evropě
- Graf 6: Šířka nejprodávanějších nových vozidel v Německu
- Graf 7: Šířka nejprodávanějších nových vozidel v Německu – trendy
- Graf 8: Výška modelů automobilů prodávaných v Evropě
- Graf 9: Výška nejprodávanějších nových vozidel v Evropě
- Graf 10: Výška nejprodávanějších nových vozidel v Německu – trendy
- Graf 11: Výška nejprodávanějších nových vozidel typu SUV v Německu – trendy
- Graf 12: Výška vozidel v lyž. střed. Kitzsteinhorn podle země původu a příslušenství
- Graf 13: Závislost rozměrů

Seznam příloh

- Příloha A: Průzkum automobilového trhu
- Příloha B: Výpočtový soubor
- Příloha C: Konstrukční obrys
- Výkres D: Výkres nákladního vozu
- Výkres E: Výkres sloupu zvedacích zařízení
- Výkres F: Výkres palety
- Příloha G: Seznam veličin