



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

## DESIGN ZÁVĚSNÉ TRAMVAJE PRO MĚSTO BRNO

DESIGN OF SUSPENSION TRAM FOR THE CITY BRNO

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Kateřina Gálová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

BRNO 2024



# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav konstruování
Studentka:	<b>Bc. Kateřina Gálová</b>
Studijní program:	Průmyslový design ve strojírenství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	<b>doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.</b>
Akademický rok:	2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Design závěsné tramvaje pro město Brno

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Turistický ruch v Brně rok od roku stoupá, nicméně většina návštěvníků se soustředí pouze na centrální část města a převažují u nich jednodenní pobyty. Tato práce má za úkol představit designérskou koncepci závěsné tramvaje, která by mohla podpořit prodloužení turistických pobytů, podnítit návštěvníky k prozkoumání odlehlejších destinací a zvýšit celkovou atraktivitu města pro turisty.

Typ práce: vývojová – designérská

Výstup práce: aplikovaný výsledek (Fužit, Fprum, Gprot, Gfunk, R)

Projekt: specifický vysokoškolský výzkum

### Cíle diplomové práce:

Hlavním cílem této práce je vytvořit koncepční design závěsné tramvaje určené pro město Brno, která má za úkol obohatit dopravní možnosti pro turisty i pro obyvatele Brna.

Dílčí cíle diplomové práce:

- analyzovat současná závěsná vozidla,
- navrhnou originální design a technicky progresivní koncepci,
- zpracovat prostorový model navrženého designu.

Požadované výstupy: průvodní zpráva, sumarizační poster, technický poster, ergonomický poster, designérský poster, fotografie modelu, fyzický model.

Rozsah práce: cca 72 000 znaků (40 – 50 stran textu bez obrázků).

Časový plán, struktura práce a šablona průvodní zprávy jsou závazné:

<http://www.ustavkonstruovani.cz/texty/bakalarske-studium-ukoncení/>

### Seznam doporučené literatury:

DREYFUSS, Henry. Designing for people. New York: Allworth Press, 2003. ISBN 1581153120.

FIELL, Charlotte a Peter FIELL (eds.). Designing the 21st century: design des 21. Jahrhunderts Le design du 21 siècle. Köln: Taschen, c2001. ISBN 3-8228-5883-8.

LIDWELL, William. a Gerry. MANACSA. Deconstructing product design: exploring the form, function, usability, sustainability, and commercial success of 100 amazing products. Beverly, Mass.: Rockport Publishers, c2009. ISBN 1592533450.

NORMAN, Donald A. Emotional design: why we love (or hate) everyday things. New York: Basic Books, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

PELCL, Jiří. Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization. V Praze: Vysoká škola uměleckoprůmyslová v Praze, c2012. ISBN 978-80-86863-45-0.

THOMPSON, Rob. a Young Yun. KIM. Product and furniture design. New York: Thames & Hudson, 2011. Manufacturing guides. ISBN 0500289190.

KULA, Daniel, Elodie TERNAUX a Quentin HIRSINGER. c2012. Materiology: průvodce světem materiálů a technologií pro architekty a designéry. Praha: Happy Materials. ISBN 978-80-260-0538-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

S rostoucí hustotou městského provozu se automobilová doprava v centru měst stává nejen neefektivní, ale také přispívá k degradaci kvality ovzduší a ke zvyšování zdravotních rizik pro obyvatele. Hromadná doprava oproti tomu podporuje udržitelnou městskou mobilitu. Perspektivní oblastí pro rozvoj hromadné dopravy jsou v současnosti návrhy podzemních a nadzemních dopravních systémů. Nadzemní systémy, které nejsou omežovány dopravními zácpami a které vykazují minimální riziko nehod, mají kapacitu přepravit srovnatelné množství cestujících jako metro. Jejich konstrukce navíc nevyžaduje rozsáhlé zásahy do půdy na rozdíl od podzemních systémů. Proto byl pro tuto práci zvolen návrh konceptu závěsné tramvaje. Tento koncept nejenže nabízí atraktivní způsob přepravy, ale také může přilákat více rezidentů a turistů k využívání hromadné dopravy. Návrh se zaměřuje na integraci technických a ergonomických požadavků, čímž se snaží splnit současné potřeby moderní městské mobility.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Závěsná tramvaj, nadzemní dráha, hromadná doprava, design

## ABSTRACT

With increasing traffic density, automotive transportation in city centres is not only becoming inefficient, but also contributing to air pollution and health problems. In contrast, public transport promotes more sustainable urban mobility solution. A promising area for the development of public transport is currently the design of underground and above-ground systems. Overhead systems that are not constrained by congestion and that have a minimal risk of accidents can carry a comparable number of people as the metro. In addition, their construction does not require extensive ground excavation. Therefore, the design of a suspended monorail concept was chosen. This concept not only offers an attractive mode of transportation but also has the potential to attract more residents and tourists to use public transport. The design focuses on integrating technical and ergonomic requirements, thereby aiming to meet the current needs of modern urban mobility.

## KEYWORDS

Suspended tram, suspension monorail, public transport, design



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GÁLOVÁ, Kateřina. *Design závěsné tramvaje pro město Brno* [online]. Brno, 2024 [cit. 2024-05-23]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157688>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav konstruování. Vedoucí práce Ladislav Křenek.





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce doc. akad. soch. Ladislavu Křenkovi ArtD. za odborné vedení a cenné rady. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům DPMB panu Jaroslavu Homolovi a Jiřímu Černému za poskytnutí mnoha užitečných informací. Také bych chtěla poděkovat svému příteli, rodině a přátelům za trpělivost a podporu v průběhu celého dosavadního studia.

## PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod odborným vedením doc. akad. soch. Ladislava Křenka ArtD. Současně prohlašuji, že všechny zdroje obrazových a textových informací, ze kterých jsem čerpal, jsou řádně citovány v seznamu použitých zdrojů.

.....  
Podpis autora



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b>	<b>15</b>
2.1	Rešeršní metody	15
2.1.1	Kritéria pro výběr informačních zdrojů	15
2.1.2	Výběr relevantních informačních pramenů	15
2.1.3	Užité metody zpracování dat	16
2.1.4	Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů	17
2.2	Motivační analýza	17
2.2.1	Predikce trhu	20
2.3	Designérská analýza	21
2.3.1	Wuppertal Schwebebahn	21
2.3.2	Siemens H-Bahn Dortmund	24
2.3.3	SkyTrain Düsseldorf	26
2.3.4	The Optics Valley Photon	26
2.3.5	Chiba Urban Monorail	28
2.3.6	Dayi Air Rail	30
2.3.7	Strela Monorail	30
2.3.8	Supraways	31
2.3.9	Koncept přestavby Wuppertalské závěsné tramvaje	32
2.4	Ergonomická analýza	32
2.4.1	Skupiny cestujících dle účelu přepravy	33
2.4.2	Skupiny cestujících dle antropometrických údajů	34
2.4.3	Technická analýza	39
2.5	Shrnutí hlavních zjištění	46
2.6	Identifikace novosti a příležitostí	47
<b>3</b>	<b>CÍLE PRÁCE</b>	<b>48</b>
3.1	Vymezení problému	48
3.1.1	Název produktu a jeho klasifikace	48
3.1.2	Specifikace zákazníka	48
3.1.3	Specifikace spotřebitele	48
3.1.4	Specifikace uživatele	49
3.1.5	Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií	49

3.1.6	Vymezení atributů a cílů produktu	49
3.2	Cíl vývoje	51
3.2.1	Dílčí cíle	51
<b>4</b>	<b>KONCEPČNÍ NÁVRH</b>	<b>52</b>
4.1	Analýza cílů a specifikace omezení	52
4.2	Technická funkční analýza	53
4.2.1	Kapacita vozu	53
4.2.2	Zařízení	54
4.3	Návrh alternativních řešení	55
4.3.1	Varianta I	56
4.3.2	Varianta II	57
4.3.3	Varianta III	59
4.4	Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího	60
<b>5</b>	<b>PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH</b>	<b>63</b>
5.1	Určení tvaru	63
5.2	Určení rozměrů	64
5.3	Určení materiálů	65
5.4	Odhad výrobních nákladů a objemu výroby	65
<b>6</b>	<b>DETAILNÍ NÁVRH</b>	<b>68</b>
6.1	Tvarové řešení	68
6.1.1	Závěsná zařízení	69
6.1.2	Opláštění a okna	69
6.1.3	Odvětrávání	71
6.2	Konstrukční návrh	72
6.2.1	Základní rozměry	72
6.2.2	Uspořádání technického vybavení	73
6.2.3	Použité materiály a technologie výroby	75
6.3	Ergonomické řešení	76
6.3.1	Nástup, výstup	76
6.3.2	Směr pohybu ve voze	79
6.3.3	Typy míst k sezení	80
6.3.4	Stání	82
6.3.5	Bezbariérovost	83
6.3.6	Zóna s výhledem	87

6.3.7	Orientační prvky	89
6.4	Bezpečnost	91
6.5	Hygiena	94
6.6	Barevné a grafické řešení	96
6.6.1	Barevné varianty	96
6.6.2	Grafické řešení	98
6.7	Udržitelnost produktu	100
6.8	Hodnocení klíčových parametrů	101
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>103</b>
<b>8</b>	<b>VÝSLEDEK VÝZKUMU PODLE RIV</b>	<b>105</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b>	<b>106</b>
<b>10</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN</b>	<b>112</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ</b>	<b>113</b>
11.1	Seznam obrázků	113
11.2	Seznam grafů	116
<b>12</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>117</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b>	<b>118</b>

# 1 ÚVOD

Města v současnosti čelí řadě narůstajících výzev včetně dopravního přetížení, zvyšování emisí skleníkových plynů a omezených možností rozvoje tradiční infrastruktury. Tyto problémy vyvolávají stále větší poptávku po alternativních dopravních systémech, ať už nadzemních nebo podzemních, které by mohly nejen zmírnit dopravní zácpy a snížit emise, ale také efektivněji využívat omezený městský prostor. Vysoký počet automobilů využívaných pro každodenní přepravu představuje vážný problém pro životní prostředí i lidské zdraví. V hustě osídlených městských centrech se automobily stávají stále méně efektivními, zejména během dopravních špiček, jelikož způsobují dopravní zácpy a vyžadují rozsáhlé prostory pro parkování.

Naopak veřejná doprava se ukazuje jako jedna ze základních součástí udržitelné městské mobility vedle osobní nemotorové dopravy a chůze. Hromadná doprava poskytuje ve většině případů spolehlivý přístup k zaměstnání, vzdělání a službám, zatímco pomáhá snižovat dopravní zácpy, znečištění ovzduší a emise uhlíku. Ačkoliv je pozemní hromadná doprava nejčastěji využívaná, setkává se s řadou výzev. Může být negativně ovlivněna dopravními zácpami, nehodami nebo nepříznivými povětrnostními podmínkami. Kapacita a frekvence pozemní dopravy jsou omezené ve srovnání s podzemním nebo nadzemním systémem.

Nadzemní dráha se proto jeví jako výhodná alternativa k pozemní hromadné dopravě, neboť není omezena dopravními zácpami a vykazuje nižší nehodovost, přičemž její přepravní kapacita se může vyrovnat kapacitě metra. I přesto, že vybudování nadzemní konstrukce si vyžaduje určité investice, je tato forma výstavby výrazně méně nákladná a méně zasahující do půdy ve srovnání s výstavbou metra.

Závěsná tramvaj již v řadě zemí úspěšně funguje a je lákavým dopravním prostředkem pro rezidenty i turisty. Rezidentům může sloužit při denním i nepravidelném dojíždění a u turistů může přispět ke snazší orientaci ve městě a objevování památek i mimo centrum města, popřípadě i k delšímu pobytu díky snadné dostupnosti více míst k navštívení. Obě tyto skupiny mají své specifické potřeby, které je nutné u návrhu respektovat.

## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

### 2.1 Rešeršní metody

Tato kapitola je věnována systematické analýze literatury s cílem identifikovat relevantní zdroje a vytvořit přehlednou rešerši.

#### 2.1.1 Kritéria pro výběr informačních zdrojů

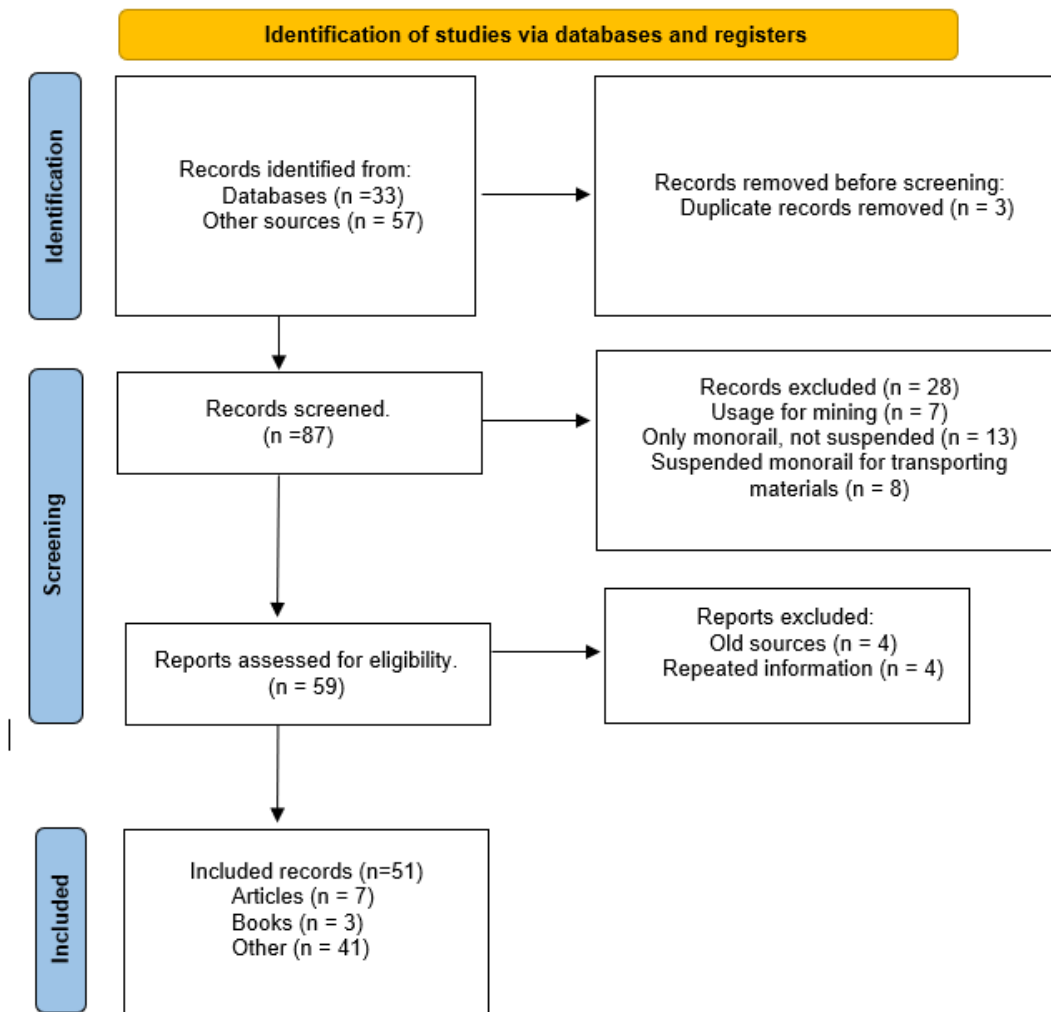
Nejprve bylo nutné identifikovat klíčová slova jako „závěsná tramvaj; suspended tram“, „nadzemní dráha; elevated railway“, „suspended monorail“, dle kterých následně proběhlo vyhledávání zdrojů. Hlavním vyhledávacím jazykem byla angličtina, sekundárním čeština a následně ve velké míře také němčina. Tento přístup umožnil širší záběr při vyhledávání zdrojů a zajištění přístupu k širokému spektru informací.

Primární zdroje informací tvořily odborné články, knihy a webové stránky výrobců, kde byly k dispozici technické specifikace a další relevantní údaje. Katalogy poskytly detailní pohled na konstrukční a technologické aspekty zkoumaných systémů. Normy a závěrečné práce přinesly ucelený pohled na legislativní a akademický kontext tématu. Uživatelské informace a konzultace s odborníky, zejména z Dopravního podniku města Brna, přidaly praktický pohled a zkušenosti z reálného provozu.

Pro další rozšíření zdrojů a jejich ověření byly využity sekundární informační zdroje, mezi které patřily bibliografické databáze jako SCOPUS, Google Scholar, Google Patents, VUT primo, Úřad průmyslového vlastnictví a ResearchGate. Tyto platformy umožnily přístup k široké škále dokumentů, včetně akademických publikací a vědeckých článků, což značně rozšířilo možnosti pro hluboký výzkum a analýzu v dané oblasti.

#### 2.1.2 Výběr relevantních informačních pramenů

Kritériem pro výběr zdrojů byla relevance k tématu a také rok vydání. Původních 90 zdrojů (bibliografické databáze: 33, jiné zdroje: 57) bylo zredukováno na výsledných 51 zdrojů. Důvodem k redukci byly duplicitní zdroje, totožné informace, závěsná zařízení pro jiné účely a staré zdroje viz prisma diagram.



Obr. 2. 1 Prisma diagram

### 2.1.3 Užití metody zpracování dat

Všechny použité informační zdroje byly organizovány v systému Mendeley, kde byly přidány buď prostřednictvím hypertextových odkazů nebo nahráním PDF souborů. Tyto zdroje jsou systematicky rozděleny do následujících tematických kolekcí:

- motivace, prostředí
- technické a ergonomické požadavky
- řešení současných vozů
- inovace
- omezení



## 2.1.4 Sumarizace počtu a druhu vybraných informačních zdrojů

Po provedeném vyhledávání byla získána sbírka informačních zdrojů, které byly uloženy v databázi Mendeley. Dominantními zdroji byly odborné články, které se ukázaly jako klíčové pro definování cílové skupiny a hlubší porozumění problematice spojené s využíváním. Dalšími významnými zdroji byly webové stránky výrobců, které poskytovaly informace nezbytné pro pochopení vnitřního uspořádání. Významnost odborných textů byla posuzována s ohledem na jejich relevanci pro téma diplomové práce a také podle metrik jako CiteScore a ImpactFactor. Přestože bylo identifikováno velké množství článků, po detailním prozkoumání byla řada z nich vyřazena z důvodu nekolidování s tématem práce.

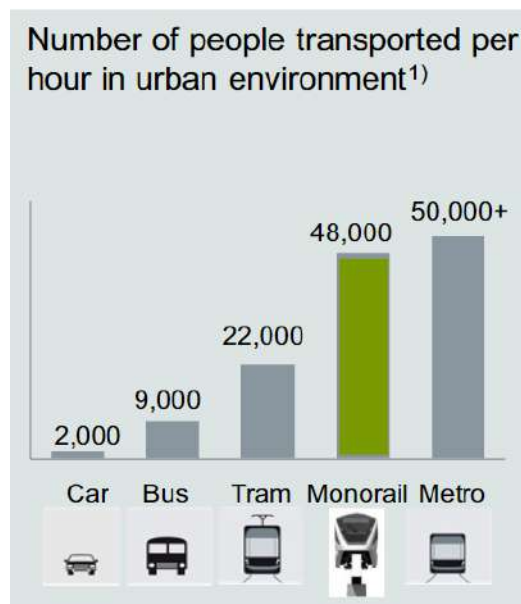
Většina zdrojů byla vydána mezi lety 2010–2023. Výjimku například tvoří knihy „Unsustainable Transport: City Transport in the New Century“ z roku 2005 [1] a „Wuppertal Schwebebahn Album: The Wuppertal Suspension Railway“ vydané roku 2007 [2].

## 2.2 Motivační analýza

V dnešní době čelí města rostoucím výzvám, mezi které patří dopravní přetížení, zvyšující se emise skleníkových plynů a omezený prostor pro rozvoj tradiční infrastruktury. Tyto problémy vyvolávají poptávku po alternativních nadzemních či podzemních dopravních systémech, jež nabízejí řešení nejen z hlediska snížení dopravních zácp a emisí, ale také z hlediska efektivnějšího využití městského prostoru. Faktory, které tuto potřebu podtrhují, zahrnují hustotu obyvatelstva, urbanizaci, hospodářský růst, snahu o efektivní využití půdy, geografii, topografii a narůstající turismus. [3]

Současný způsob osobní dopravy, zejména vysoké množství automobilů používaných pro denní přepravu osob, představuje významný problém pro životní prostředí i lidské zdraví. Automobily produkují emise, které zhoršují kvalitu ovzduší a vedou ke zdravotním problémům. [4] V centru měst jsou automobily často neefektivní, jelikož způsobují zácpy, zpomalují dopravu a vyžadují velké prostory pro parkování.

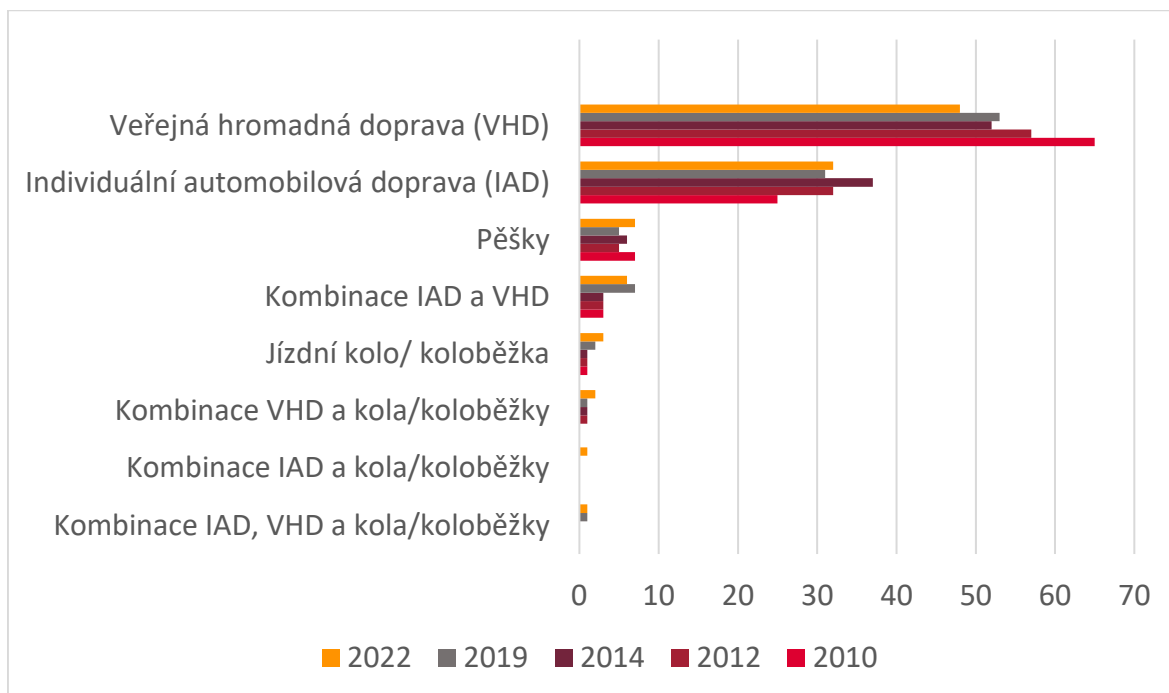
Oproti tomu veřejná doprava se ukazuje jako klíčová součást udržitelné městské mobility. Nabízí přístup do zaměstnání, ke vzdělání a službám, zatímco současně snižuje dopravní zácpy, znečištění ovzduší a emise uhlíku. [5] Nejvíce využívaná je pozemní hromadná doprava, která má i své nevýhody. Často může být ovlivněna dopravními zácpami, nehodami nebo špatnými povětrnostními podmínkami. Kapacita vozů a jejich rychlost je velmi omezená oproti podzemní či nadzemní dopravě.



Graf 2. 1 Porovnání množství přepravených osob různými typy MHD [6]

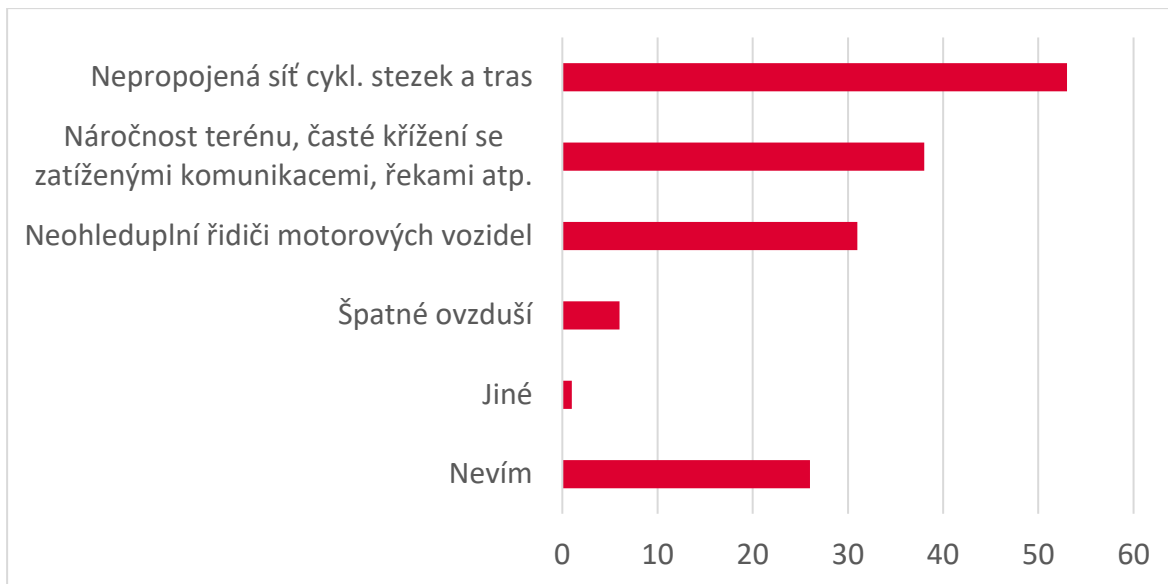
Za nejefektivnější v množství přepravených osob mohou být tedy považovány podzemní a nadzemní dopravní prostředky. Co se týče nákladů, výstavba monorail tratě pro závěsnou tramvaj ve Wuhanu, dokončená v roce 2023 stála 2,3 miliardy CNY (v přepočtu cca 8,04 miliard Kč). Linka je dlouhá 10,5 kilometru a má šest stanic. [7] Pro porovnání náklady na linku metra D v Praze o délce 10,6 km a 10 stanicích jsou odhadovány na 98 miliard Kč. [8] Z čehož plyne, že výstavba metra může být mnohonásobně nákladnější než výstavba trati závěsné tramvaje.

Navzdory výhodám veřejné hromadné dopravy (VHD) existuje klesající tendence využívání tohoto typu dopravy pro pravidelnou přepravu dle studie analyzující podíl jednotlivých typů dopravy v Brně pro pravidelnou dopravu do práce či školy viz graf 2.2. Což může být způsobeno mimo jiné nedostatečnou rychlostí nebo frekvencí spojů.



Graf 2. 2 Dělbá přepravní práce – kategorizace [9]

Mimo hromadnou dopravu existují i další možnosti udržitelné přepravy: osobní přeprava pěšky, na jízdním kole či koloběžce. Tyto možnosti jsou v Brně stále málo využívané při pravidelné cestě do školy či práce. Důvody k nevyužívání cyklistické dopravy po Brně jsou více analyzovány v grafu 2. 3. Jedním z hlavních omezení pro rozvoj infrastruktury pro cyklisty, včetně cyklopruhů, cyklostezek nebo kombinovaných chodníků s cyklostezkami, je nedostatek prostoru na většině městských ulic. Avšak při realizaci nadzemní dopravní infrastruktury se nabízí příležitost pro integraci cyklistických i pěších tras díky nahrazení pozemních tramvajových pásů.



Graf 2. 3 Bariéry využívání cyklistické přepravy v Brně [9]

Dalším tématem, kterým se město Brno zabývá, je rozvoj turistického ruchu, který má pro město zásadní význam. Kancelář marketingu a cestovního ruchu zmiňuje v Programu rozvoje cestovního ruchu města Brna 2021–2025, že chybí jasné napojení na okolí Brna a soulad s aktivitami jižní Moravy. Mezi hlavními cíli v následujících letech je také zvýšení návštěvnosti o 25 % a motivace návštěvníků zůstat v Brně delší dobu. [10] Závěsná tramvaj by mohla být jedním z kroků k řešení tohoto problému tím, že by poskytovala rychlý a atraktivní způsob dopravy mezi různými částmi města a zvýšila by koordinaci mezi centrem a periferiemi. Efektivní a rychlá hromadná doprava by mohla návštěvníky motivovat k delšímu pobytu, popřípadě pravidelným návratům.

### 2.2.1 Predikce trhu

Analýza trhu pro nadzemní monorail systémy odhaluje, že stojí na prahu významného rozvoje, poháněného nejen potřebami rychle se urbanizujících oblastí, ale také technologickým pokrokem a potenciálem pro efektivnější městskou dopravu. Studie v tomto odvětví poukazují na to, že závěsné monorail systémy nabízejí jedinečné výhody v porovnání s tradičními formami městské hromadné dopravy, jako jsou tramvaje, autobusy a metro, a to zejména z hlediska technologie, nákladů a přepravní kapacity. [11]

Zároveň bezpečnostní hodnocení zdůrazňují potenciál nadzemních monorail systémů ve zmírnění dopravního tlaku a prevenci nehod. Tyto aspekty jsou zásadní pro zajištění bezpečné a spolehlivé dopravy v hustě osídlených městských oblastech. Výzkumy v Číně poukazují na význam těchto systémů pro budoucí rozvoj a ukazují na nezbytnost systematického výzkumu a inovací v tomto odvětví. [12] Tyto poznatky podtrhují potenciál závěsných monorail tramvají jako klíčového prvku v překonávání dopravních výzev současných i budoucích měst, zejména v oblastech s omezeným prostorem pro rozšíření stávající dopravní infrastruktury.

## 2.3 Designérská analýza

Designérská analýza se zaměřuje na průzkum trhu se závěsnými tramvajemi od různých výrobců. Analyzuje jednotlivé systémy z hlediska technického vývoje, designových inovací, ergonomie a integračních možností do městského prostředí. K hodnocení bylo vybráno celkem devět systémů.

### 2.3.1 Wuppertal Schwebebahn

První závěsnou tramvají na světě byla tzv. Wuppertaler Schwebebahn, neboli závěsná tramvaj ve Wuppertalu v Německu. Systém byl uveden do provozu v roce 1901 a od svého zahájení poskytuje spolehlivou a efektivní dopravu po celém městě, přičemž překonává řeku Wupper a obtížný terén, což by s tradičními dopravními systémy nebylo snadné. [13]

Současná generace vozů, které jezdí ve Wuppertalu tzv. „generace 15“ je dílem berlínské designové agentury büro+staubach. Vykazuje nejen zlepšení po estetické stránce, ale také inovaci v oblasti technologií. Rozšíření provozního napětí na 750 V a použití trojfázových asynchronních motorů zvyšuje energetickou účinnost, ale také umožňuje rekuperaci energie při brzdění, což přináší významné ekologické benefity. Významný posun lze nalézt také v oblasti bezpečnosti, jelikož došlo k implementaci systému ETCS, který zabraňuje možným kolizím a zvyšuje celkovou spolehlivost systému zavěšené tramvaje. Maximální možná rychlost vozidla byla zvýšena na 65 km/h, omezení rychlosti na trati je ale stále 60 km/h. [14]



Obr. 2. 2 Schwebelbahn Wuppertal [15]

Silueta vozu je dlouhá a plynulá s výraznými zakřivenými prvky, které zjemňují celkový vzhled a zároveň zvýrazňují její směrovou orientaci. Rám tramvaje je konstruován s ohledem na aerodynamiku, což přispívá k její efektivitě a snižuje odpor vzduchu při jízdě. Přední a zadní část tramvaje jsou navrženy tak, aby poskytovaly dobrou viditelnost pro řidiče a cestující. Dynamický vzhled je umocněn výběrem barev a materiálů, které podtrhují futuristický charakter vozidla, zatímco integrované osvětlení dodává designu sofistikovanost a zvyšuje bezpečnost cestování. Signalizace otevírání a zavírání dveří pomocí rozsvícení zeleného světelného pruhu, viz obr. 2. 3 a), přináší sice inovativní prvek, ale může být zdrojem zmatku. Zelené světlo tradičně naznačuje povolení vstupu, což v případě zavírání dveří může být pro cestující matoucí. Dveře jsou otevírány řidičem na všech zastávkách a nejsou tedy potřeba signalizační tlačítka.

Co se týče vizuální identity exteriéru, bledě modrá barva a absence celoplošné reklamy značí přechod k jednoduché, ale výrazné estetice, která odlišuje novou generaci vozů od jejich předchůdců. Reklamní plochy jsou nyní umístěny diskrétněji, buď na prostřední části vozů nebo na podvozku, čímž zůstávají viditelné, avšak nijak nenarušují celistvost designu viz obr. 2. 3 b).



Obr. 2. 3 (a) signalizace zavírání; (b) umístění reklamy (Foto autor)

Ergonomie nové generace tramvaje klade důraz na intuitivní a esteticky příjemné uspořádání interiéru, které čerpá inspiraci z rozložení svých předchůdců, přičemž využití prosvětleného prostoru podporuje pocit otevřenosti a vzdušnosti. Interiér ožívají tři barevné varianty – červená, zelená a žlutá, které společně s vybranými materiály, výrazně zlepšují vizuální dojem a zvyšují komfort cestujících. Podlaha je vizuálně propojená s pruhy na potahu sedadel, což se stává dominantním prvkem interiéru. K tomu kontrastně působí bílé stěny a dřevěná sedadla, navržena tak, aby doplňovaly a nekonkurovaly barevně výrazným detailům. Vznikly také nově multifunkční zóny za kabinou řidiče. Ty poskytují flexibilní prostor pro kočárky a vozíčkáře, čímž se zlepšuje přístupnost a inkluzivita. Pohodlí a komfort jsou dále zvýšeny novými polstrovanými sedadly a širší středovou uličkou, která zjednodušuje pohyb uvnitř vozu. Zlepšení jsou doplněna o LED osvětlení, klimatizační systémy a informační displeje, které zvyšují kvalitu cestovního zážitku.

Zážitek z cesty také obohacují panoramatická okna nabízející výhled ve všech směrech. Nejvíce privilegovaná místa jsou v čtyřsedadlové sekci, viz obr. 2. 4 b), umístěné na konci vozů, odkud je možné pozorovat řeku proudící pod tramvají spolu s budovami lemujícími řeku. V porovnání se zadními sedadly je na zbytku sedadel omezený výhled, kde již není možné vidět pod tramvaj, ale stále se nabízí výhled do stran na industriální architekturu města.

Tramvajová trasa prochází kolem řady architektonicky významných staveb, které přispívají k estetické a kulturní hodnotě jízdy. Některé z těchto budov, například muzea a knihovny, mají na svých fasádách umístěné své názvy nebo alespoň program nastávajících akcí, což umožňuje cestujícím nejenom vizuálně vnímat, ale i rozpoznávat a učit se o těchto objektech během cesty. Integrace informativních prvků přímo v interiéru by mohla významně přispět k vzdělávacímu a kultivujícímu aspektu cestování tramvají a tím prohloubit interakci cestujících s městským prostředím.



Obr. 2. 4 (a) náhled interiéru, (b) čtyřsedadlová sekce [15]

### 2.3.2 Siemens H-Bahn Dortmund

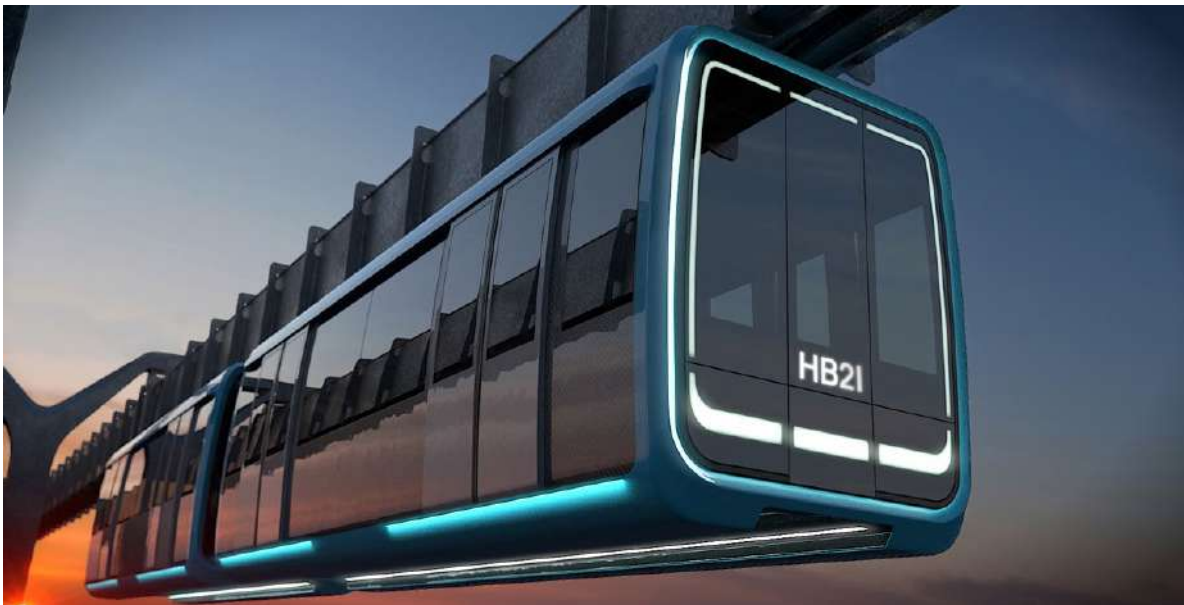
Siemens H-Bahn známý také jako SIPEM – SIemens PEople Mover je autonomní zástupce závěsných tramvají, využívaný od roku 1984 na univerzitě v Dortmundu. SIPEM vozidla jsou technologicky pokročilá s kapacitou 45 cestujících. Interiér nabízí 16 sedadel a 29 míst na stání. Systém SIPEM, který vychází ze systému SAFEGE, viz kapitola Technická analýza, je koncipován jako tranzitní systém střední kapacity, schopný přepravit až 15 000 cestujících za hodinu jedním směrem. Pojezdové soupravy s dvěma nápravami jsou osazeny pneumatikami z pevné pryže, což zajišťuje mimořádně tichý chod. Pro vedení slouží také malá boční kola. Pohonný systém vozidla tvoří dva samostatné moduly, každý s dvojicí paralelně zapojených motorů. V situaci, kdy jeden modul vykáže závadu, je vozidlo schopné bezpečně dorazit do cílové stanice pouze s použitím druhého funkčního systému. Čtyři stejnosměrné elektromotory jsou napájeny střídavým napětím 400 V z univerzitní třífázové elektrické sítě prostřednictvím tyristorově řízených měničů. Brzdy jsou rekuperační, jelikož dodávají energii zpět do napájecího systému pro zrychlení a/nebo napájení ostatních vozidel. Další inovací je propojení kabiny a podvozku pomocí hydraulických tlumičů, což pomáhá vyšší stabilitě. Lehká kabina z hliníkových dílů zajišťuje odolnost proti korozi. Ovládací a monitorovací systémy vozidel jsou instalovány ve speciálně vyhrazených sekcích kabiny, přičemž v případě nutnosti je možné vozidlo řídit manuálně z interiéru. [16] Další inovací oproti dráze ve Wuppertalu je výstavba přepážek na nástupištích, které zamezují cestujícím vstup do příjezdového prostoru. V přepážkách jsou umístěny dveře, které se otevírají až po příjezdu vozu. Tento systém funguje u většiny nových monorail tratí i linek metra. Design současného H-Bahn v Dortmundu se odlišuje plochou zešikmenou přední částí, která nepřispívá k dynamickému vjemu a evokuje spíše statický dojem. Navíc, i přes absenci řidiče, není prostor ve přední části využit pro zlepšení výhledu cestujících. Široké spáry mezi okny rovněž brání panoramatickému výhledu, čímž zbytečně rozčleňují exteriér a snižují estetickou působivost celkového designu vozidla.





Obr. 2. 5 H-Bahn Dortmund současný design [16]

Provozovatel této dráhy ale plánuje tyto nedostatky odstranit v novém konceptu závěsné tramvaje. Nový koncept H-Bahn v Dortmundu představuje modernizaci s čistými liniemi a prosklenou strukturou, což dává celému vozidlu transparentnější a vzdušnější vzhled. Na rozdíl od starší verze, která měla širší a viditelně segmentované rámy oken, nový design nabízí minimálně obroubená okna pro lepší panoramatický výhled. Výrazná modrá osvětlení a zaoblené rohy vozu dodávají celkovému designu dynamičtější a plynulejší estetiku, která odkazuje na současné trendy v dopravním designu.



Obr. 2. 6 Koncept nového designu H-Bahn v Dortmundu [17]

V Dortmundu byla v roce 2022 uskutečněna studie proveditelnosti nového systému H-Bahn, která potvrdila ekonomickou výhodnost rozšíření stávající sítě. V současnosti se provozovatel H-BAHN21 zaměřuje na získání dalších financí potřebných pro podrobné studie a realizaci projektu. Plánované inovace zahrnují integraci nejnovějších bezpečnostních funkcí a systémů pro autonomní řízení. [17] [18]

### 2.3.3 SkyTrain Düsseldorf

V roce 2002 byl na düsseldorfském letišti zprovozněn Sky-Train, který využívá také technologii SIPEM, jež je využita na univerzitě v Dortmundu. Toto nové spojení mezi nádražím a letištními terminály přispělo k významnému snížení množství automobilové dopravy v okolí letiště. V tomto případě došlo k propojení dvou kabin, tudíž je navýšena kapacita na cca 90 osob. [16]

Z estetického hlediska působí SkyTrain minimalisticky a sterilně, což zapříčiňují čisté linie, hladké povrchy, ale také barevnost, která připomíná nemocniční prostředí. Design odpovídá funkcionalitě a technologickým standardům doby, kdy byl navržen. Vůz má šedou metalízu, což dodává futuristický vzhled, který zapadá do industriální architektury letiště. Interiér vozu je rozdělený masivními bočními panely. Sedadel je ve voze 8 pevných a 8 sklápěcích, což je optimální počet na krátkou jízdu mezi zastávkami na letišti, kdy ne všichni cestující musí sedět a vznikne tak více volného místa. Navíc spousta cestujících má u sebe větší zavazadlo, které by se nemuselo vejít mezi klasická sedadla umístěná za sebe. Proto v tomto případě je optimální otočení sedadel kolmo ke směru jízdy.



Obr. 2. 7 SkyTrain Düsseldorf (a) exteriér [16]; (b) interiér [19]

### 2.3.4 The Optics Valley Photon

Nejnovější závěsná dráha známá jako „the Optics Valley Photon“ nebo také „the Optics Valley Skyrail“ zahájila provoz v září 2023. Vozidla jsou ozvláštněna podlahou s prosklenými místy, které nabízejí cestujícím výhledy dolů pod vůz. Společnost CRRC Qingdao Sifang nabízí soupravy tohoto typu ve variantách od dvou do šesti vozů a dosahují maximální rychlosti 70 km/h. Soupravy s dvěma vozy určené pro město Wuhan mohou přepravit až 220 cestujících. Jsou navrženy jak pro denní dojíždění, tak pro turistické vyhlídkové jízdy. [20]

Z ergonomického hlediska odráží interiér tramvaje spíše zaměření na turistické jízdy, zvláště kvůli prosklené podlaze. Sedadla umístěná okolo těchto průhledných částí jsou orientována kolmo ke směru jízdy, což umožňuje cestujícím buď pozorovat okolí pod nimi, nebo si vyměňovat pohledy s cestujícími naproti. To může vést k sociálnímu diskomfortu, jelikož ne všem je příjemné být součástí takto uspořádané interakce. Navíc, i když prosklené části podlahy poskytují fascinující vizuální zážitek, také snižují dostupný prostor pro stání, což může vytvářet stísněné podmínky pro cestující ve vrcholných hodinách. V důsledku toho jsou pasažéři v neprůhledných částech vozu často stlačeni dohromady, a mnozí z nich jsou připraveni o možnost jakéhokoliv výhledu.

Z estetického hlediska vytváří světlá barva interiéru spolu s modrými akcenty atmosféru, která je svěží, otevřená a současně moderní. Použitý odolný plast na sedadlech nejenže přispívá k celkové estetice, ale také zajišťuje, že údržba interiéru je snadná a efektivní.



Obr. 2. 8 Prosklená podlaha The Optics Valley Photon (a) pohled zespodu [21]; (b) interiér [22]

Design exteriéru se vyznačuje čistými liniemi a futuristickým vzhledem, který dokonale zapadá do moderního městského prostředí Optics Valley of China viz obr. 2. 10 b). Elipsa, použitá jak v konstrukci samotného vozidla, tak v podpěrách a konstrukci mostu, poskytuje měkké kontury, které přispívají k dynamickému a plynulému vizuálnímu vjemu. Barva tramvaje je v kontrastu s bílým rámem konstrukce, což zvýrazňuje aerodynamický tvar vozidla a zároveň umožňuje tramvaji vizuálně vyniknout.



Obr. 2. 9 (a) „The Optics Valley Photon“ [20]; (b) prostředí Optics Valley ve Wuhanu [23]

### 2.3.5 Chiba Urban Monorail

Od roku 2001 je Chiba Monorail zapsána v Guinnessově knize rekordů jako nejdelší závěsná monorail trať s celkovou délkou 15,2 km, čímž předběhla dříve nejdelší trať v německém Wuppertalu, která měří 13,3 km. Vznikla v reakci na zhoršování dopravních podmínek a narůstající hluk způsobený rychlým přírůstkem obyvatelstva v 60. letech 20. století. Trať využívá závěsný systém SAFEGE, který oproti systému navrženému pro trať ve Wuppertalu snižuje hluk a vibrace pomocí pryžových pneumatik. Tento systém také zajišťuje odolnost proti povětrnostním vlivům, jako jsou déšť a sníh, díky zakrytí kolejí. SAFEGE navíc zvládá i náročnější traťové úseky se zatáčkami, kde vodící kola minimalizují kývání vozidla. Ve městě Chiba jsou v provozu dva typy vozidel – typy Urban Flyer 1000 a Urban Flyer 0. Oba se skládají ze dvou vozů s kabinou řidiče umístěnou vpředu. V provozu je v současnosti celkem šestnáct vozidel, po osmi z každého typu. Typ 1000 má rozměry jednoho vozu 14 800 × 2 580 × 3 085 mm a sériový stejnosměrný motor s nízkým hlukem o výkonu 65 kW. Kapacita jednoho vozu je 84 osob – 39 míst na sezení, 45 na stání. Typ Urban Flyer 0 se odvíjí od původního designu typu 1000, avšak byl upraven tak, aby vyhovoval požadavkům na bezbariérový přístup, nejnovější bezpečnostní standardy a zlepšení energetické efektivity. Od zahájení provozu v roce 1988 sice nebyla zaznamenána žádná nehoda se zraněním, i přes to však obsahují oba typy vozů několik bezpečnostních prvků. V případě defektu pneumatiky jsou nainstalovány náhradní pojezdová kola, vozidlo tudíž bezpečně přijede do další zastávky. Každé vozidlo je také vybaveno zařízením pro evakuaci, které slouží jako provizorní most mezi vagóny umožňující cestujícím v nouzi bezpečný přechod z poškozeného vozidla do vozidla záchranného. Kromě toho je přítomno evakuační zařízení tzv. „Escape Chute“, jenž cestujícím umožňuje bezpečný únik přímo na zem, ale vyžaduje zkušenou osobu k nachystání únikové cesty. V oblasti spojení jednotlivých vozidel je nainstalován nouzový komunikační systém, který cestujícím umožňuje v případě nouze kontaktovat personál. [24]

Přední sklopená část vozu typu 1000, která je nakloněna ke směru jízdy, poskytuje řidiči dostatečný výhled. Toto sklonění plynule přechází v zaoblené linie sahající k podlaze vozu. Naopak okna vozu jsou poměrně malá, což narušuje exteriér přílišným rozčleněním plochy. Nedostatek vizuální kontinuity je patrný i v modré linii na dveřích, která nenavazuje hladce na zbytek designu a přerušuje tak jeho celistvost.

Interiér působí zastarale, převážně kvůli polstrování sedadel, které je na některých místech vyměněno za nové, pravděpodobně kvůli zničení původního. Barevnost sedadel a madel sice jinak bledý interiér oživuje, ale barevnost je naprosto náhodná a narušuje tak celkový dojem. Uspořádání sedadel naproti sebe není z hlediska ergonomie ideální, ale z hlediska přepravní kapacity je tohle řešení ve velkých městech považováno za nejlepší. Toto uspořádání může být z hlediska ergonomie problematické, pokud mezi sedadly stojí další cestující, což může vést k nechtěnému narušování osobního prostoru.



Obr. 2. 10 Vůz typu Urban Flyer 1000 (a) exteriér; (b) interiér [24]

Exteriér nového typu vozu odkazuje některými prvky na svého předchůdce. Tento detail je zdůrazněn grafickým zkosením modré části opláštění, které vizuálně odděluje kabinu řidiče od zbytku vozu. Zvolené barvy evokují nebeskou oblohu a lehkost, což je charakteristické pro závěsná vozidla. Černé opláštění dveří s výrazně definovanou hranou přispívají k dojmu ostrého vizuálního oddělení.

Interiér je již vizuálně víc sladěný než původní typ a taktéž převzal některé barevnostní prvky, například žluté prvky na sedadlech a podlaze a tmavě modrou podlahu a boční opláštění. Toto sjednocení barev dává z interiéru ucelenější dojem. Plně polstrovaná sedadla s náznakem opěrek pro hlavu naznačují, že je interiér navržen s ohledem na pohodlí cestujících, což je ideální pro delší jízdy. Na krátké trasy by bylo vhodnější použití materiálů, které jsou snadno udržovatelné kvůli vysokému obratu cestujících.



Obr. 2. 11 Vůz typu Urban Flyer 0 (a) exteriér; (b) interiér [24]

### 2.3.6 Dayi Air Rail

Projekt Dayi Air Rail v Čcheng-tu představuje první závěsnou tramvaj na světě, která k provozu využívá lithiové baterie, které by měly být nabíjeny na zastávkách. Vozy mají průhlednou konstrukci s 270stupňovým výhledem, který usnadňuje prohlídku památek. Design vozu je inspirován pandou velkou, která pochází z provincie Sečuán, jejímž hlavním městem je Čcheng-tu. Maximální rychlost vozu je 80 km/h a maximální kapacita 120 cestujících. [25]

Ve třetí generaci vozů je znázornění pandy abstraktnější, odchází od přímého potisku detailů zvířete na vozidle, což byl přístup zvolený u předchozí generace. Mřížka na přední části vozu a rozdělení barev opláštění stále podporují animální motiv. Prostor je otevřený díky velkým oknům, která přinášejí do interiéru dostatek světla a spolu s bílým obložením vytvářejí esteticky příjemnou atmosféru. V interiéru však zaujme neobvyklá volba barových stoliček namísto tradičních sedadel, což při rychlé jízdě může vyvolávat otázky bezpečnosti a pohodlí, zejména protože se cestující musí pro dosažení na madla u oken nepřírozeně natahovat.



Obr. 2. 12 Dayi Air Rail, 3. generace [25]

## Koncepty

### 2.3.7 Strela Monorail

Design interiéru a exteriéru vozidla byl kompletně vytvořen designovým studiem FORMA. Technickou realizaci a zkušební provoz tohoto závěsného vozu zajišťuje společnost Ruská technická společnost na testovacím úseku postaveném na předměstí Moskvy. [26]

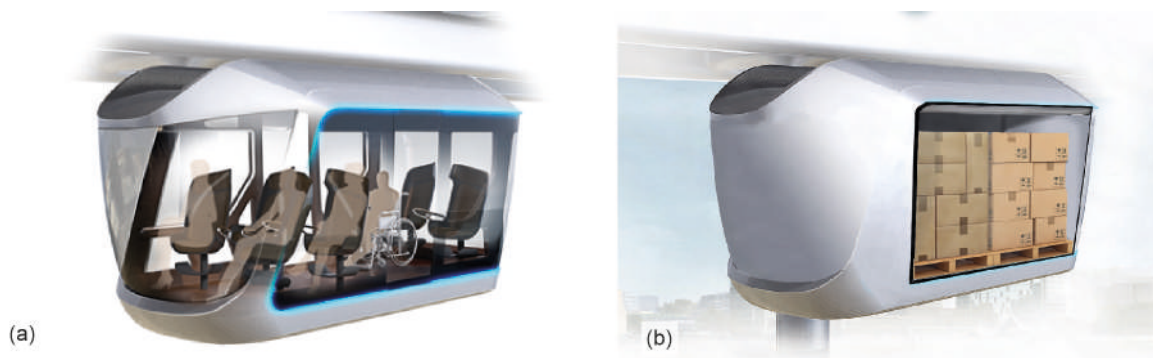
Design exteriéru vozu Strela je symetrický s jasně definovanými liniemi, což podporuje dojem stability a rovnováhy. Tvarování vozu je hladké a aerodynamické, což naznačuje, že by mohl být navržen pro autonomní provoz bez potřeby řidiče. Okna a dveře jsou integrovány s výrazně definovanými hranami, což v kontrastu s vypouklou přední částí působí lehce rušivě. Z hlediska celkové kompozice může být celočervené opláštění vnímáno jako příliš výrazné a možná až agresivní, což by mohlo být v rozporu s lehkostí a vzdušností, kterou by takovýto dopravní prostředek měl evokovat. Koncept interiéru je navržený s čistými liniemi a harmonickou barevností, opět se sedadly naproti sebe.



Obr. 2. 13 Strela Monorail [26]

### 2.3.8 Supraways

Supraways představuje inovativní koncept městské mobility, který slibuje autonomní, rychlou a udržitelnou dopravu. Tento systém se zaměřuje na plynulost cestování a nabízí také nová řešení doručovacích služeb. Vozidla jsou navržena s ohledem na prostornost a pohodlí s kapacitou 7 až 9 míst k sezení. Supraways nabízí dopravu na vyžádání bez nutnosti jízdních řádů, umožňuje přímé cesty z počátečního bodu do cíle s nepřetržitou dostupností služby po celý den. Průměrná rychlost těchto vozidel by mohla dosahovat 50 km/h. Kontrola jízdenek by probíhala bezkontaktně. Navíc systém má integrované solární panely na střeách budov zastávek, díky kterým by měl být provoz vozidel CO<sub>2</sub> neutrální. [27]



Obr. 2. 14 Supraways vozidla (a) přeprava osob; (b) přeprava nákladu [27]

### 2.3.9 Koncept přestavby Wuppertalské závěsné tramvaje

Ve spolupráci se společností WSW a obyvateli Wuppertalu vyvinula skupina čtyř studentů nový koncept pro vozidla používaná v závěsné monorailové dráze města. Tento koncept, který klade hlavní důraz na potřeby a preference uživatelů, byl prezentován ve formě publikace, která úspěšně přemostila propast mezi technickými aspekty průmyslového designu a konkrétními požadavky cílové skupiny, a to jak textově, tak vizuálně. Tato publikace se zasloužila o vítězství v Red Dot Design Award 2011. [28]



Obr. 2. 15 Koncept přestavby Wuppertalské závěsné tramvaje [28]

## 2.4 Ergonomická analýza

Systém člověk – technika – prostředí, lze pro závěsné tramvaje zkonkrétnit na cestující – vůz – prostředí. Rozhodujícím prvkem jsou v tomto případě cestující, které je třeba identifikovat a přizpůsobit jim návrh částí převážně interiéru vozu, se kterými přijde do kontaktu (sedadla, madla, dveře apod.). Nezanedbatelným prvkem je prostředí, které taktéž působí na cestující i vůz (světlo, teplo, hygiena, bezpečnost apod.).



Obr. 2. 16 Schéma cestující – vůz – prostředí



## 2.4.1 Skupiny cestujících dle účelu přepravy

Pro zkoumání potřebného ergonomického uspořádání lze cestujících rozdělit podle účelu využití tohoto typu přepravy a dále podle antropometrických parametrů. Při odlišných účelech přepravy mají cestující různé potřeby a rozmístění interiéru se tak bude lišit. Byly tak určeny skupiny cestujících, na které bude tento typ dopravy zacílen. Pro každou skupinu byly určeny jejich potřeby při cestování VHD.

### Rezidenti – pravidelné denní dojíždění

Za nejpočetnější skupinu cestujících mohou být považováni pravidelně dojíždějící rezidenti, proto na jejich potřeby bude kladen při návrhu největší důraz. Tato skupina ocení především možnost komfortního sezení při delší cestě (trvající cca přes 15 minut), zvláště pokud s sebou nosí menší zavazadlo. Při kratší trase nebo když jsou všechna sedadla obsazená, je důležité poskytnout i bezpečné stání. Důležitým požadavkem této skupiny je dojíždění včas, tudíž je potřeba navrhnout vozidla o správné kapacitě, která jsou schopna jezdit v požadovaných intervalech, aby pojmul množství lidí v různých denních dobách.

Rodiče v této skupině zejména ocení, pokud jsou vytvořeny podmínky pro bezpečné usazení dětí, včetně dostupnosti čtyřsedadel, kde mohou mít více dětí pod dohledem. Pro rodiče s kočárky je dobré navrhnout bezbariérový prostor pro snadný nástup a výstup, a stejně tak by měla být zajištěna flexibilita v sezení u místa pro kočárky.

Pro cestující s hendikepem je také nutný bezbariérový nástup a výstup a specifické bezpečnostní prvky. Detailní požadavky jsou rozepsány v kapitole „Skupiny cestujících dle antropometrických údajů“.

Vzhledem k tomu, že dlouhé jízdy mohou být jednotvárné, cestující často vyplňují čas na svých telefonech. Proto je vhodné obohatit interiér dopravního prostředku o vizuální stimuly, jako je rozšířený výhled, dynamické obrazovky zobrazující informace o zastávkách nebo zajímavé plakáty, které nejen pocitově zkrátí cestování, ale i informují.

### Rezidenti – občasné jízdy

Další početnou skupinou jsou rezidenti, kteří necestují hromadnou dopravou denně. Tato skupina má specifické nároky na uspořádání a vybavení dopravních prostředků. Pro osoby, které necestují často, je důležité správné rozmístění informačních prvků pro snadnou orientaci. Zástupci této skupiny jsou například senioři, kteří ocení místa na sezení blízko vstupu a madla v blízkosti dveří pro snazší nástup a výstup. Dále to mohou být osoby na výletě, často rodiče s dětmi. Cestující v této skupině mají většinou malé či střední zavazadlo, které není problém umístit na klín. Kromě toho přibývají v této skupině ještě cestující s jízdními koly, kteří potřebují ideálně bezbariérový prostor u vchodu a je vhodné pro ně zaimplementovat také sklápěcí sedadla či bezpečné stání v blízkosti prostoru určeného pro kola.

Jelikož je Brno studentské město, je během školního roku potřeba respektovat každodenní stěhování studentů z ubytování v Brně, kteří často cestují s velkými zavazadly, ať už s kufry nebo rozměrnými taškami.

## Turisté

Poslední početnou skupinou, která se ovšem vyskytuje v Brně více v určitých ročních obdobích jsou turisté, jež mají také své specifické potřeby. [29] Důležitým aspektem je zajištění dostatečného prostoru pro převoz různých velikostí zavazadel, jako jsou rozměrné batohy a kufry. Prostor pro pohyb ve voze by měl být navržen tak, aby umožňoval snadnou manipulaci a pohyb zavazadel. Pro tuto skupinu je stejně jako pro předchozí nutný přehledný orientační systém.

Závěsná tramvaj je sama o sobě považována za turistickou atrakci, protože nabízí nový typ zážitku. Je tedy vhodné maximálně využít její atraktivitu a umožnit cestujícím co nejlepší zážitek. Vzhledem k tomu, že nejzajímavější částí jízdy je výhled z předních a zadních oken, bylo by ideální zpřístupnit tento výhled co nejvyššímu množství osob.

### 2.4.2 Skupiny cestujících dle antropometrických údajů

Návrh prostoru pro cestující zahrnuje také respektování antropometrických údajů různých skupin. Zřetel je potřeba brát jak na osoby bez jakýchkoliv omezení, tak na cestující s tělesným hendikepem.

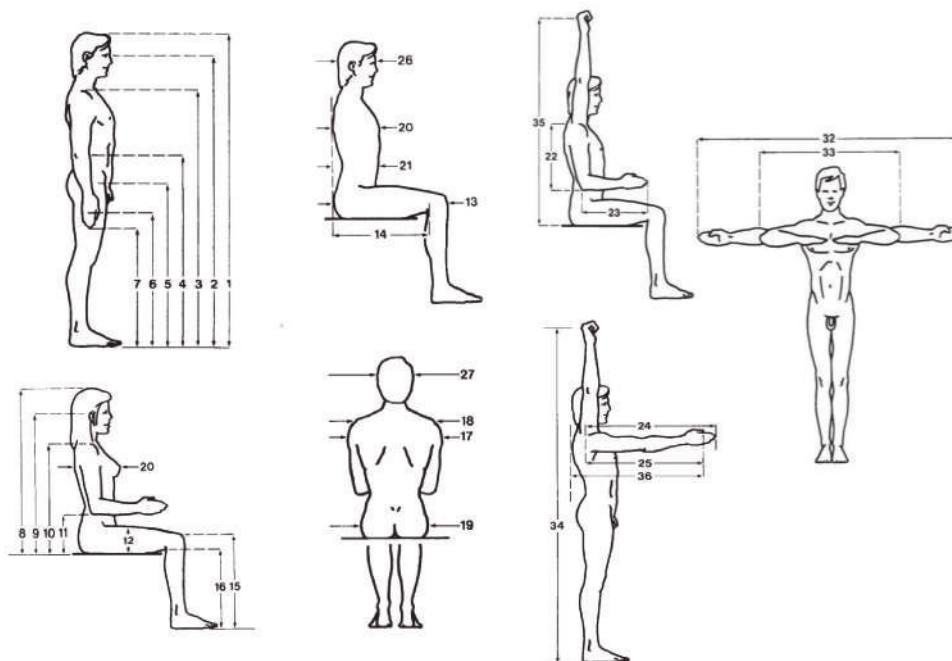
#### Cestující bez hendikepu

Vzhledem k rozdílným tělesným rozměrům cestujících je cílem zajistit pohodlí pro všechny. Je tedy nezbytné brát v úvahu i osoby s menšími či většími tělesnými rozměry, než je obecný průměr, což se odráží ve využití tzv. percentilů. 5. percentil je definován tak, že 5 % populace má menší tělesný rozměr, než je uvedená průměrná hodnota, zatímco 95. percentil ukazuje, že 5 % populace přesahuje danou hodnotu. [30] Níže byly vybrány rozměrové parametry osob důležité pro návrh prostoru pro cestující.

		Muži			Ženy		
		5P	50P	95P	5P	50P	95P
1	Tělesná výška	1 625	1 740	1 855	1 505	1 610	1 710
2	Výška očí	1 515	1 630	1 745	1 405	1 505	1 610
8	Výška vsedě	850	910	965	795	850	910
9	Výška očí vsedě	735	790	845	685	740	795

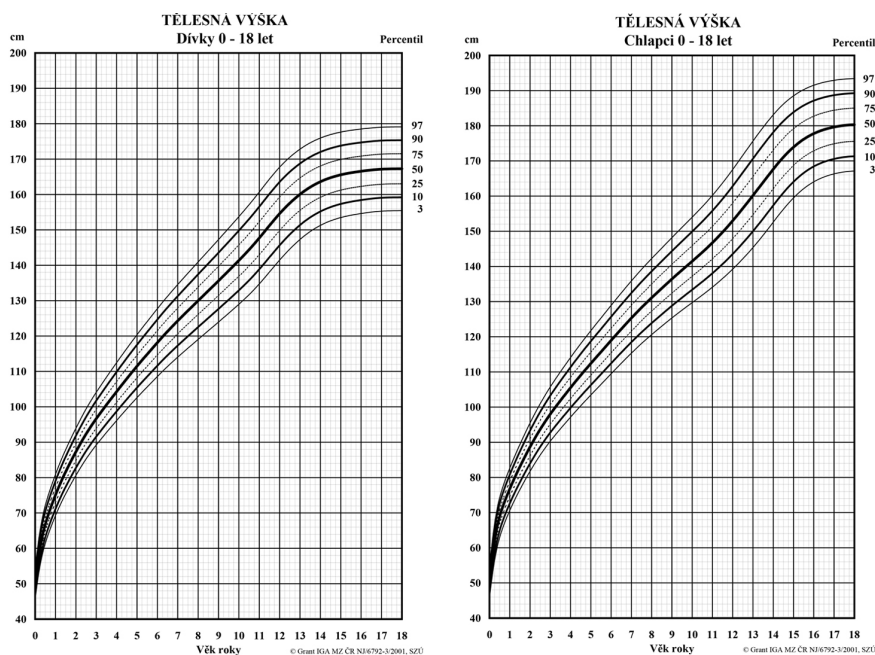
11	Výška lokte vsedě	195	245	295	185	235	280
12	Tloušťka stehna	135	160	185	125	155	180
13	Hloubka sedu	540	595	645	520	570	620
14	Délka stehna	440	495	550	435	480	530
15	Výška kolene vsedě	490	545	595	455	500	540
16	Výš. podkol. jamky	395	440	490	355	400	445
17	Šířka ramen max.	420	465	510	355	395	435
18	Šířka ramen	365	400	430	325	355	385
19	Šířka sedu	310	360	405	310	370	435
22	Výška ramena vsedě	330	365	395	300	330	360
23	Délka ruky vsedě	440	475	510	400	430	460
24	Délka horní končetiny	720	780	840	655	705	760
25	Délka rameno–úchop	610	665	715	555	600	650
34	Vertikální dosah úchopu ve stoje	1 925	2 060	2 190	1 790	1 905	2 020
36	Dosah vpřed	720	780	835	650	705	755

Tab. 2. 1 Vybrané rozměrové parametry člověka v mm [30]



Obr. 2. 17 grafické znázornění parametrů člověka viz Tab 2.1 [30]

V této kategorii se také nacházejí děti, které cestují samy nebo jsou doprovázeny rodiči. Je zásadní, aby bezpečnostní prvky v tramvaji byly přístupné jak dospělým, tak dětem. Obvykle do věku přibližně 3–4 let přepravují rodiče své děti v kočárku během jízdy tramvají. Po této věkové hranici děti začínají lépe držet rovnováhu a jsou schopny se pohybovat po voze samostatně. Z toho důvodu je důležité, aby byla některá madla v tramvajích navržena tak, aby byla dosažitelná pro děti od 3 let věku, což zvyšuje jejich bezpečnost a samostatnost během cestování.



Obr. 2. 18 Tělesná výška dětí [31]

## Cestující s dočasným omezením mobility

### Rodiče doprovázející dítě v kočárku

Prostor pro kočárky se ve většině případů umísťuje poblíž provozních dveří, aby nebylo nutné manévrovat s kočárkem v úzkém prostoru mezi sedadly. Minimální šířka průchodu odpovídá šířce kočárku, která se může lišit. Na přímých úsecích by měla být šířka optimálně 1 200 mm pro možnost manévrování. Pokud je cesta zakřivena, průchod by měl být rozšířen na 1 500 mm. [32]



Obr. 2. 19 Rozměry kočárku [33]

### Cestující s berlemi

Cestující s dočasně omezenou mobilitou, například se zlomenou nohou, potřebují pro pohodlný průchod uličkou šířku alespoň 1 200 mm. V mimořádných případech může být tato šířka snížena na 900 mm, což je situace, která může nastat například v uličce tramvaje. [32]

### Cestující se zavazadly a taškami

Tento typ cestujících často využívá prostor vyhrazený pro invalidní vozíky nebo sedadla pro seniory a osoby s omezenou mobilitou, popřípadě stojí v uličkách, pokud je jejich zavazadlo příliš rozměrné pro umístění mezi sedadla. Rozměry prostoru potřebného pro zavazadla se liší podle jejich velikosti a typu. Prostorová náročnost cestujícího s kufrem je znázorněna na obrázku 2. 20. V případě batohů se k rozměrům těla cestujícího připočítává hloubka batohu, čímž se stanoví celková potřebná hloubka pro pohodlný průchod. [32]



Obr. 2. 20 Orientační prostorová náročnost cestujícího s kufrem [32]

### Cestující s cyklistickým kolem

Pro minimalizaci pohybu cestujících s koly v tramvaji se vyhrazené prostory pro kola umisťují v blízkosti dveří. Tyto prostory jsou často sdíleny s místy pro invalidní vozíky nebo kočárky. Minimální rozměry těchto prostorů by měly být adekvátní k největším rozměrům kola, především co se týče šířky řídicích, která může dosahovat až 650 mm, a celkové délky kola, která může být až 1 800 mm.

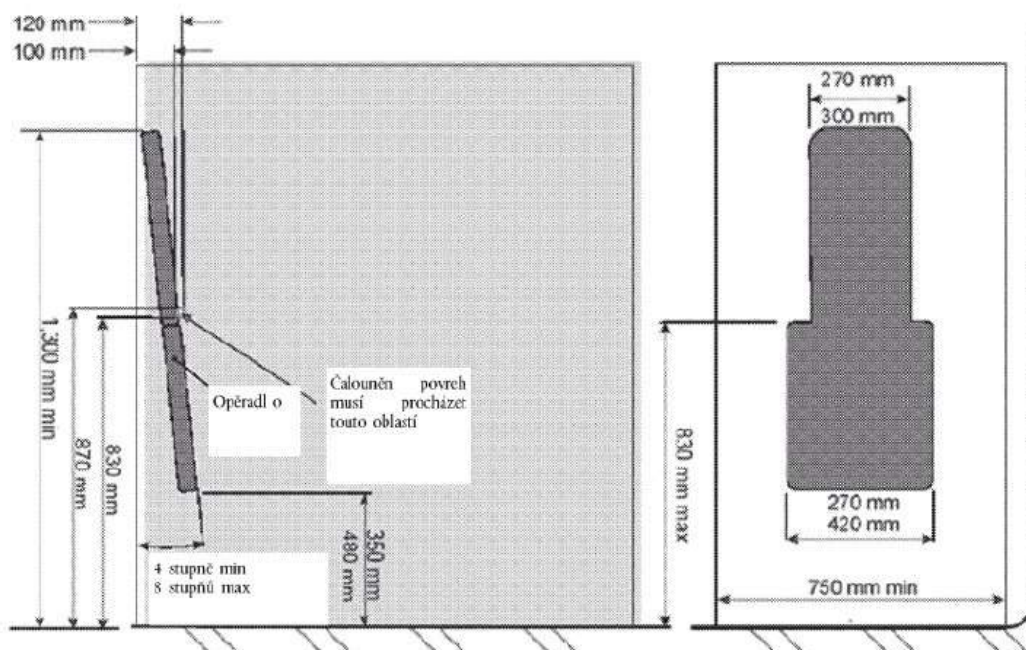
### Cestující s permanentním omezením mobility

Cestující s trvalým omezením mobility, které může být vrozené nebo způsobené úrazem či nemocí, čelí obtížím se samostatným pohybem a orientací v prostoru. Dle Českého statistického úřadu žilo v roce 2018 cca 13 % obyvatel České republiky se zdravotním postižením. [34]

### Cestující na invalidním vozíku

Přeprava cestujících na invalidním vozíku vyžaduje navržení bezpečného prostoru. Názory na rozměry tohoto prostoru se mohou lišit. Uvádí se potřebné rozměry 800 × 1 200 mm či 750 × 1 300 mm pro stání vozíku. Manévrovací prostor by měl mít cca 1 500 × 1 500 mm. Podlaha v tomto prostoru musí být protiskluzová a její sklon nesmí přesahovat 5 % v žádném směru. [32]

V prostoru vyhrazeném pro invalidní vozík musí být umístěn zádržný systém pro zajištění vozíku. System je potřeba navrhnout podle typu vozidla a orientace vozíku při jízdě. Prostor by měl být vybaven madlem ve výšce 850 mm nad podlahou. Dále musí být instalována vertikální opora nebo opěradlo pro zadní část vozíku, s dolním okrajem ve výšce 350–480 mm a horním minimálně ve výšce 1 300 mm. [32]



Obr. 2. 21 Opěradlo pro invalidní vozík

### Senioři, zrakově postižení

Speciální vyhrazená sedadla pro seniory, zrakově postižené a osoby s berlemi by se měly nacházet blízko provozních dveří, kde je povinnost mít alespoň dvě nesklopná sedadla. Jedno z těchto sedadel musí nabízet prostor pro vodícího psa bez zasahování do uličky. Sedadla musí být široká minimálně 440 mm a také musí být označena modrým piktogramem s bílým symbolem. K těmto sedadlům musí od dveří vést madla ve výšce 800–900 mm, přerušení je možné pouze v místě pro invalidní vozík nebo přes uličku. Přerušení madla nesmí být delší než 1 050 mm. U sedadla je třeba umístit také madlo usnadňující sedání a vstávání. [32]

### 2.4.3 Technická analýza

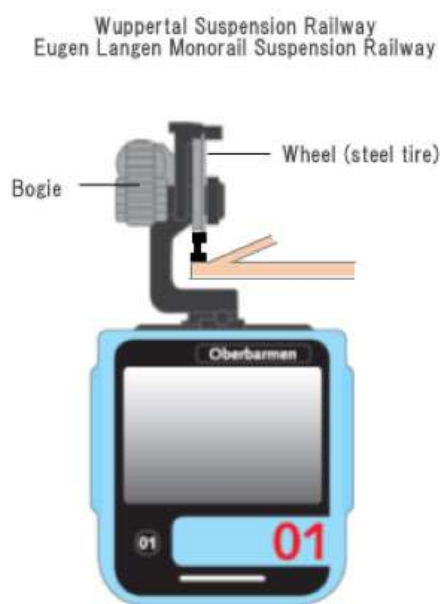
Kvalita návrhu zahrnuje nejen estetickou přidanou hodnotu, ale vyžaduje také důkladné porozumění konstrukčnímu základu, na kterém musí návrh stát. U vozů závěsných tramvají je návrh zejména ovlivněn typem zavěšení a způsobem napájení. Narozdíl od klasických tramvají, pro závěsné tramvaje neexistují pevně stanovená rozměrová omezení, což umožňuje větší flexibilitu ve vývoji jejich interiéru. Hlavním cílem analýzy je odhalit a pochopit omezení, která jsou klíčová pro konstrukci závěsných tramvají a mohou ovlivnit jejich design a funkčnost.

## Základní typy závěsných monorail tramvají

Pro městskou dopravu byly vyvinuty tři hlavní typy jednokolejnicových systémů:

### Double Flanged systém

Tzv. typ Langen nebo typ Wuppertal vychází z původního systému Schwebebahn v německém Wuppertalu, který využívá ocelovou kolejnici a ocelová kola. Jde o nejstarší typ závěsné monorail tramvaje. Před tím, než našly uplatnění v osobní dopravě, se závěsné dráhy používaly v průmyslových aplikacích. V současnosti jsou v provozu pouze dva systémy tohoto typu, a to ve Wuppertalu a v Drážďanech. [35]



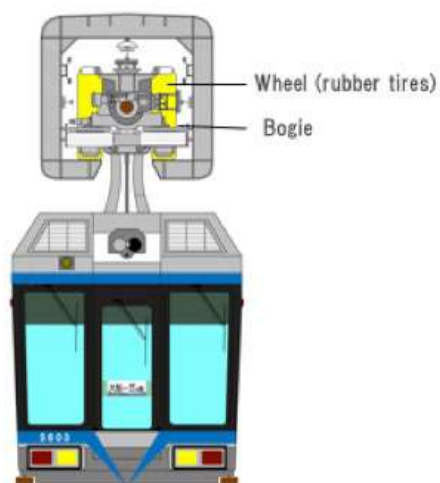
Obr. 2. 22 Double Flanged systém [36]

### SAFEGE systém

Vozidla jsou zavěšena v částečně uzavřeném nosníku, který chrání kolej proti nepříznivým povětrnostním podmínkám. Tato inovace vychází z přestavby podvozku s pryžovými pneumatikami původně vyvinutého pro pařížské metro. Právě výměna ocelových kol za pneumatiky má za následek snížení hlučnosti provozu. Napájení pochází ze třetí kolejnice umístěné též v ochranném nosníku, což maximalizuje bezpečnost provozu. [35]



Shonan Monorail  
SAFEGE Suspended Monorail



Obr. 2. 23 SAFEGE systém [36]

### Jednokolejné lanové dráhy

Lanové jednokolejné dráhy jsou unikátní formou dopravy, jenž se vyskytuje vzácně. Tento systém se využívá především k dopravě do strmých kopců, podobně jako lanové dráhy. V systému se využívají jednokolejné vodící dráhy s pohonem pomocí lan umístěných ve stanicích. [35]



Obr. 2. 24 Jednokolejné lanové dráhy (a) Schwebebahn Dresden; (b) Skyrail Midorizaka Line [35]

Jelikož je práce zaměřena nejen na zvýšení plynulosti dopravy ve městě, ale také na propojení hromadné dopravy s turistickou atrakcí, je pro práci zvolen typ zavěšení SAFEGE.

## System SAFEGE

Tento závěsný systém má několik klíčových komponentů, které umožňují jeho funkci. Mezi nimi je kolejnice, která je umístěna v částečně uzavřeném nosníku. Po kolejnici se pohybují čtyři řídicí kola na každé nápravě. I když vozidla SAFEGE mají čtyři kola, která jedou po dvou paralelních nosných drážkách uvnitř nosníku, tento nosník je považován za "jednu kolejnici" v monorailovém smyslu. Horizontálně umístěná kola tzv. vodicí jsou navržena tak, aby vozidlo zůstalo na kolejnici a zároveň minimalizovala tření, což snižuje opotřebení a udržuje plynulost pohybu. Tato kola se pohybují po vodicí kolejnici. Dalším komponentem je příčný nosník (Swing Bolster), který umožňuje vozidlu pohyb do stran při zatáčení a zajišťuje jeho stabilitu i ve vysokých rychlostech. [35]

### Pohon

Dalším nezbytným zařízením je elektromotor, který převádí elektrickou energii na mechanickou práci, potřebnou k pohybu vozidla po trati. Vozidlo je napájeno pomocí trolejového vedení. Sběrače na vozidlech SAFEGE fungují na podobném principu jako pantografy, ale jsou přizpůsobeny specifické konstrukci závěsného monorailu. Kromě pozitivního a negativního kabelového vedení se v nosníku nachází také signální smyčkový kabel, což je důležitá součást komunikačního systému, která zajišťuje, že vozidlo a řídicí centrum jsou stále ve spojení a informace o provozu jsou aktuální. [35]

### Statický měnič

Kvůli trolejovému vedení je nutný statický a trakční měnič. Statický měnič dobíjí baterii a vyrábí slaboproud pro slaboproudé obvody 24 V. [37] Rozměry statického měniče Cegelec Alvaux, který je určen pro tramvaje, trolejbusy či metro jsou  $1\ 100 \times 600 \times 450$  mm a váha 171 kg. Tento typ dosahuje účinnosti 95 % a vyšší. Ke chlazení není nutné použití ventilátoru díky přirozenému chlazení, což vede k nižšímu hluku, zvýšení spolehlivosti a snížení nároků na preventivní údržbu. [38]



Obr. 2. 25 Statický měnič Cegelec Alvaux [38]

### Trakční měnič

Primární funkcí trakčního měniče je přeměna elektrické energie z trolejového vedení na formu vhodnou pro pohon trakčních motorů vozidla. Mění střídavý proud na stejnosměrný, nebo naopak. [37] Typ Compact Converter BORDLINE® CC400 je určen pro umístění pod podlahou. Vykazuje nízkou hladinu hluku díky optimalizovanému proudění vzduchu, čímž se minimalizuje rušení cestujících i okolního prostředí. Váha měniče je cca 550 kg a rozměry 1 600 × 1 800 × 430 mm. [39]



Obr. 2. 26 Trakční měnič Compact Converter BORDLINE® CC400 [39]

### Klimatizační jednotka

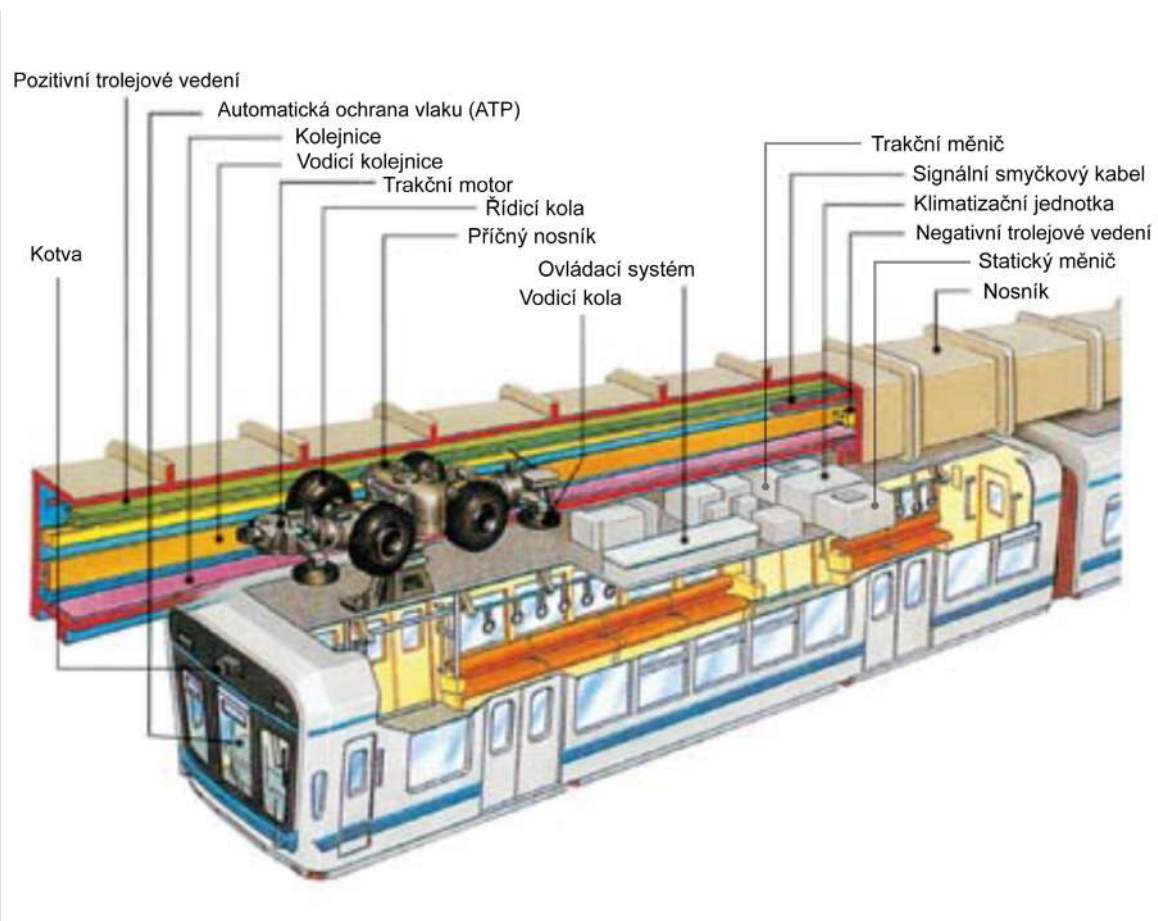
Klimatizace s topením (Konvekta) obsahuje vlastní statický měnič, kterým si mění trakční napětí 600 V stejnosměrné na 3 × 380 V střídavé. Klimatizační jednotka je využívána v brněnských tramvajích typu Drak, kde je na každém voze umístěna jedna jednotka. [37]



Obr. 2. 27 Klimatizační jednotka Konvekta (Foto autor)

### Kotva (Coupler)

Kotva umožňuje spojit jednotlivá vozidla do delších vlakových souprav, při potřebě větší dopravní kapacity. [35]



Obr. 2. 28 Schéma SAFEGE systému [40] (upraveno)

## Základní rozměry

Jelikož normy nspecifikují maximální rozměry závěsných tramvají, byla provedena důkladná analýza aktuálně provozovaných vozidel. Tato analýza poskytuje přehled o rozměrovém spektru dostupných závěsných tramvají. Maximální rozměry jednoho vozu, který je zavěšen na dvou SAFEGE systémech je v současnosti 14 800 × 2 580 × 3 085 mm u vozu Chiba Urban Monorail viz Tab. 2. 1.

Název závěsné tramvaje	Délka jednoho vozu [mm]	Šířka [mm]	Světlá výška interiéru [mm]	Výška kabiny [mm]	Vzdálenost mezi středy pojezdových kol [mm]	Rozvor kol [mm]
Wuppertal Schwebebahn [41]	12 030	2 200	2 087	2 729	7 645	1 280
H-Bahn Dortmund [16]	9 200	2 244	2 003	2 623	5 689	x

The Optics Valley Photon [42]	11 000	2 500	x	x	x	x
Chiba Urban Monorail [24]	14 800	2 580	x	3 085	x	1 650

Tab. 2. 2 Analýza rozměrů vozů závěsných tramvají

Pro zjištění potřebné kapacity byla provedena analýza kapacity a rozměrů aktivních tramvají v Brně. Zároveň je nutné brát v potaz také intervaly mezi jednotlivými vozy, které jsou u pozemních tramvají vyšší než u závěsných tramvají.

Pro nejvytíženější tramvajovou linku v Brně, linku číslo 1, platí v hodinách 07:10–19:02 interval 7 minut, mezi 05:50–07:10 a 19:10–21:40 interval 10 minut. V nočních hodinách 21:53–23:23 jezdí v intervalu 15 minut. [43] Intervaly závěsných tramvají jsou obvykle kratší. Ve vytížených hodinách lze interval zkrátit na 3–5 minut. [44]

Název tramvaje	Kapacita sezení	Celková kapacita (5 os/m <sup>2</sup> )	Počet článků	Celková délka [mm]
Pragoimex EVO 2	45 + 2 sklopné	171	2	23 400
Škoda 45T	64	233	3	31 000
Škoda 13T	64	204	5	31 060
VARIO LFR.E	32	102	1	16 200
ČKD Tatra T3	23	110	1	15 104
Anitra (03T)	42	166	3	20 090
Tatra K2	50	157	2	21 504

Tab. 2. 3 Analýza kapacity a rozměrů vybraných aktivních tramvají v Brně [45] [46]

## 2.5 Shrnutí hlavních zjištění

Díky motivační analýze bylo zjištěno, že moderní města čelí výzvam, jako jsou dopravní přetížení, zvyšující se emise a omezený prostor pro rozvoj infrastruktury. Závěsné tramvaje představují alternativní dopravní řešení, které reaguje na tyto problémy, nabízí potenciál snižování dopravních zácp, emisí a efektivnějšího využití městského prostoru. Nabízí tak neobvyklý způsob dopravy pro rezidenty i turisty, u kterého se nabízí prostor pro rozvoj v oblasti zážitku z jízdy.

Designérská analýza identifikuje klíčové aspekty pro zlepšení uživatelského komfortu a celkové atraktivity vozu. Z analýzy vyplývá, že inovativní funkce, jako je prosklená podlaha, jsou vhodné hlavně pro turistické atrakce, kde lze omezit počet osob ve vozidle a zajistit tak nerušený výhled dolů. Tato funkce by ale nebyla praktická pro běžný denní provoz, jelikož by lidé stojící na skle zabránili výhledu ostatním cestujícím. Ideální z ergonomického pohledu nejsou také sedadla otočená kolmo ke směru jízdy, kdy cestující naproti sebe mohou zažívat nepříjemný oční kontakt. Tento typ sedadel je vhodný pro přepravu ve velkých metropolitních oblastech, kde je potřebná kapacita mnohonásobně vyšší.

Trendem u současných vozů je podpora pocitu vzdušnosti a otevřenosti. Příkladem je projekt „the Optics Valley Photon“, kde velká panoramatická okna a minimalizace vizuálních bariér přinášejí do interiéru dostatek světla. Často ale nedochází k propojení potenciálního výhledu, která takto velká okna nabízejí, a ergonomie. Takže cestující často nemají ideální výhled ani komfortní sezení.

Co se týče systému, tak v současnosti je využíván nejvíce systém SAFEGE. Dle analýzy nabývá na popularitě ve srovnání s původním systémem z Wuppertalu, který se stává méně využívaným. Důraz je kladen také na vývoj závěsných tramvají, které budou schopné autonomního řízení.

Z hlediska bezpečnosti je nutná implementace únikového východu, což je v závěsných tramvajích komplikovaná záležitost. Existují v současnosti dvě možnosti evakuace: tzv. „Escape Chute“ a nouzový přechod, který je vysunut ze záchraného vozidla, do kterého se cestující mohou přesunout.

## 2.6 Identifikace novosti a příležitostí

Aktuální konstrukce závěsných tramvají často nesplňuje očekávání všech cestujících v poskytování adekvátního výhledu, což otevírá možnost pro lepší vizuální zážitek. Zároveň jelikož závěsné tramvaje slouží jako propojení MHD s turistickou atrakcí, bylo by vhodné poskytnout cestujícím informace o budovách, kolem kterých projíždějí. Je možné představit nejen budovy, ale také přehled aktuálních kulturních akcí, které se v nich odehrávají. Jakékoli změny v interním rozložení ovlivní vnější design, přičemž je důležité, aby jednotlivé segmenty stále fungovaly harmonicky dohromady a odpovídaly charakteristice závěsného vozu.

## 3 CÍLE PRÁCE

Tato část práce čerpá z provedené analýzy závěsných tramvají. Zabývá se určením problémové oblasti, specifikací zákazníka, spotřebitele a potenciálního trhu. Dále je zde analyzována cena a použité výrobní technologie. Následně byly definovány hlavní a vedlejší cíle pro splnění diplomové práce.

### 3.1 Vymezení problému

#### 3.1.1 Název produktu a jeho klasifikace

Tématem této diplomové práce je design závěsné tramvaje. Závěsná tramvaj se odlišuje od klasické tramvaje tím, že je zavěšena v určité výšce na nosné konstrukci s kolejí, po které se vůz pohybuje.

Závěsná tramvaj může být definována jako materiální produkt – výrobek, konkrétně jako speciální spotřební zboží, na které je zvláštní poptávka a je předpokládána výroba na zakázku.

#### 3.1.2 Specifikace zákazníka

Zákazníkem mohou být města, která hledají efektivní a udržitelná řešení pro hromadnou dopravu. Dále také města, která čelí narůstajícímu počtu obyvatel a rozšiřující se urbanizaci, což vede k významnému nárůstu dopravních zácp a omezenému prostoru pro rozvoj dopravní infrastruktury. Tento trend je důsledkem globalizace a ekonomického růstu, které přinášejí nové výzvy pro hromadnou dopravu. V reakci na tyto výzvy hledají města inovativní a prostorově úsporná řešení, která umožní zlepšit plynulost dopravy a snížit znečištění ovzduší. Závěsná tramvaj se jeví jako jedno z možných řešení, které umožňuje překonat terénní překážky a menší výškové rozdíly, aniž by bylo nutné rozšiřovat pozemní dopravní síť.

#### 3.1.3 Specifikace spotřebitele

První skupinou spotřebitelů jsou rezidenti města a jeho blízkého okolí. Pro ně by závěsná tramvaj mohla být praktickým způsobem, jak se pohybovat po městě a okolí, například pro cestování do práce nebo ve volném čase.



Další skupinou jsou turisté, kteří navštěvují město. Pro ně by závěsná tramvaj mohla být atraktivním způsobem, jak prozkoumávat město a jeho okolí, nabízející dostatečný výhled a zábavné nebo naučné prvky, které by zvýšily jejich zážitek z cesty.

### 3.1.4 Specifikace uživatele

Pod uživatele spadají pracovníci údržby. Mezi nimi technici, kteří provádějí pravidelnou údržbu, opravy a servisní práce, aby zajistili, že tramvaj bude v dobrém technickém stavu a bude bezpečně fungovat. Dále sem patří pracovníci, kteří se starají o čistotu a údržbu interiéru a exteriéru tramvaje, aby byl prostor pro cestující příjemný a bezpečný.

### 3.1.5 Specifikace trhu, ceny a použitých výrobních technologií

Tento produkt bude primárně určen pro evropský trh, musí tedy splňovat kritéria, která jsou pro tento trh standardní, například musí mít nainstalovaný systém založený na ETCS (European Train Control System). Práce by měla podléhat standardům projektu Smart City, který má za cíl navýšení kvality života, komfortu a bezpečí.

V dopravě lze těchto složek dosáhnout skrze zajištění kvalitního propojení území, atraktivní veřejné hromadné dopravy a dopravních systémů, zajištění kvalitních podmínek pro rezidenty v zatížených oblastech, podporu bezpečnosti dopravy

Podle podobných typů monorail tramvají a podle ceny výroby tramvají by se cena jednoho vozu pohybovala mezi 20–40 miliony Kč. [47] [48]

Z výrobního hlediska se tramvaj skládá ze svařených ocelových profilů, které tvoří rám. Alternativou k oceli může být rám z lehkých slitin AlMgSi. [49] Díly opláštění mohou být tvořeny z laminátu, který musí dlouhodobě odolávat mechanickému namáhání a povětrnostním vlivům. Laminát se také používá na prvky v interiéru jako obložení stropů, nadedvevní kryty, okenní zákryty, a mnoho dalších komponentů. U těchto dílů jsou kladeny nároky především na bezpečnost a estetiku. [50] Okna a průhledné výplně ve dveřích jsou vyrobeny z bezpečnostního skla.

### 3.1.6 Vymezení atributů a cílů produktu

Díky podrobné rešerši bylo možné určit problémové oblasti stávajících produktů. Jelikož při návrhu daného typu tramvaje jde o propojení dopravy pro rezidenty a turisty, je důležité propojit požadavky pro splnění potřeb těchto cílových skupin. V současnosti existují řešení pro každou cílovou skupinu zvlášť, ale žádné nekombinuje běžné dojíždění s možností zážitkové jízdy.

Na základě analýzy byla sestavena tabulka shrnující přehled atributů, cílů, omezení, funkcí a prostředků.

Charakteristika	Cíle	Omezení	Funkce	Prostředky
Propojení MHD s prvky atrakce	✓			
Umístění informačních prostředků	✓			✓
Přeprava dostatečného počtu cestujících	✓	✓	✓	
Zajištění výhledu pro více cestujících	✓			
Respektování rozměrů vnitřních komponent a jejich uspořádání		✓		
Bezbariérový přístup	✓	✓		
Vhodné tvarové a barevné členění				✓
Respektování ergonomie člověka	✓			
Intuitivní a ergonomické ovládací prvky	✓		✓	
Zřetelné vizuální sdělovače	✓			✓
Vhodný typ závěsného zařízení		✓	✓	
Zaručení komfortu a bezpečí při jízdě	✓		✓	
Snadná údržba		✓		
Autonomní řízení			✓	
Respektování systému ETCS		✓		
Implementace Smart City projektu			✓	✓

Tab. 3. 1 Vymezení atributů a cílů produktu.

## 3.2 Cíl vývoje

Cílem této práce je vytvořit koncepční design závěsné tramvaje určené pro město Brno, která by zatraktivnila MHD pro obyvatele i turisty a pomohla by k odlehčení současné dopravní situace.

### 3.2.1 Dílčí cíle

- Rozmístění interiéru pro sezení 40–50 osob s důrazem na komfort a prostornost, včetně ergonomicky navržených sedadel, která umožňují cestujícím pohodlně strávit jejich cestu.
- Bezpečné stání pro minimálně 70 osob s implementací madel, která zajistí stabilitu cestujících i v přeplněném voze.
- Bezbariérový nástup a výstup k zajištění snadného přístupu pro všechny skupiny uživatelů, včetně osob s omezenou mobilitou.
- Více míst s rozšířeným výhledem oproti současným závěsným tramvajím, která nesnižují kapacitu a umožní cestujícím lepší vizuální zážitek a propojení s městským prostředím.
- Integrace obrazovek k poznávání města, které zároveň zobrazují stanice a poskytují interaktivní informace o historických a kulturních místech.

## 4 KONCEPČNÍ NÁVRH

### 4.1 Analýza cílů a specifikace omezení

Cíle a omezení stanovené v předchozí kapitole byl roztrženy do pěti kategorií:

#### 1. Ergonomie:

- prostor pro stání a sezení, včetně prostoru pro invalidní vozík, kočárek, kolo,
- zajištění snadné orientace v prostoru a při jízdě,
- prostorné uličky,
- bezbariérový přístup,
- ergonomické umístění ovladačů a sdělovačů.

#### 2. Bezpečnost:

- evakuační přechod,
- stabilita vozu v zastávkách,
- protiskluzový povrch v interiéru.

#### 3. Funkčnost:

- snadná údržba,
- kapacita sezení 40 až 50 osob,
- kapacita stání více než 70 osob,
- autonomní řízení.

#### 4. Estetika:

- respektování vnitřních komponent,
- vhodné tvarové a barevné členění,
- přizpůsobení prostředí města,
- vizuální vyváženost.

#### 5. Uživatelský zážitek:

- zajištění výhledu pro více cestujících oproti současným vozům,
- místa s výhledem neomezující kapacitu vozu,
- integrace obrazovek s informacemi (kultura, památky).

## 4.2 Technická funkční analýza

### 4.2.1 Kapacita vozu

Aby vozy poskytlý výhled co nejvíce cestujícím, byl zvolen návrh jednočlánkového vozu, který umožňuje výhled v přední i zadní části vozu. Určení minimální potřebné kapacity vozu vychází z rozměrů, které jsou omezeny v Tab. 2. 2. a z maximální kapacity vozu tramvaje Škoda 45T.

Tento výpočet vychází z předpokladu, že by nejfrekventovanější linku č. 1 obsluhovala pouze tramvaj s největší kapacitou DPMB – Škoda 45T. Tento teoretický výpočet slouží k určení maximální možné kapacity potřebné pro přepravu osob na této lince a následně lze z něj určit minimální potřebnou kapacitu vozu závěsné tramvaje.

Maximální počet cestujících přepravených tramvají Škoda 45T na lince 1 by při naplněné kapacitě tramvaje činil 30 290 osob. Výpočty zahrnují různé intervaly, aby odrážely realistický provoz během celého dne.

Časový úsek [43]	Délka intervalu [min] [43]	Maximální počet cestujících
05:50–07:10	10	1 864
07:10–19:02	7	23 533
19:10–21:40	10	3 495
21:53–23:23	15	1 398
	<b>Celkem za den</b>	<b>30 290</b>

Tab. 4. 1 Počet přepravených cestujících tramvají Škoda 45T

Následně byly vypočítány intervaly pro závěsnou tramvaj na základě maximálního počtu cestujících z Tab. 4.1 v jednotlivých časových úsecích a díky tomu mohla být určena potřebná kapacita závěsné tramvaje v různých denních dobách. Časové úseky byly rozděleny na určitý počet intervalů. Maximální počet cestujících byl následně vydělen počtem intervalů, z čehož vyplynula potřebná minimální kapacita závěsné tramvaje.

$$\text{Potřebná kapacita závěsné tramvaje} = \frac{\text{Maximální počet cestujících}}{\text{Množství intervalů v časovém úseku}}$$

Časový úsek	Délka intervalu [min]	Množství intervalů v časovém úseku	Potřebná kapacita závěsné tramvaje
05:50–07:10	5	16	116
07:10–19:02	3	236	99
19:10–21:40	5	30	116
21:53–23:23	7	12	116

Tab. 4. 2 Potřebná kapacita závěsné tramvaje v různých časových úsecích

Potřebná kapacita pro závěsnou tramvaj, která by zvládla v současnosti obsloužit teoreticky maximální možný počet cestujících na nejvytíženější lince č. 1 v Brně, je 116. Jelikož cílem této práce je zatraktivnit MHD a v budoucnosti by ideálně cestujících mělo přibývat, bude kapacita vozu navržena pro více než 116 cestujících.

#### 4.2.2 Zařízení

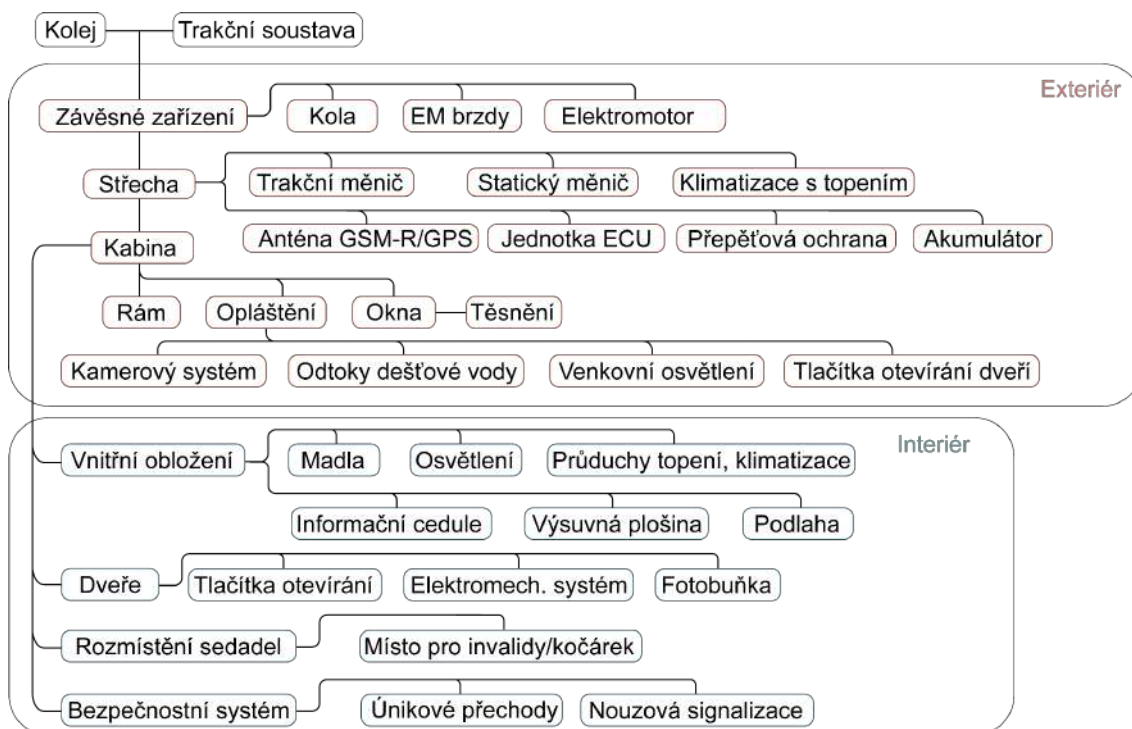
Pro provedení analýzy technických a funkčních aspektů je nezbytné důkladně definovat klíčové komponenty zařízení včetně jejich technických omezení, funkcí a rozměrů. Na základě těchto informací je pak možné vytvořit počáteční návrhy nového výrobku, které budou respektovat zamýšlené cíle. Obr. 4. 1. jednoduše znázorňuje důležitá zařízení závěsné tramvaje a jejich vzájemné propojení.

##### Exteriér

Vnější komponenty tramvaje jsou zásadní pro její pohyb a bezpečnost. Napájení zajišťuje trakční vedení s napětím 600V DC, které tramvaji dodává potřebnou elektrickou energii čtyřem elektromotorům. Pro udržení tramvaje na trase slouží závěsné zařízení SAFEGE, které umožňuje klidný a stabilní pohyb. Bezpečnost při jízdě zaručují elektromagnetické brzdy. Řízení všech elektrických systémů zastřešuje trakční měnič, zatímco statický měnič přetváří energii pro slaboproudé 24V obvody. Dalším prvkem je akumulátor Li-ion, který podporuje elektrické systémy při výpadku trakčního napětí. Komfort ve vnitřních prostorech zajišťuje klimatizační systém s topením. Pro navigaci a komunikaci slouží lokalizační anténa GSM-R s GPS systémem, která umožňuje přesné sledování polohy tramvaje.

## Interiér

Vnitřní prostor tramvaje musí být navržen s důrazem na pohodlí a bezpečnost cestujících. Vnitřní opláštění z plastu nebo laminátu, společně s výškou stropu mezi 2 100 až 2 500 mm, by mělo poskytovat dostatečný prostor a komfort. Nouzová signalizace je strategicky umístěna pro rychlou reakci v případě mimořádných situací. Kvalitní vnitřní osvětlení a informační cedule jsou potřebné pro poskytování dostatečných informací a vizuální pohodlí pro všechny cestující.



Obr. 4. 1 Glass box závěsné tramvaje

## 4.3 Návrh alternativních řešení

V následující podkapitole je detailně vysvětlen proces návrhu, který směřoval k vytvoření tří alternativních řešení. Z těchto variant byla zvolena ta neoptimálnější, jež byla dále podrobněji rozpracována. Celý tento proces byl formován na základě poznatků získaných zejména prostřednictvím designové a technické analýzy.

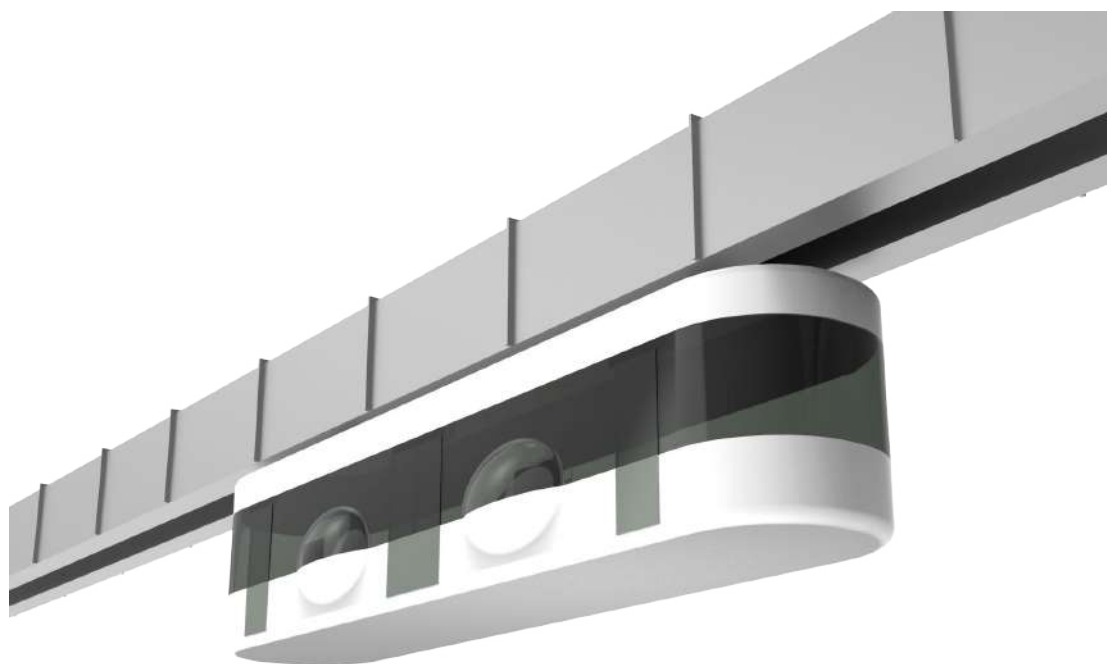
Při vytváření variantních studií bylo využito digitální skicování a 3D počítačové modelování. Po prozkoumání různých tvarových možností byly vybrány tři různé variantní návrhy tvarového řešení, které se lišily principem vnitřního uspořádání.

V průběhu navrhování docházelo k hledání optimálního vnitřního uspořádání, které zohledňuje dříve zmíněné skupiny cestujících a ergonomii člověka. Tvarování exteriéru poté přímo vychází z rozmístění jednotlivých prvků v interiéru.

Ve všech variantách jsou stejně rozmístěny jak provozní dveře, tak únikový východ, jelikož toto rozmístění zajistí plynulost nástupu a výstupu. Nástup bude probíhat prostředními dveřmi a výstup dveřmi na krajích, jediná výjimka je pro cestující s omezenou mobilitou, pro které je vymezen prostor přímo naproti a vedle dveří a budou mít možnost vystoupit opět prostředními dveřmi. Toto opatření sníží vznikající frustraci při protlačování se vozidlem a při střetu osob při nástupu a výstupu. Únikový východ se nachází naproti vchodových dveří. Dále u všech variant platí stejné umístění prostoru pro invalidní vozíky, popř. kočárky a kola, jelikož je vhodné umístit tyto skupiny přímo naproti dveří a zamezit tak zbytečnému manévrování v interiéru.

#### 4.3.1 Varianta I

První varianta vznikla propojením funkčnosti s organickými prvky. Inspirace k této variantě pochází z šupin na kůži krokodýla, jenž je ikonou Brna. Hlavním výrazovým prvkem jsou vypouklé dutiny minimalisticky symbolizující šupiny na bočním opláštění, do kterých jsou umístěny interaktivní obrazovky v interiéru.



Obr. 4. 1 Vizualizace Varianty I



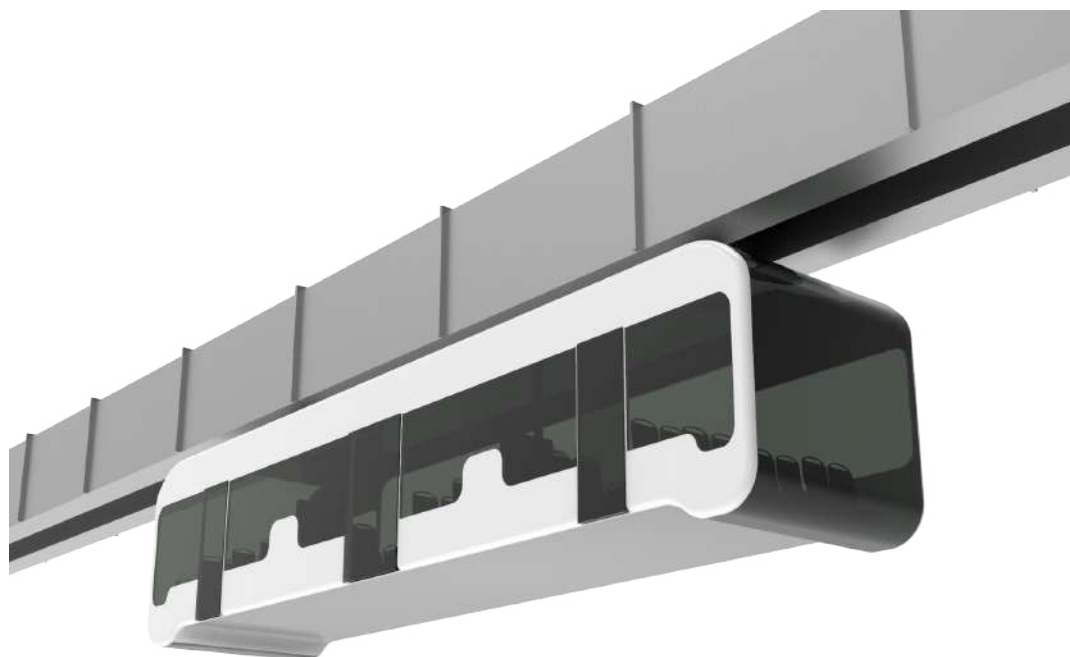
Velká okna jsou pásovité tažena podél celého vozu. Takto velká okna umožňují umístění promítací plochy, ale zároveň dostatečný výhled ze přední i zadní strany vozu. Tramvaj tak nabízí interaktivní zážitek cestujícím, kteří mohou na vnitřní straně sledovat promítané instalace a informace o trase. Místa s maximálním výhledem jsou u této varianty koncipovány do oblouku, což nabízí netradiční výhled ze přední a zadní strany vozu osmi cestujícím. Ve voze se nachází 40 míst na sezení a při maximálním zaplnění (5 os/m<sup>2</sup>) cca 90 míst na stání.



Obr. 4. 2 Schéma Varianty I

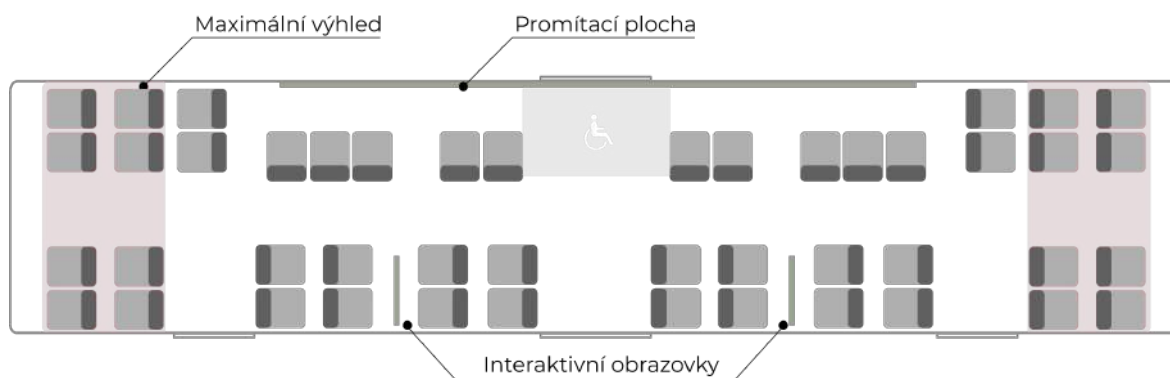
#### 4.3.2 Varianta II

Druhá varianta se od první odlišuje sníženým patrem ve přední a zadní části, což lépe znázorňuje absenci řidiče. Současně došlo k protažení čelního skla až k podlaze, což nabízí možnost většího pozorovacího úhlu. Tvarové řešení zahrnuje výrazné členitosti, které se projevují ve výstupcích na spodní části vozidla. Tato designová zvláštnost výrazně pozvedá originalitu této tramvaje v porovnání se současnými modely po celém světě. Tvarová členitost se následně odráží i na výřezech na oknech, které neslouží pouze k estetickým účelům. Tyto výřezy jsou přizpůsobeny pro fixaci a integraci interaktivních obrazovek. Tímto způsobem je cestujícím poskytnuto unikátní prostředí, kde mohou např. sledovat multimediální obsah, získávat praktické informace o Brně a také tipy na výlety.



Obr. 4. 3 Vizualizace Varianty II

Podobně jako u předchozí varianty je boční stěna využita jako promítací plocha. Rozdílné uspořádání interiéru v tomto případě umožnilo vytvořit více uliček pro východ z této části, což by mohlo urychlit pohyb cestujících. Snížené patro v přední a zadní části umožní výhled dohromady 16 cestujícím, což je dvakrát více než u první varianty. Interaktivní obrazovky jsou v této variantě dostupné 8 cestujícím. Kapacita pro sezení je 44 míst a při maximálním zaplnění cca 90 míst na stání.



Obr. 4. 4 Schéma Varianty II

### 4.3.3 Varianta III

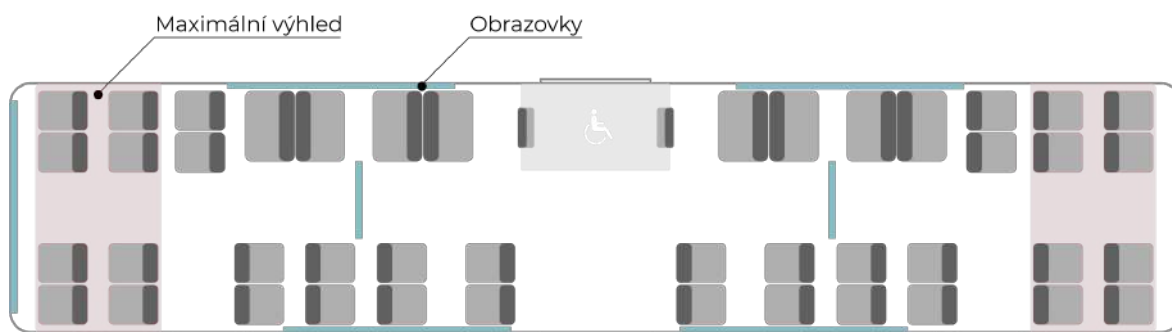
U třetí varianty také dochází ke snížení patra ve přední a zadní části. Zásadní rozdíl spočívá v umístění rozměrných zařízení, která byla u původních dvou variant na střeše vozidla, do prostoru pod tramvají, který vznikl díky snížení patra. Tato inovace má významný vliv na celkovou efektivitu využití prostoru. Přesunutí těchto zařízení pod vozidlo zároveň neovlivňuje bezbariérový nástup, čímž se odlišuje od běžných tramvají. Tvar tramvaje je oproti dvěma předchozím variantám dynamičtější a je u ní největší potenciál rozvoje.



Obr. 4. 5 Vizualizace Varianty III

Rozmístění interiéru odráží tradičnější rozložení vozů VHD, což umožní cestujícím snadnou orientaci. Zóna s maximálním výhledem je inspirována variantou 2, jelikož snížení patra lze považovat za optimální pro výhled více osob. Informace o kulturních událostech, turistických památkách atp. budou zobrazeny na obrazovkách umístěných pod stropem spolu s informacemi o jízdě tak, aby na ně viděli všichni cestující.

Ve voze se nachází 36 klasických sedadel, 8 prodloužených sedadel a 1 sklopné sedadlo. Kapacita pro sezení za předpokladu, že prodloužená sedadla jsou obsazena 2 osobami (např. rodič s dítětem nebo dvě děti) je 53. Pokud by na každém prodlouženém sedadle seděla jedna osoba bude kapacita pro sezení 45 osob. Kapacita pro stání je při maximálním zaplnění 100.



Obr. 4. 6 Schéma Varianty III

## 4.4 Analýza alternativních řešení a výběr nejlepšího

### Varianta I

Výhodou první varianty závěsné tramvaje je 100% bezbariérovost, která vede až k místům s maximálním výhledem. Zároveň tvarovost je řešena originálně a odráží charakter města Brna minimalistickým způsobem.

Nevýhodou by při promítání mohlo být prosvítání slunce do interiéru, tudíž by boční okna musela být zatmavena, aby cestujícím nesvítilo do očí, což by snížilo výhled z bočního okna. Část sedadel je orientována k bočním stěnám, což umožňuje optimální výhled na promítací plochy, avšak snižuje se tím celkový počet míst k sezení. K sedadlům orientovaným k obrazovce vedou dva úzké průchody, které zpomalují nástup a výstup cestujících. Takové uspořádání by bylo vhodné spíše čistě pro turistickou atrakci a mohlo by zdržovat cestující, kteří tuto linku využívají jako běžnou VHD. Celkově tato varianta klade důraz na estetiku a interaktivní zážitek, zatímco ergonomie a funkčnost mohou být mírně kompromitované ve prospěch vizuálního a interaktivního dojmu. Z hlediska údržby se musí opraváři zařízení vyskytovat poblíž trakčního vedení, což může být při nedbalosti nebezpečné.

### Varianta II

Výhodou druhé varianty je maximální výhled pro velké množství cestujících. Interaktivní obrazovky by také mohlo využívat větší množství cestujících, než tomu bylo u první varianty. Zároveň je lépe vyřešen průchod cestujícím do zóny s promítací plochou.

Za nevýhodu by mohlo být považováno přepažení prostoru mezi sedadly interaktivními obrazovkami, což by například pro rodinu s dětmi nebylo ideální, jelikož by na sebe přes obrazovku neviděli a není tady vytvořený jiný prostor pro více než 3 osoby pohromadě. Problematika s promítací plochou a údržbou zařízení je stejná jako u předchozí varianty.

### Varianta III

Výhodou třetí varianty je snadná orientace cestujících v prostoru, rychlý nástup a výstup, vysoký počet míst na sezení i bezpečná místa na stání. Tyto aspekty jsou důležité pro hlavní cílovou skupinu, což jsou pravidelně dojíždějící rezidenti města. Nejsou vynechány ani zábavné prvky jako informace o památkách a kultuře, které jsou promítány na obrazovkách. Tyto obrazovky negativně neovlivňují vnitřní uspořádání a jsou viditelné ze všech míst. Údržba většiny zařízení probíhá pod vozem, tudíž nedochází k hrozbě úrazu elektrickým proudem.

Nevýhodou je optické oddělení části pod podlahou s bočním krytváním, což nepůsobí harmonicky.

Varianty byly následně obodovány na základě pečlivé analýzy stanovených cílů. Tato hodnocení reflektují různorodá kritéria, která jsou klíčová pro dosažení optimálního výsledku. Jednotlivé parametry byly posuzovány a hodnoceny na stupnici 1–10 bodů, kde hodnota 10 zastupuje maximální dosažitelnou úroveň plnění daného kritéria.

<b>Aspekty hodnocení</b>	<b>Varianta I</b>	<b>Varianta II</b>	<b>Varianta III</b>
Počet míst na sezení	7	8	10
Počet míst na stání	9	9	10
Bezbariérovost	10	9	9
Údržba	5	5	10
Orientační prvky	7	7	9
Vizuální vyváženost	10	9	8
Maximální výhled	5	10	10
Komfort cestujících	6	7	9
Plynulost pohybu	5	6	10
<b>Celkem</b>	<b>64</b>	<b>70</b>	<b>85</b>

Tab. 4. 3 Porovnání variant

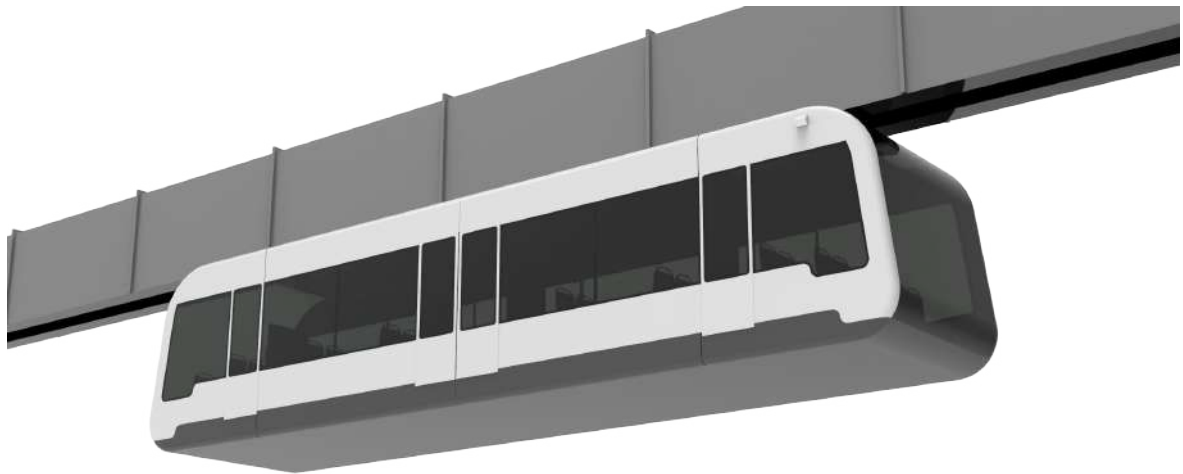
Při porovnání možností nejlépe vychází třetí varianta, jelikož je nejvíce vhodná pro nejpočetnější cílovou skupinu, což jsou pravidelně dojíždějící rezidenti. První a druhá varianta mají sice dostatečnou kapacitu pro přepravu v současnosti, ale pokud by došlo k nárůstu cestujících, nebylo by toto vnitřní uspořádání vhodné.

## 5 PŘEDBĚŽNÝ NÁVRH

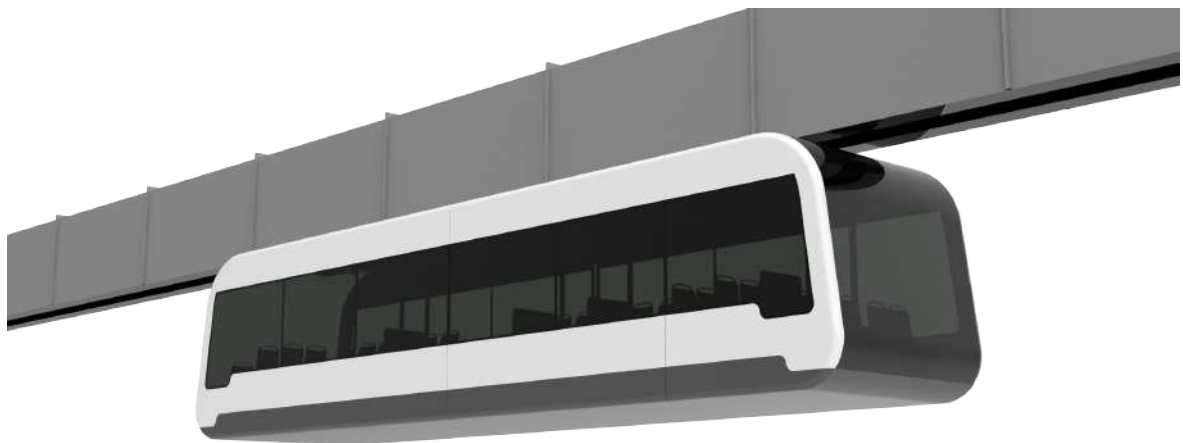
### 5.1 Určení tvaru

Jako finální varianta byla vybrána varianta III. V této variantě dochází k optimálnímu propojení mezi interiérem, nezbytnými zařízeními a designem exteriéru.

Předběžný návrh má proti variantnímu zaoblenější a hladší kontury, což dodává modernější a aerodynamický vzhled. Toto zaoblení je zřejmé zejména na přední a zadní části vozu. Opláštění dveří plynule navazuje na opláštění pod okny čímž získává bok vozu kompaktnější vzhled. Přední a zadní okno bylo rozšířeno, což umocňuje aerodynamický tvar vozu a zvyšuje pocit prostornosti a plynulosti celkového designu.

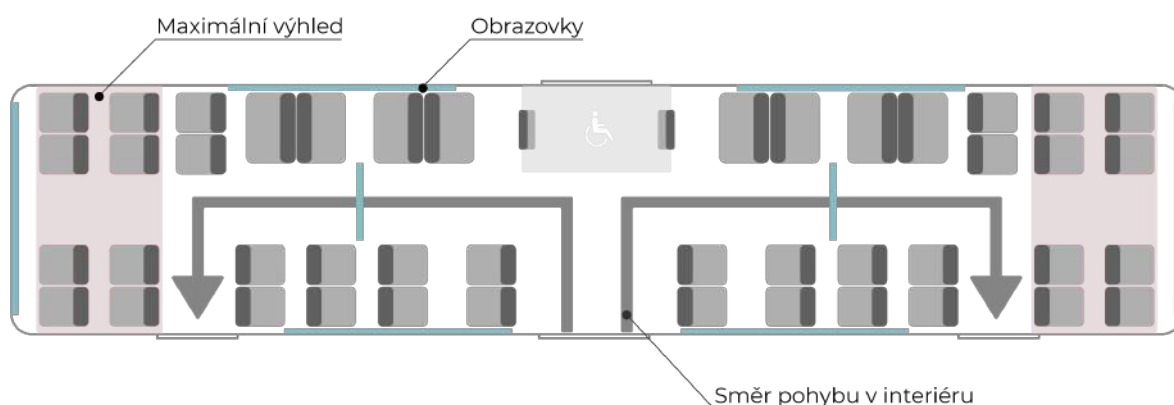


Obr. 5. 1 Předběžný návrh



Obr. 5. 2 Předběžný návrh zadní strana

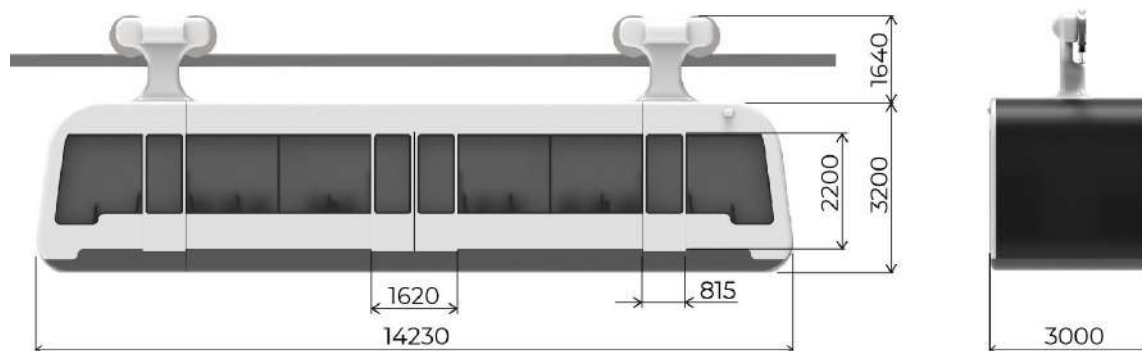
Schéma znázorňuje rozmístění sedadel v interiéru a směr pohybu v interiéru. Nástup probíhá dveřmi uprostřed a výstup dveřmi po bocích.



Obr. 5. 3 Rozmístění interiéru

## 5.2 Určení rozměrů

Rozměry předběžného návrhu byly určeny vzhledem k rozměrům vnitřních součástí, ergonomickým požadavkům a rozměrovým omezením. Rozměry předběžného návrhu činí  $1\,420 \times 3\,000 \times 3\,200$  mm, zatímco výška stropu v interiéru dosahuje 2 350 mm. Prostřední dveře jsou dvoudveřové o šířce 1 620 mm, což je optimalizováno pro pohodlný nástup kočárků a invalidních vozíků. Dveře na okrajích mají standardní šířku 815 mm.



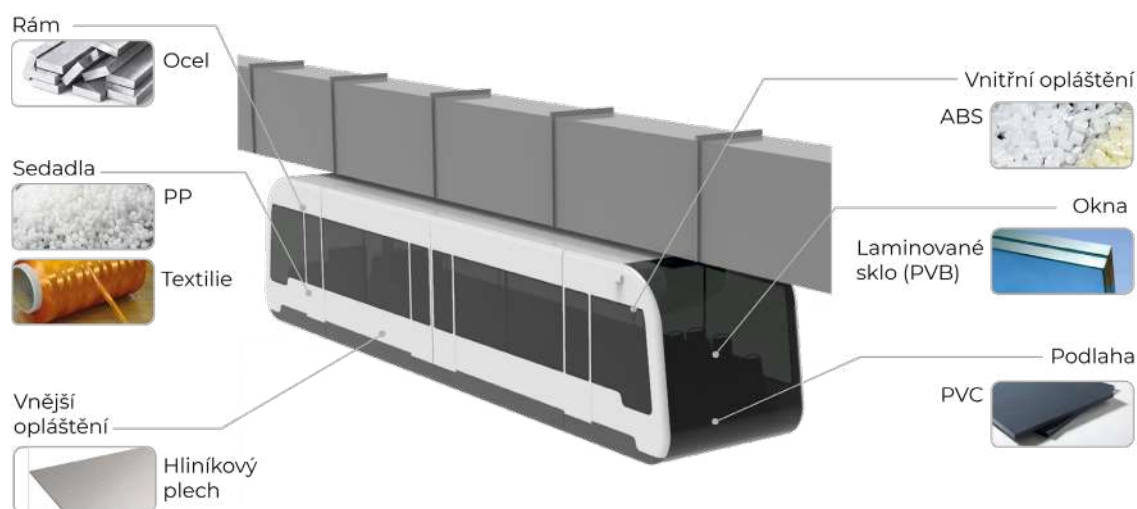
Obr. 5. 4 Rozměry předběžného návrhu v mm



## 5.3 Určení materiálů

Pro konstrukci tramvajových dílů budou využity různé materiály s ohledem na specifické požadavky a funkčnost jednotlivých částí. Rám tramvaje bude vyroben z oceli, s využitím technologie svařování pro zajištění pevnosti a odolnosti. Vnější opláštění bude zhotoveno z dílů z ohýbaného plechu a dílů z laminátů, což umožní dosažení přesného tvaru a esteticky působivého vzhledu.

Okna tramvaje budou vybavena bezpečnostním sklem, kde bude použit polyvinylbutyrát společně se sklem zpracované technologií vakuového lisování. Vnitřní opláštění bude zhotoveno z ABS plastu, aplikovaného pomocí technologie laminace. Protiskluzová podlaha tramvaje bude z materiálu Altro Transflor Meta™, který je odolný a má zaručené neměnné vlastnosti po dobu 15 let. Madla budou z oceli s povrchovou úpravou Komaxit, která zahrnuje techniky tažení a ohýbání. Sedadla budou kombinací plastu (vstříkování) a protiskluzové textilie pro dosažení optimálního pohodlí a estetického vzhledu.



Obr. 5. 5 Materiálové řešení

## 5.4 Odhad výrobních nákladů a objemu výroby

Vzhledem ke skutečnosti, že závěsné tramvaje představují produkt vyráběný na zakázku a nezapadají do kategorie masové produkce, byl kladen důraz na flexibilitu výroby a vysokou kvalitu. Pro dosažení odpovídající ceny byly vybrány technologie a materiály, které umožňují efektivní výrobu bez ztráty výkonu a bezpečnosti. Analýzou cen závěsných tramvají, vyráběných stejným procesem, a nákladů na jednotlivé komponenty byla stanovena odhadovaná cena pohybující se v rozmezí 20–35 milionů Kč za jeden vůz. Tato cena odpovídá střední cenové hladině současných zakázkově vyráběných tramvají na evropském trhu.

Předpokládá se, že výroba bude probíhat ve formě menších sérií zaměřených na trh Evropské unie s odhadovanou výrobou 20–30 kusů ročně. Tímto přístupem je zajištěna flexibilita a schopnost reagovat na specifické požadavky zákazníků. Jelikož závěsné tramvaje splňují vysoké standardy evropských přepravních systémů, lze očekávat zájem o tuto zakázkovou výrobu ze strany měst a dopravních společností hledajících inovativní a efektivní řešení veřejné dopravy.

<b>Součást</b>	<b>Odhadovaná cena (Kč)</b>
Ocelový rám	800 000
Vnější opláštění (plech a lamináty)	800 000
Tepelná izolace	500 000
Pohonné systémy SAFEGE	6 000 000
Bezpečnostní skla	800 000
Vnitřní opláštění (ABS plast)	650 000
Podlaha (PVC)	300 000
Madla (ocel s Komaxit úpravou)	200 000
Sedadla	650 000
Dveře	600 000
Informační obrazovky (interiér)	500 000
Exteriérové obrazovky	120 000
Osvětlení interiéru	110 000
Povrchové úpravy (barva)	400 000
Statický měnič	100 000
Klimatizace a topení	350 000
Trakční měnič	600 000
Anténa GSM-R/GPS	40 000
Jednotka ECU	120 000

Přepěťová ochrana	50 000
Akumulátor	150 000
Reproduktory	130 000
Elektromechanický systém otevírání dveří	220 000
Senzory dveří	100 000
Řídicí a monitorovací systémy	1 500 000
Bezpečnostní systémy	750 000
Elektronika a elektroinstalace	2 500 000
Vývoj a design	1 500 000
Montáž a sestavení	800 000
<b>Celkem</b>	<b>21 340 000</b>

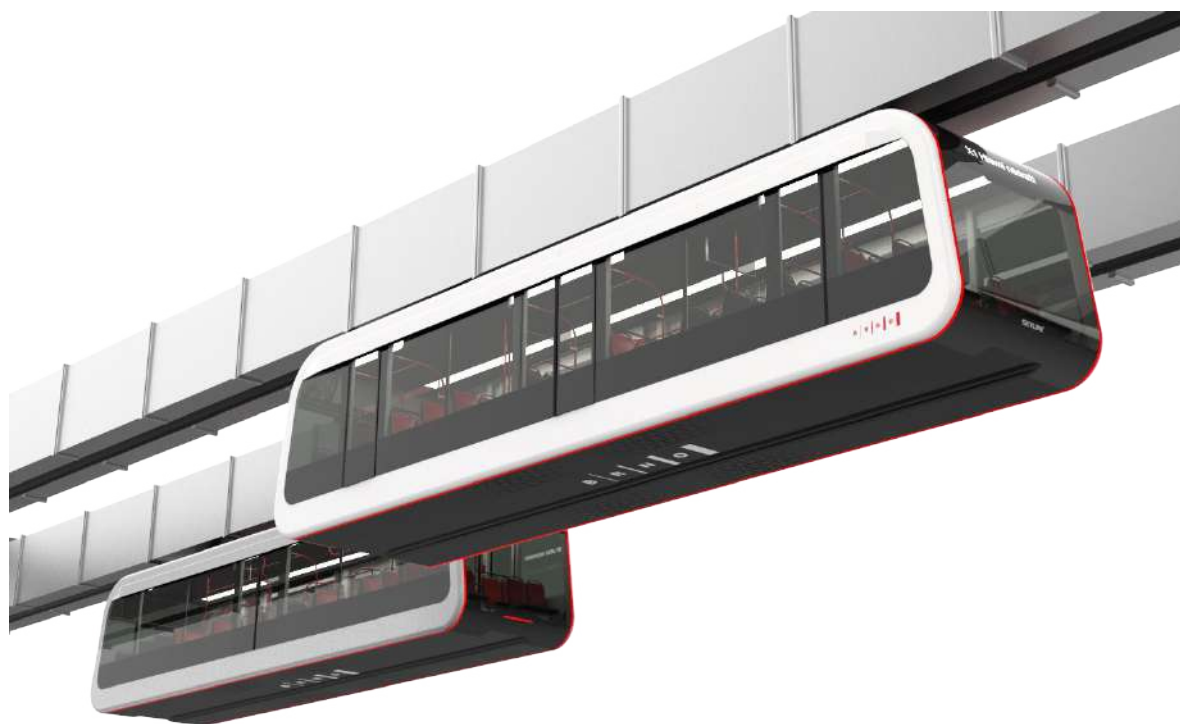
Obr. 5. 6 Odhad výrobních nákladů

## 6 DETAILNÍ NÁVRH

Závěsná tramvaj představuje nejen technologickou inovaci, ale ve mnoha městech se stává ikonickým prvkem, který přitahuje turisty a oživuje městský prostor. Při návrhu tohoto vozidla je nutné pečlivě zvážit estetické a funkční aspekty, aby tramvaj harmonicky splynula s městským prostředím. Přestože může zpočátku působit jako narušení tradičního vizuálního charakteru města, správně implementovaný design může městu přinést značné přínosy. Efektivní tvarové, konstrukční a ergonomické řešení by mělo zajistit, že tramvaj bude nejen vizuálně přitažlivá, ale také bezpečná a komfortní pro všechny cestující.

### 6.1 Tvarové řešení

Finální návrh tramvaje SkyLine se liší od předběžného návrhu vizuálním sjednocením, které je dosaženo díky kompaktnějším bočním stěnám a eliminaci nadbytečných prvků, což vozidlu dodává futuristický a celistvý vzhled. Hladké zaoblené linie exteriéru nejen symbolizují směr jízdy, ale také dodávají dynamiku celkovému designu. Kombinace bílého a černého opláštění doplněná tónovanými skly vytváří kontrast, který je však pečlivě vyvážen, aby působil sjednoceně a esteticky přitažlivě. Výrazné tvarování ještě umocňují červená světla lemující celý exteriérový obrys, což přidává atraktivní vizuální prvek, který podtrhuje moderní charakter designu.



Obr. 6. 1 Tvarové řešení

### 6.1.1 Závěsná zařízení

Integrace závěsných zařízení je klíčová pro celkovou funkčnost. Propojení zařízení se střechou je navrženo pomocí zaoblení tak, aby co nejméně zasahovalo do čistého vzhledu tramvaje. Opláštění závěsné konstrukce na střeše vozidla plynule přechází do výrazného výstupku na střeše, který slouží jako vizuální protiváha odebrané hmoty ve spodní části vozu a také v sobě ukrývá část střešní konstrukce.



Obr. 6. 2 Propojení závěsného zařízení se střechou

### 6.1.2 Opláštění a okna

Tvarování výstupku a vyhloubení se odráží i v propojení opláštění s panoramatickými okny. Okna jsou zasazena do opláštění, na jehož konci je zkosením ukončen tvarový prvek výstupku ze střechy a vyhloubení ze spodní části karoserie. Ve zkoseném výstupku je ve přední části umístěno logo tramvaje a v zadní části jsou výstupky využity k implementaci brzdných světel. Čelní i zadní okno vede přímo od podlahy, což umožňuje cestujícím v prvních a posledních dvou řadách nerušený výhled. Důraz na velkorysé prosklené plochy spolu s LED stropními panely zajišťuje, že interiér je prosvětlený a otevřený, což podporuje pocit prostornosti uvnitř.



Obr. 6. 3 Čelní panoramatické okno



Obr. 6. 4 Zadní panoramatické okno

Opláštění pod bočními okny je navrženo tak, aby splývalo s tónováním oken, čímž vytváří iluzi téměř celoplošných oken. Toto řešení nejenže poskytuje cestujícím rozsáhlý výhled, ale zároveň zvyšuje jejich pocit soukromí tím, že je částečně skrývá před zraky kolemjdoucích. Zaoblené okna opisuje tvar vozidla a přispívá k dynamickému vzhledu tramvaje. Nad okny se nachází římsa, která slouží k vedení mechanismu otevírání dveří. Je diskrétně integrována do bočního opláštění a přispívá k jednoduchosti celkového vizuálního dojmu.



Obr. 6. 5 Postranní okna

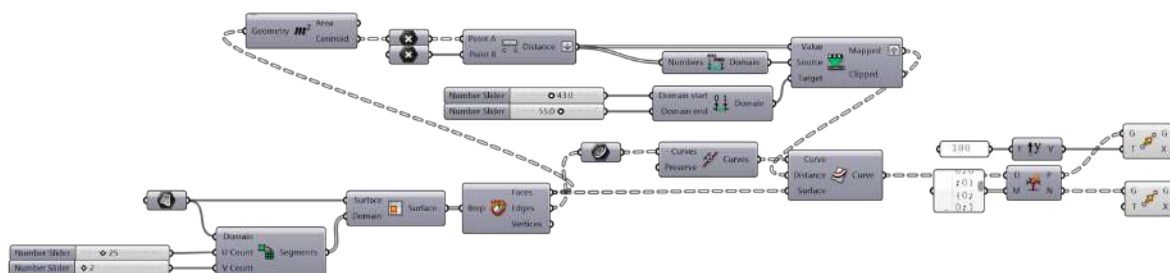
### 6.1.3 Odvětrávání

Spodní část opláštění je rozdělena do čtyř dílů, které umožňují přístup k zařízením. Opláštění obsahuje prohlubeň, která slouží k nájezdu stabilizačních kol v zastávkách. Tato kola zamezují kývání při nástupu. Jednotlivé prvky průduchů na spodní části tramvaje jsou inspirovány rozšiřujícími se obdélníky, jak je tomu u loga města Brna. Průduchy přivádí vzduch do prostoru se zařízeními, které potřebují odvětrávání. Vzor byl vytvořen za pomoci programu Grasshopper.



Obr. 6. 6 Spodní část opláštění

Grasshopper skript poskytuje vysoce flexibilní systém umožňující manipulaci s geometrií k vytvoření vzorů na opláštění tramvaje. Díky posuvníkům lze vzory upravovat, což umožňuje experimentování s různými možnostmi. Skript pracuje s obdélníkovou částí opláštění, která je rozdělena do zvoleného počtu řad a sloupců. V centru této plochy je definován bod, od kterého se průduchy postupně zmenšují směrem ke kraji. Následně byl aplikován offset obdélníkových dílů, který tvoří průduchy ve výsledném vzoru. Pro dosažení esteticky příjemnějšího vzhledu došlo k posunutí každého druhého sloupce o polovinu jeho výšky.



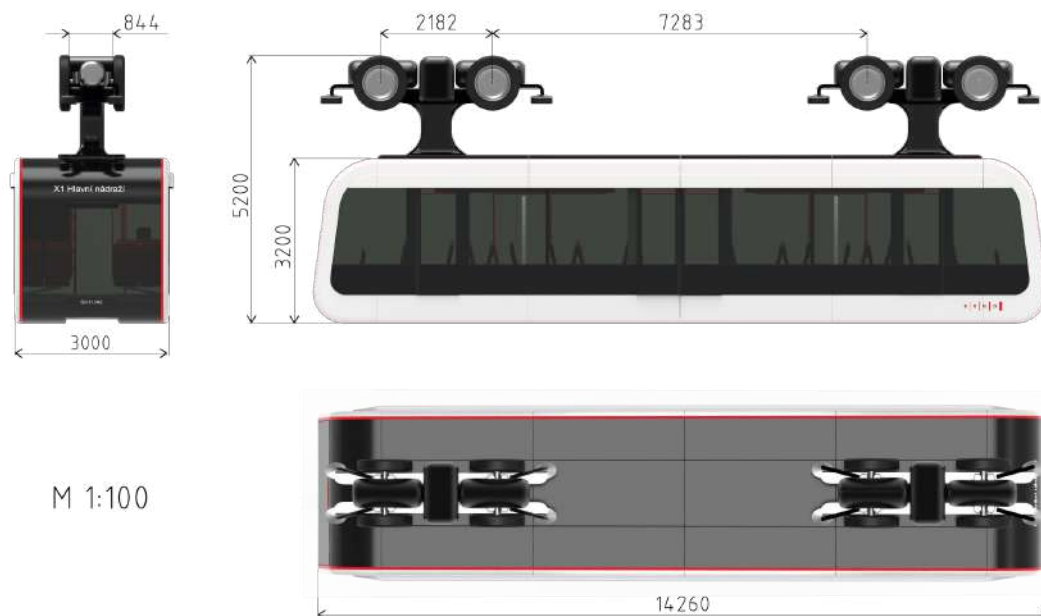
Obr. 6. 7 Grasshopper skript

## 6.2 Konstrukční návrh

### 6.2.1 Základní rozměry

Rozměrové řešení vychází z vnitřního uspořádání zařízení a prvků v interiéru. Celkové rozměry vozu jsou: délka 14 260 mm, šířka 3 000 mm a výška se závěsnou konstrukcí 5 200 mm a výška samotné kabiny 3 200 mm. V porovnání s průměrem konkurenčních vozů je kabina delší, ostatní typy závěsných tramvají však spojují více vagonů dohromady. Vzdálenost mezi středy pojezdových kol vychází z možných řešení v současnosti.





Obr. 6. 8 Rozměrové řešení

## 6.2.2 Uspořádání technického vybavení

Základní strukturu tramvaje tvoří robustní rám, ke kterému je připojeno závěsné zařízení SAFEGE. Toto zařízení zahrnuje pojezdovou soupravu s dvěma nápravami, které jsou vybaveny pneumatikami z pevné pryže pro zajištění tichého chodu. Vodicí boční kola zvyšují stabilitu během jízdy. Pohonný systém vozidla se skládá ze dvou samostatných modulů, z nichž každý obsahuje dvojici paralelně zapojených elektromotorů napájených střídavým napětím 400 V z třífázové elektrické sítě. V případě výpadku jednoho z modulů může tramvaj pokračovat v jízdě díky druhému funkčnímu systému.

Brzdný systém vozidla využívá elektromagnetické brzdy, které umožňují efektivní zastavení. Tyto brzdy jsou důležité pro bezpečnost, neboť umožňují přesné a rychlé reakce v nouzových situacích. Mezi další významné prvky patří hydraulické tlumiče spojující kabinu a nápravy, což zajišťuje lepší absorpci vibrací a celkově stabilnější jízdu.

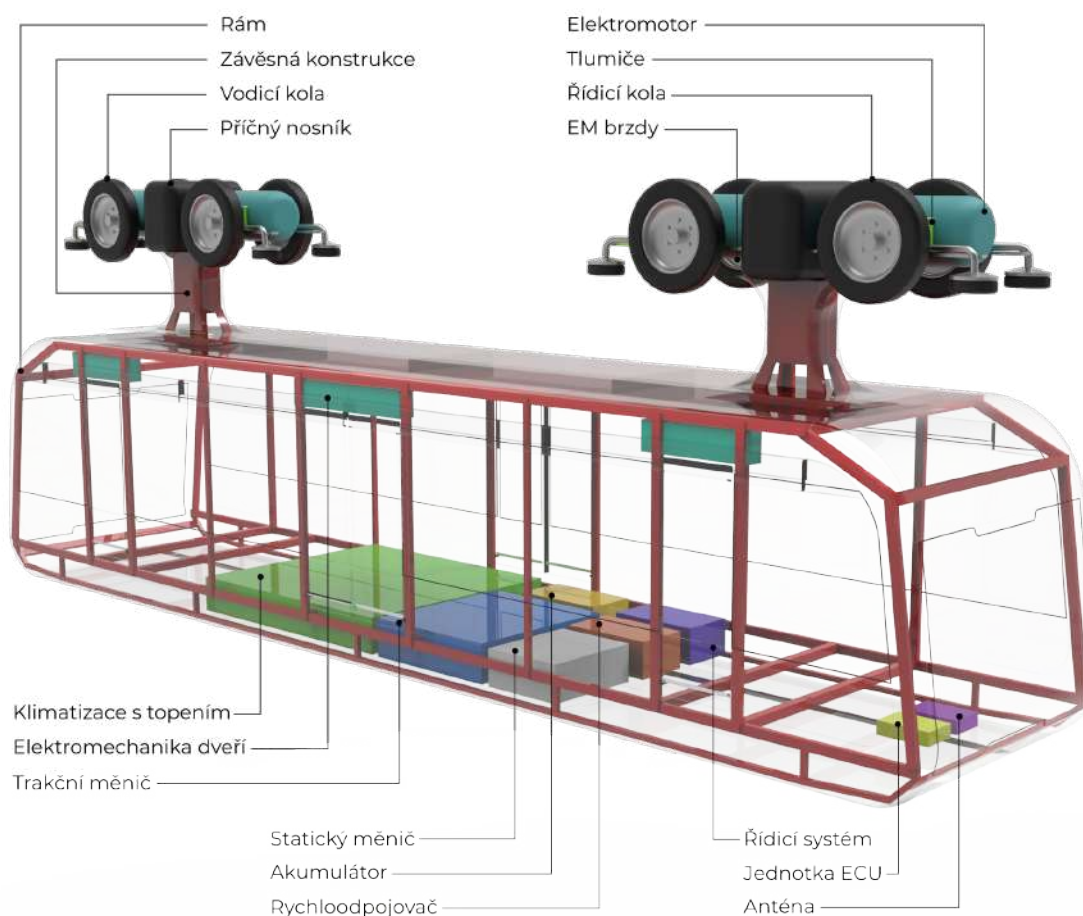
V prostoru nade dveřmi pod římsou se nachází elektromechanický systém na otevírání a zavírání dveří. Tento systém zahrnuje několik komponent, jako jsou elektromotory, vodicí kolejnice a senzory. Elektromotory pohánějí mechanismus, který přesouvá dveře do strany po kolejnících. Senzory zajišťují, že se dveře otevrou pouze tehdy, když je vozidlo bezpečně zastaveno a zavřou se, jakmile všichni cestující nasednou nebo vystoupí.

Pod podlahou vozidla se dále nachází zařízení zajišťujících komfort a funkčnost tramvaje. Klimatizační a topný systém efektivně reguluje teplotu uvnitř vozidla, přičemž chlazený nebo ohřátý vzduch je distribuován do interiéru prostřednictvím průduchů umístěných u stropu. Vedle toho je zde umístěn trakční měnič, který přetváří energii z trolejového vedení na elektřinu vhodnou pro pohon elektromotorů, což umožňuje hladký chod tramvaje.

Dalším důležitým zařízením je statický měnič, který dodává elektrickou energii pro další systémy na palubě, včetně osvětlení, klimatizace a dalších elektrických zařízení. Rychloodpojovač a akumulátory jsou umístěny tak, aby byly snadno přístupné pro údržbu, což usnadňuje pravidelné kontroly a servis.

Řídicí systém tramvaje, včetně jednotky ECU (Electronic Control Unit) a antény, je strategicky umístěn tak, aby byl ochráněn před vnějšími vlivy, zároveň ale zůstal snadno dostupný pro technický personál.

Umístění zařízení pod podlahu tramvaje významně přispívá k bezpečnosti údržby. Toto uspořádání zajišťuje, že pracovníci při provádění servisu nebo kontrol nemusí být v blízkosti trolejového vedení, což snižuje riziko úrazu elektrickým proudem.



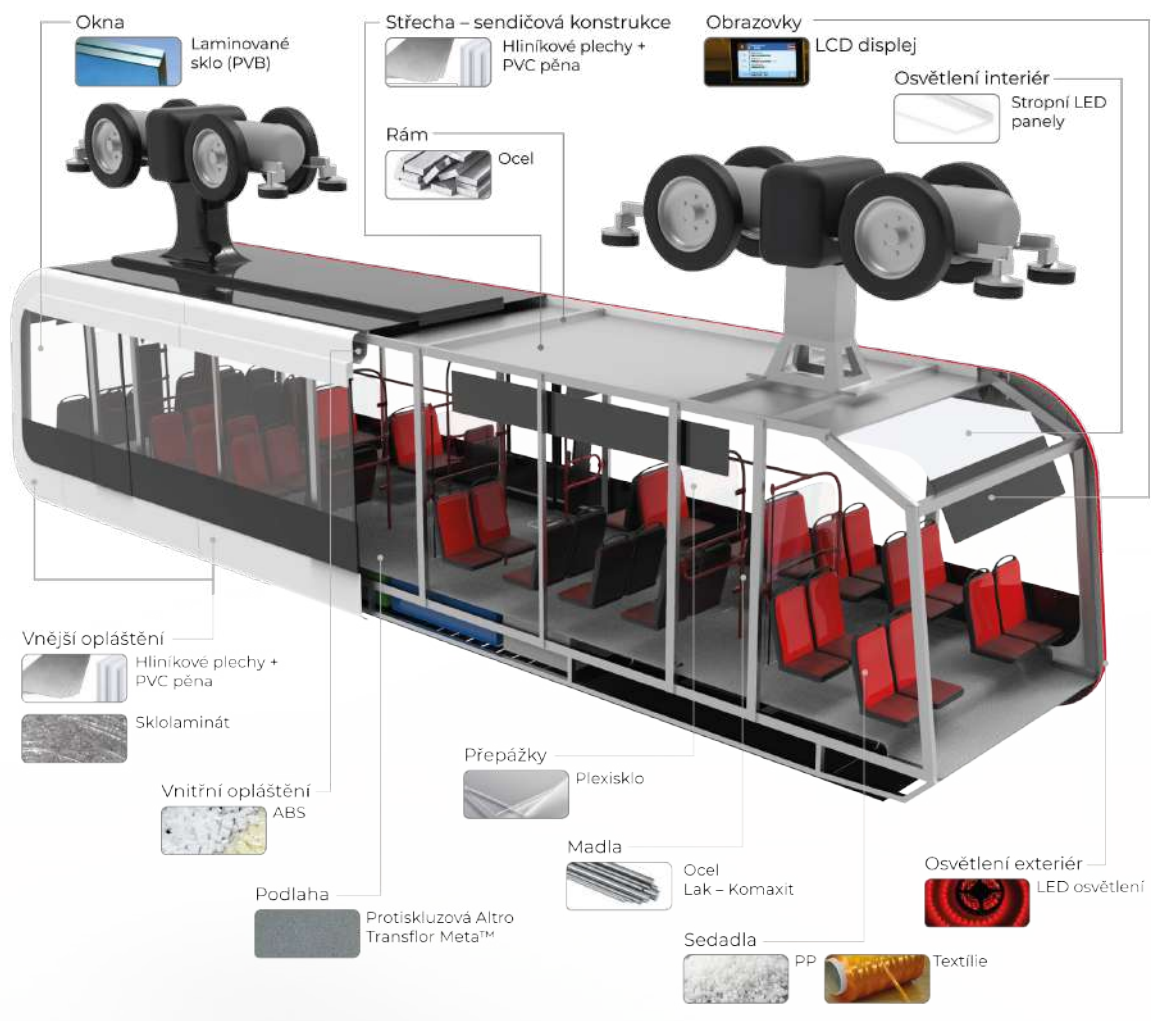
Obr. 6. 9 Uspořádání technického vybavení

### 6.2.3 Použité materiály a technologie výroby

Na svařovaném ocelovém rámu se nachází vnější opláštění ze sendvičových panelů z ohýbaných hliníkových plechů v kombinaci s tvrdou PVC pěnou pro izolaci. Složitěji tvarované díly obsahují místo hliníkových plechů vrstvu sklolaminátu, který vzniká propojením skelných vláken s pryskyřicí a následným laminováním ve formě. Okna jsou z vrstveného laminovaného bezpečnostního skla, jehož vrstvy jsou propojeny polyvinylbutyralovou (PVB) mezivrstvou. V případě rozbití zůstanou střepy na fólii a neohroží zdraví cestujících.

Vnitřní opláštění je navrženo z ABS plastu, který by byl zpracován technikou vakuového tváření. Tento materiál byl zvolen pro svou vysokou odolnost proti fyzickému poškození a opotřebení. Podlaha je pokryta materiálem Altro Transflor Metra™, což je průmyslový vinyl známý svými protiskluzovými a odolnými vlastnostmi. Zároveň je také barevně stálý, což zaručí neměnnost vlastností. Tento typ podlahy také zajišťuje možnost výřezu značení do podlahy, tudíž je možné vložit například značení místa pro handicapované.

Sedadla včetně opěrek jsou z recyklovaného polypropylenu tvarovaného vstřikováním, jelikož je tento materiál odolný a snadný na údržbu. Polstrování podsedáků je navrženo z odolného textilu, poskytujícího pohodlí a zaručující nízkou kluznost povrchu. Prostor nad sedadly je vybaven LCD obrazovkami, které zobrazují informace o jízdě, ale také umožňují poznávat více město pomocí aktuálních akcí či popisu jednotlivých míst podél trasy.



Obr. 6. 10 Materiálové řešení

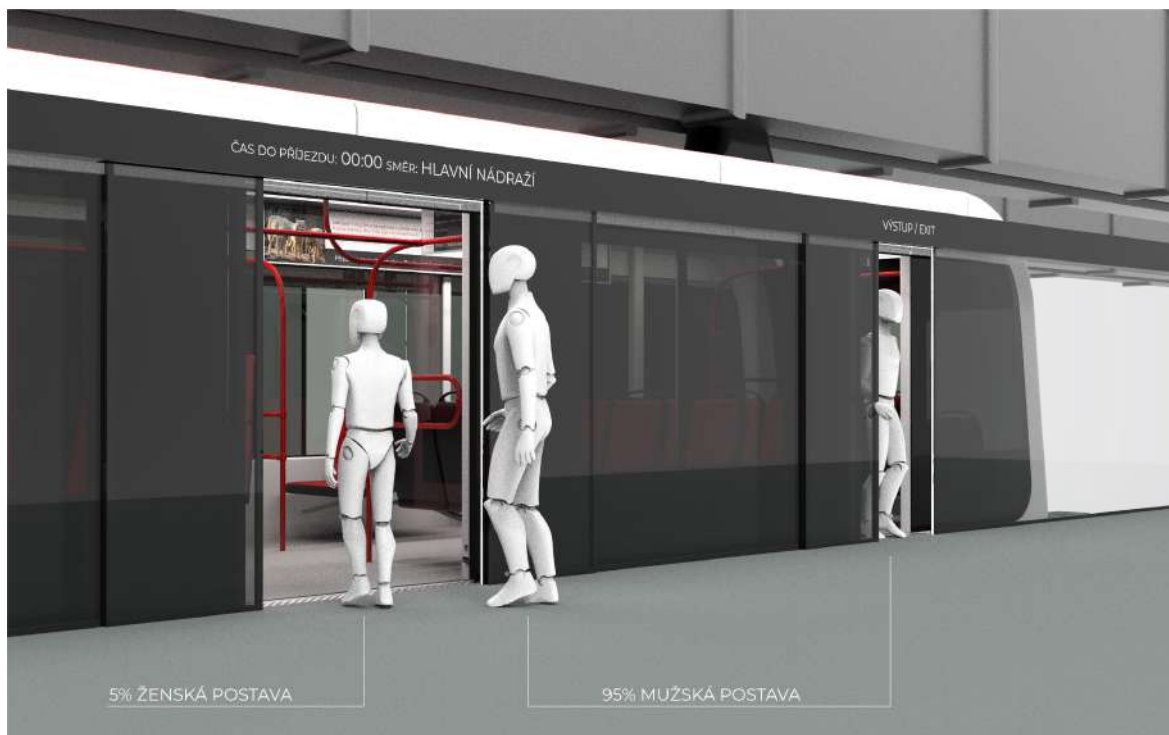
## 6.3 Ergonomické řešení

Ergonomie hraje zásadní roli při návrhu různých typů dopravních prostředků. Je nezbytné, aby každý prvek interiéru i exteriéru byl přizpůsoben tak, aby vyhovoval potřebám cestujících. Při návrhu vozidla hromadné dopravy je potřeba dbát na potřeby různých typů postav, proto jsou vizualizace představeny až už na postavách s průměrnými, tak s mezními rozměrovými hodnotami, což zajistí komfortní užití co nejširšímu spektru cestujících.

### 6.3.1 Nástup, výstup

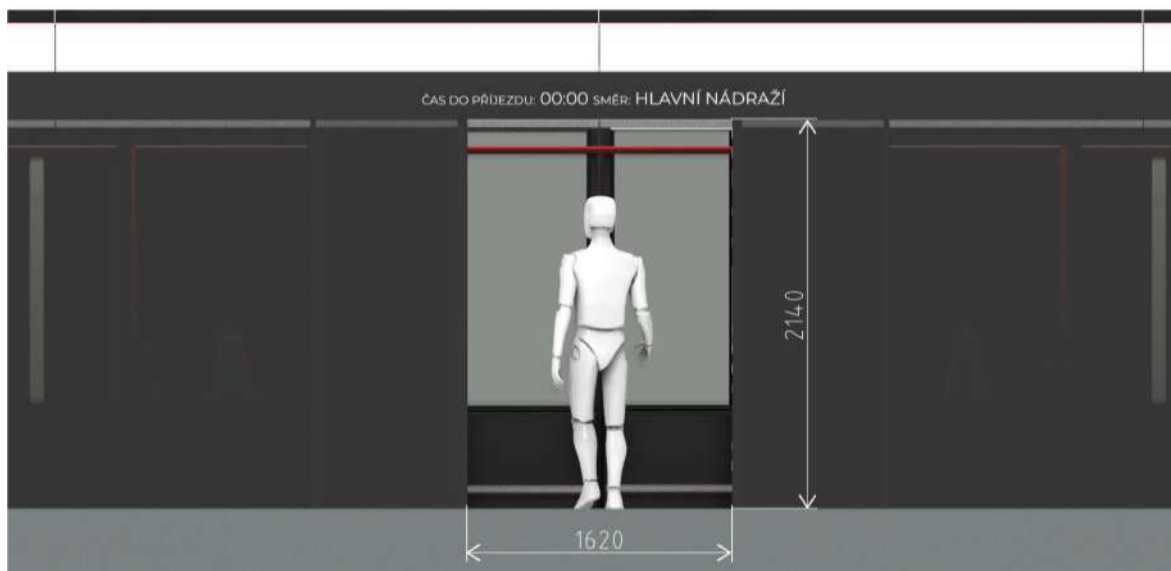
Nástup do vozu probíhá na vyvýšených nástupištích. Cestující dělí od kolejiště stěna, aby nedošlo k pádu pod vůz a také pádu z kolejiště. Zastávky se mohou nacházet ve výšce 5–15 metrů, je tudíž potřeba cestující před tímto nebezpečím chránit. Stěna slouží jako informační panel a zároveň určuje směr nástupu a výstupu.

Nástup probíhá širokými prostředními dveřmi a výstup probíhá ve většině případů užšími bočními dveřmi pro plynulý a rychlejší pohyb cestujících ve voze. Cestující se tak nezdržují u nástupních dveří a posunují se směrem k výstupu, což uvolní vchod pro další cestující. Pro osoby s omezenou schopností pohybu či orientace platí výjimka možnosti výstupu opět prostředními dveřmi. Při zastavení vozidla u nástupiště se z podlahy nástupiště automaticky vysune nerezová plošina, která bezpečně překlene prostor mezi vozem a nástupištěm, což usnadňuje nástup a výstup. Bezpečný nástup také znázorňuje osvětlení vchodových dveří. Po otevření se rozsvítí bílé světlo, které se při uzavírání dveří následně mění na varovné červené.

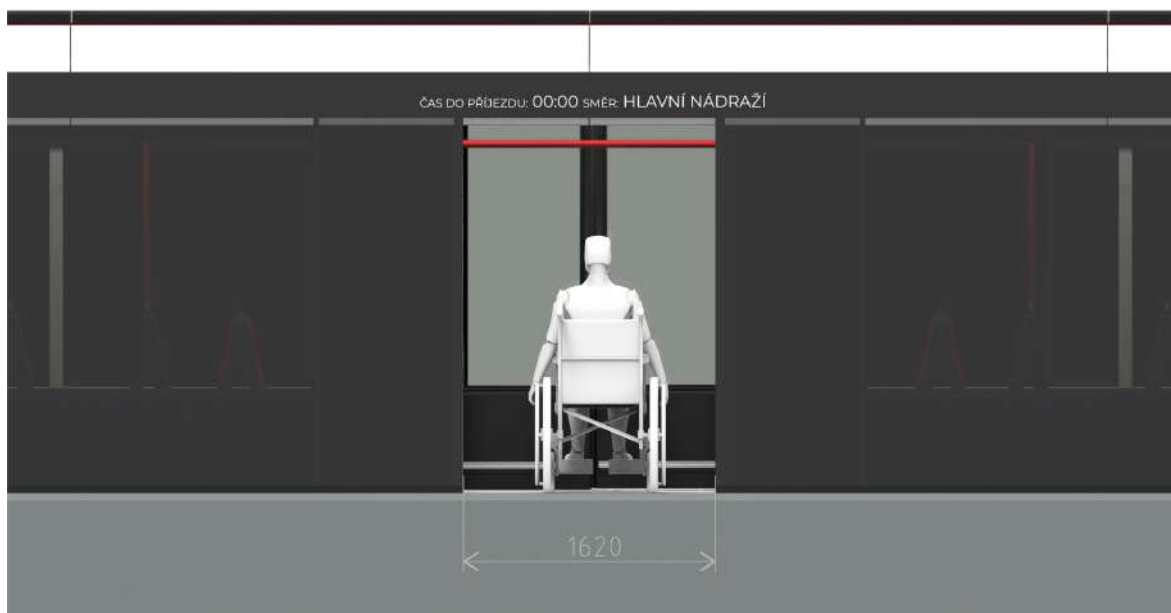


Obr. 6. 11 Srovnání vchodu a východu vůči mezním hodnotám výšky lidské postavy

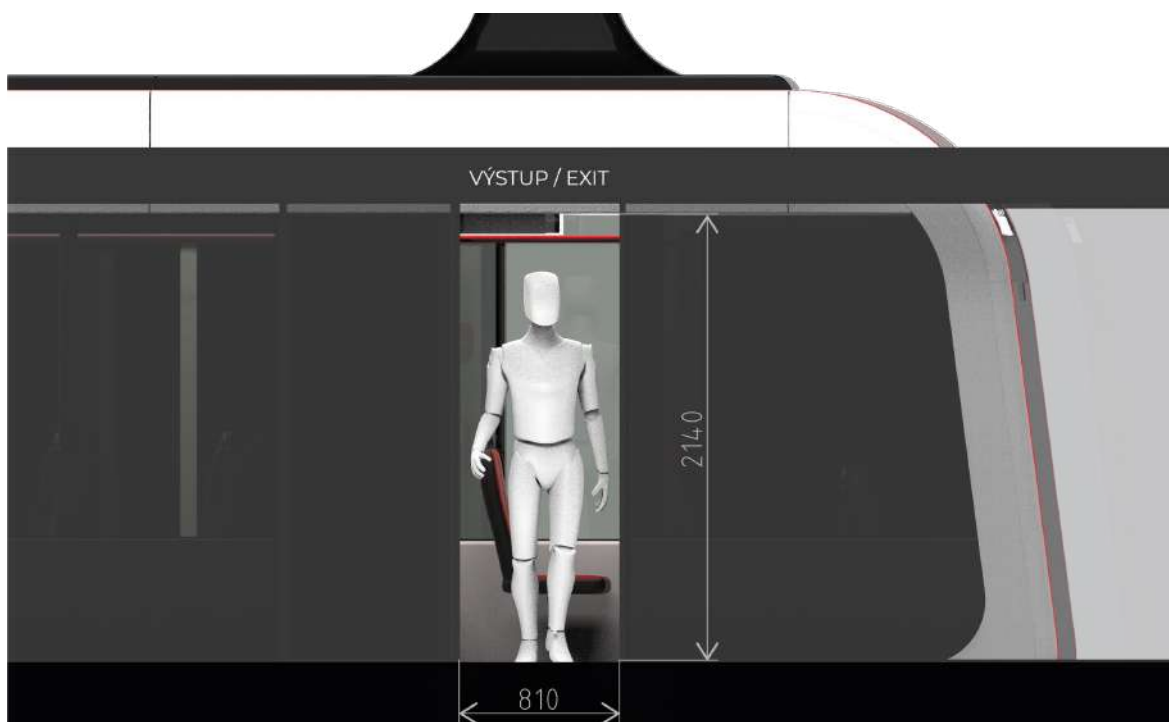
Šířka vstupních dveří 1 620 mm umožňuje pohodlný nástup více osob najednou, a také bezproblémový přístup pro vozíčkáře, kteří potřebují manipulační prostor o šířce 1 500 mm. Šířka výstupních dveří 810 mm je postačující pro plynulý výstup osob na obou stranách vozu. Výška dveří 2 140 mm zajišťuje, že i vyšší osoby projdou bez obtíží. Pro osoby s omezenou mobilitou a nevidomé se u vchodu nachází madlo, které pomáhá se bez problémů dostat na místa pro ně vyhrazená.



Obr. 6. 12 Rozměry nástupních dveří 50% muž



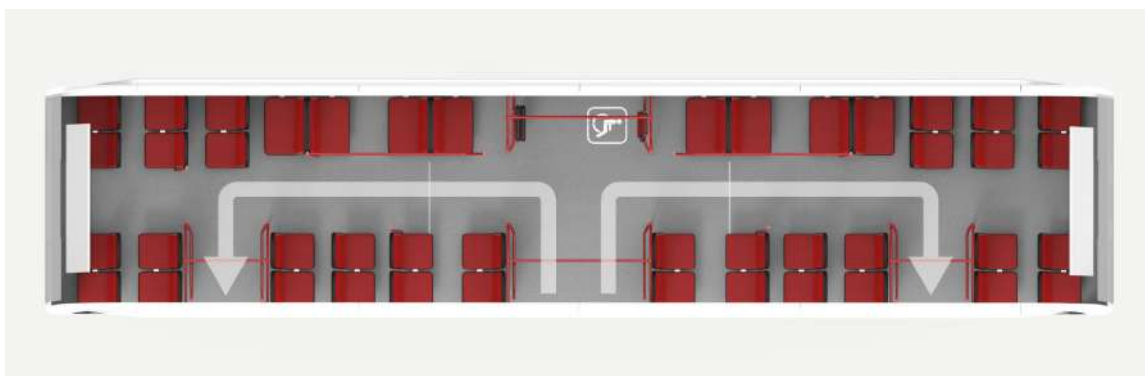
Obr. 6. 13 Nástup osoby na vozíčku



Obr. 6. 14 Rozměry výstupních dveří 95% muž

### 6.3.2 Směr pohybu ve voze

Pohyb ve voze, jak již bylo zmíněno probíhá od nástupních dveří po boční výstupní. Osoby, které chtějí stát například z důvodu kratší cesty mohou využít stání v rozšířené uličce o šířce 1 050 mm, která vzniká díky využití zkrácených sedadel, toto rozšíření uličky pomáhá ke snadnému průchodu osob i při vyšším zaplnění vozu. Prodloužená sedadla mají délku 1,5x větší oproti klasickým sedadlům. Na méně frekventovaném úseku, v oblasti s lepším výhledem, jsou umístěna tradiční dvojsedadla, což cestujícím umožňuje klidnější cestu mimo hlavní proud pohybu. Užší ulička na koncích vozu má šířku 850 mm. Celkové uspořádání vozidla je tak navrženo s důrazem na pohodlí, přístupnost a efektivní využití prostoru.



Obr. 6. 15 Směr pohybu ve voze

### 6.3.3 Typy míst k sezení

Vozidlo je vybaveno 36 standardními sedadly, 8 prodlouženými sedadly a jedním sklápěcím sedadlem. Pokud jsou prodloužená sedadla obsazena dvěma osobami, jako je dvojice dětí nebo rodič s dítětem, dosahuje kapacita sezení 54 míst. V případě, že na každém prodlouženém sedadle sedí pouze jedna osoba, je kapacita sezení 46 osob.



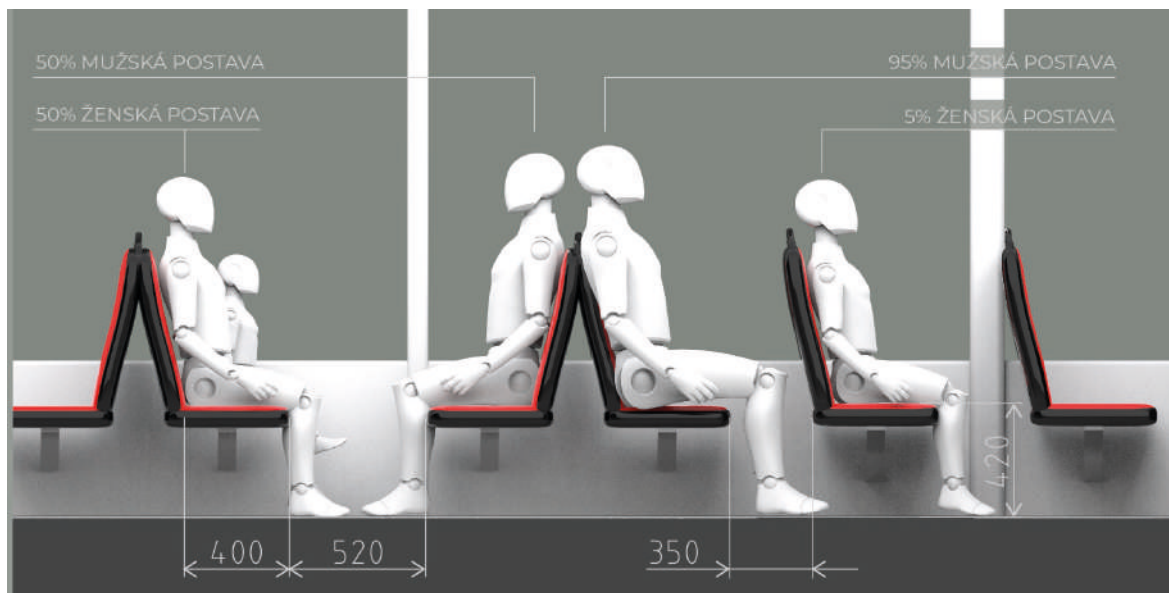
Obr. 6. 16 Perspektivní zobrazení interiéru

Sedadla umístěná nejbližší ke vchodu, konkrétně čtyřsedadla vedle vchodu a prodloužená sedadla naproti, jsou primárně určena pro osoby se specifickými potřebami, kterým by pohyb dále do vozidla mohl činit potíže. Vzdálenost mezi sedadly ve čtyřsedadle je 520 mm, což poskytuje dostatečné pohodlí pro nohy dvěma osobám průměrné výšky sedícím naproti sebe.

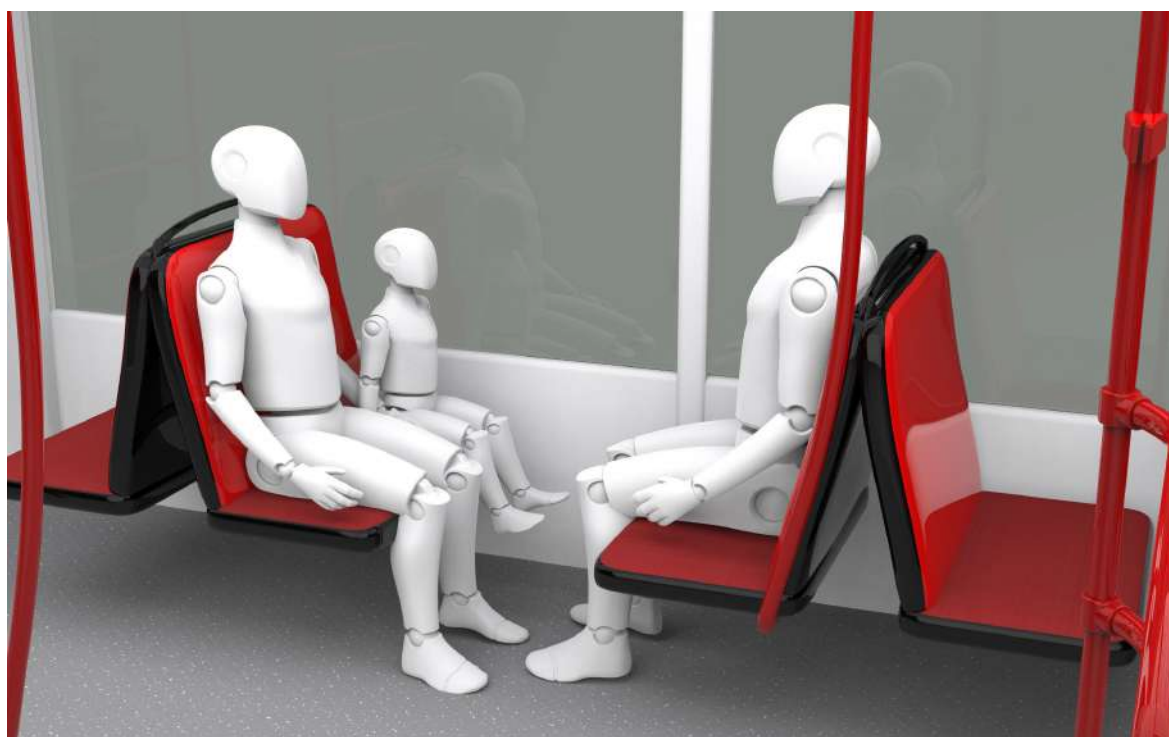
Dále vozidlo nabízí standardní sedadla s rozměry 470 × 400 mm (šířka × hloubka) a výškou sedáku 420 mm. Tato výška umožňuje i nižším ženám dosáhnout nohama na podlahu, což zabraňuje nepříjemnému tlaku na stehna během delších jízd. Prostor mezi sedadly byl navržen s ohledem na 95% mužskou postavu, aby i vyšší osoby měly dostatečný prostor pro kolena.



Prodloužená sedadla nabízejí při nižším zaplnění vozidla větší komfort jednotlivým cestujícím, kteří zde mohou umístit i menší zavazadlo. Při vyšším zaplnění pak umožňují sezení dvěma osobám menšího vzrůstu, jako je například rodič s dítětem nebo dvě děti sedící vedle sebe. Celkové uspořádání vozidla je tedy navrženo tak, aby zajistilo dostatečný komfort a přístupnost pro všechny cestující.



Obr. 6. 17 Rozměry sedadel



Obr. 6. 18 Perspektivní pohled na čtyřsedadlo

### 6.3.4 Stání

Kapacita stání může dosáhnout až 100 osob, pokud se počítá se zaplněním 5 osob na metr čtvereční. Pro osoby nižší, než průměrné výšky jsou k dispozici vertikální madla, umístěná u každé druhé řady sedadel. Osoby s nadprůměrnou výškou mohou využít horizontální madla ve výšce 1 950 mm. Madla mají průměr 35 mm a jsou vyrobená z oceli s povrchovou úpravou Komaxit, která je méně chladná na dotek než běžná nerezová madla.



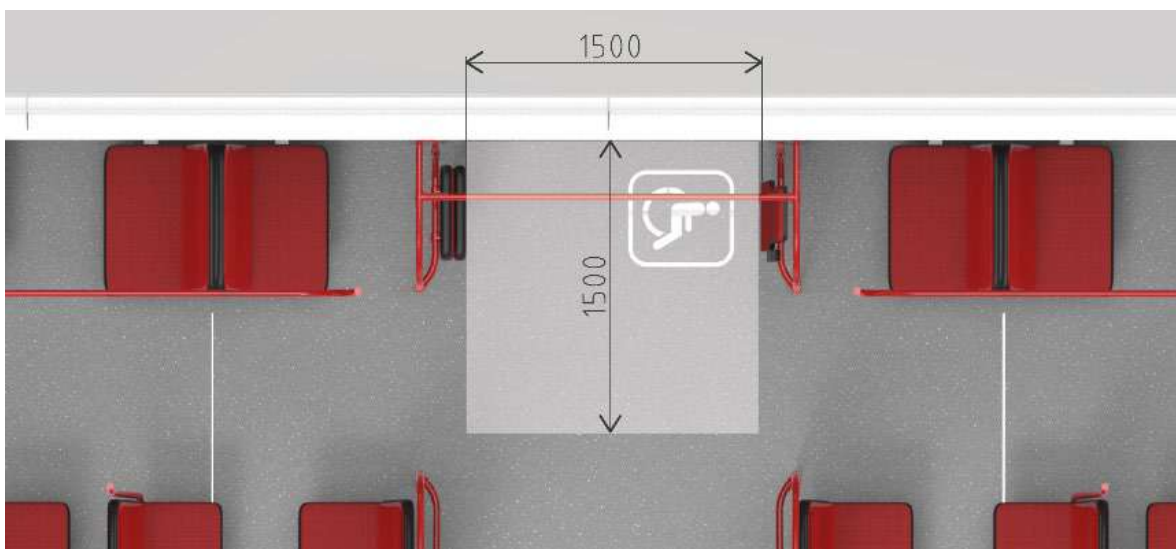
Obr. 6. 19 Muž o výšce 1 855 mm držící se horizontálního madla



Obr. 6. 20 Žena o výšce 1 505 mm držící se vertikálního madla

### 6.3.5 Bezbariérovost

Pro bezbariérový nástup slouží již zmíněné výsuvné rampy, které umožní hladký přejezd z nástupiště. Přímo naproti vchodu je poté prostor vyhrazený pro osoby se speciálními potřebami. Rozměry tohoto prostoru odpovídají potřebným rozměrům pro manipulaci s invalidním vozíkem, které jsou  $1\,500 \times 1\,500$  mm.



Obr. 6. 21 Manipulační prostor vozíčku



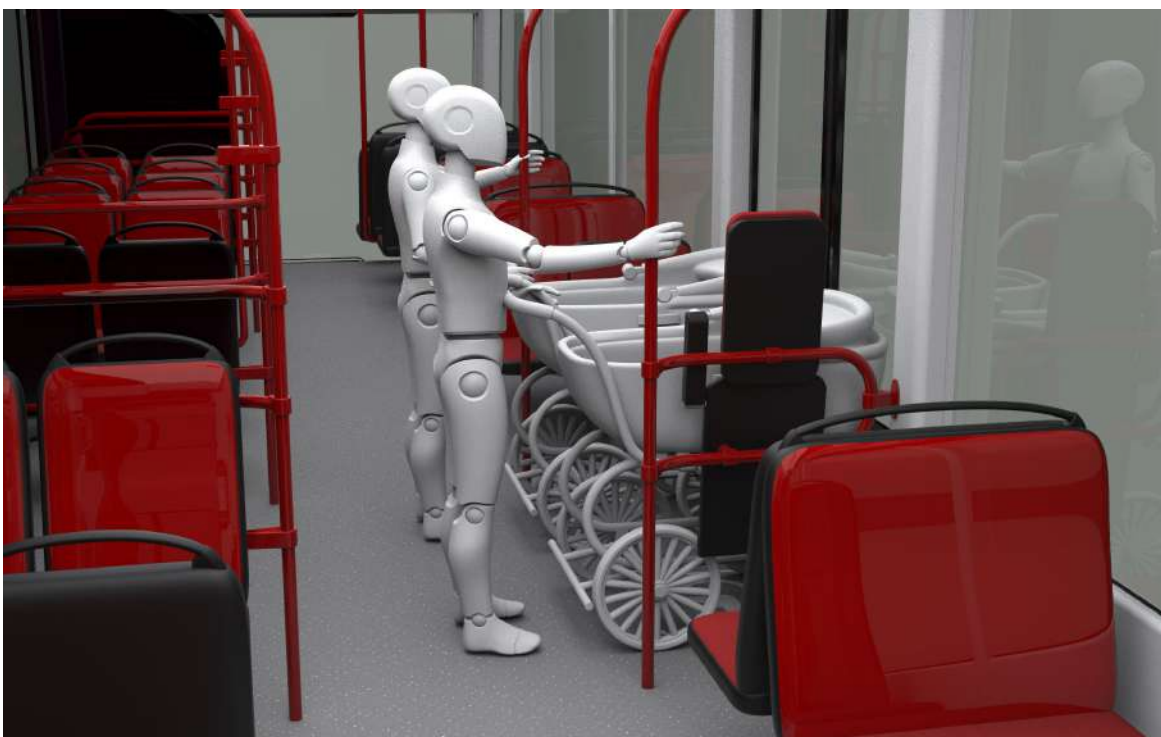
Obr. 6. 22 Nástup osoby s vozíčkem

V tomto prostoru se nachází také vertikální opěradlo pro zadní část vozíku, jehož rozměry jsou dány normami. Dolní okraj opěradla se nachází ve výšce 350 mm a horní okraj ve výšce 1 320 mm. Součástí opěradla je také sklápěcí madlo, které je po sklopení umístěno ve výšce 850 mm.



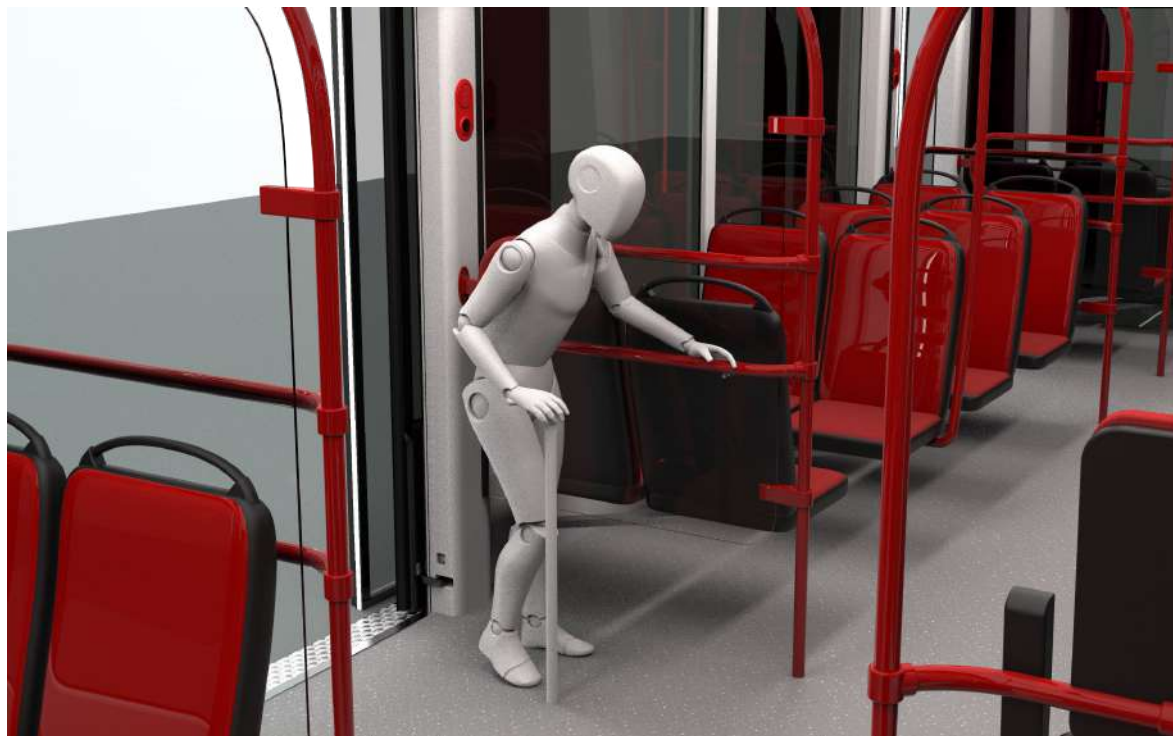
Obr. 6. 23 Umístění vozíčku

Do prostoru je také možné umístit dva kočárky vedle sebe. Rodiče poté mohou buď stát u kočárku nebo využít sedadla otočená k tomuto prostoru, takže stále mají své děti pod dohledem. Při umístění pouze jednoho kočárku je možné jej otočit čelem ke směru jízdy a rodič může využít sklápěcí sedadlo v tomto prostoru.

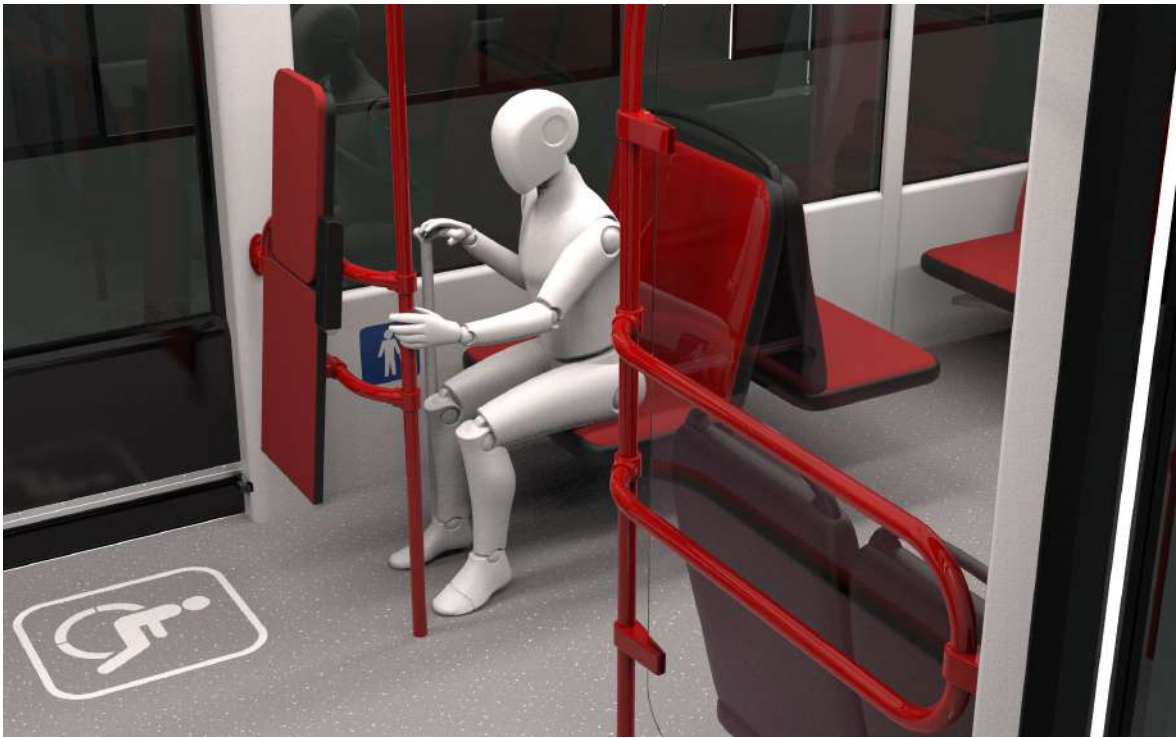


Obr. 6. 24 Umístění dvou kočárků

K sedadlům určeným pro osoby se sníženou pohyblivostí vedou madla ve výškách 880 mm a 1 150 mm. Tato sedadla jsou označena modrým piktogramem. Vzdálenost mezi přerušeními madla, která vedou k těmto sedadlům, nesmí přesáhnout 1 050 mm, což omezuje šířku uličky na maximálně tuto hodnotu. U sedadel naproti dveřím jsou rovněž umístěna madla, která usnadňují cestujícím sedání a vstávání.



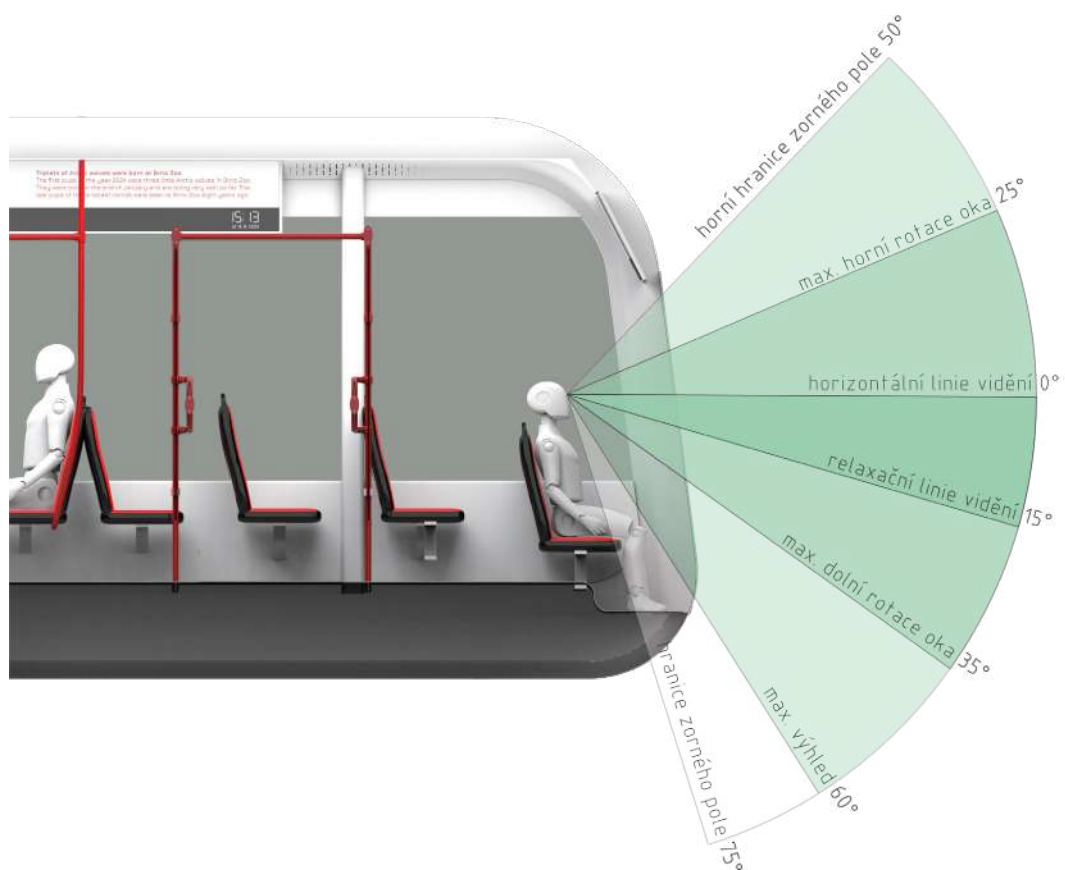
Obr. 6. 25 Madla pro asistenci u vstupu



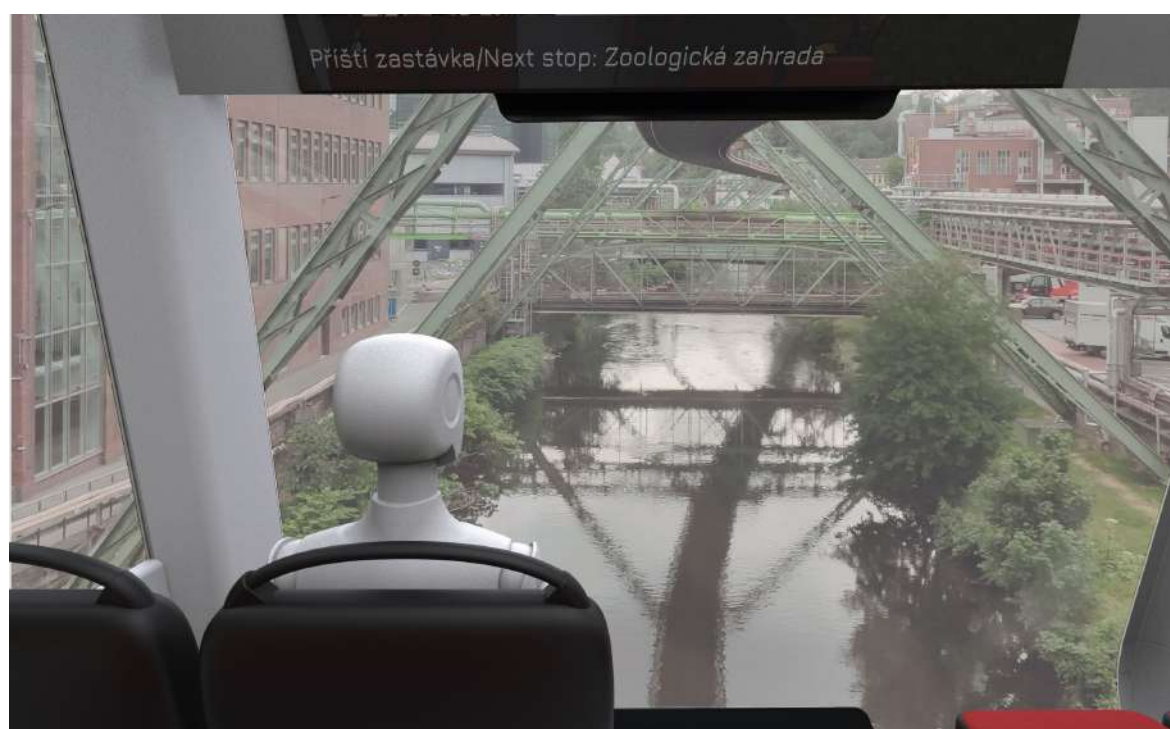
Obr. 6. 26 Madla pro asistenci u sedadel

### 6.3.6 Zóna s výhledem

Zóna s maximálním výhledem ve vozidle je navržena tak, aby poskytovala cestujícím optimální možnost prohlížet si okolní krajinu nebo městské scenerie. V první řadě sedadel je zajištěn výhled až do úhlu 110°, což umožňuje rozsáhlý pohled na venkovní prostředí. Tento efekt je umocněn snížením první řady sedadel o 165 mm, což rozšiřuje výhled i pro cestující v dalších řadách.



Obr. 6. 27 Zorné pole oka osoby v první řadě sedadel s rozšířeným výhledem



Obr. 6. 28 Vizualizace výhledu z druhé řady sedadel



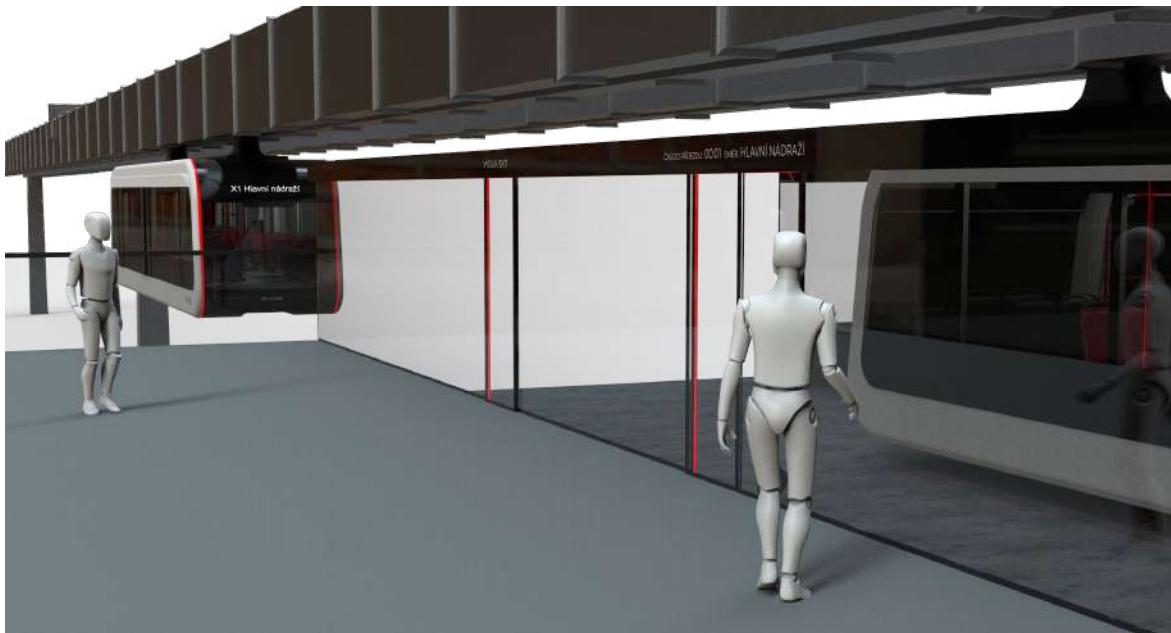
Nad sedadly je umístěna obrazovka, která nejenže informuje o aktuálních zastávkách a trase, ale také poskytuje detailní informace o zajímavých místech, kterými vozidlo projíždí. Tento prvek přidává k cestě edukativní i zábavný rozměr, což z ní činí atraktivní volbu pro turisty. Celkově je tato zóna navržena s důrazem na poskytnutí co nejlepšího výhledu a zároveň informací, což zvyšuje výsledný zážitek z cesty.



Obr. 6. 29 Obrazovka ve výhledové zóně

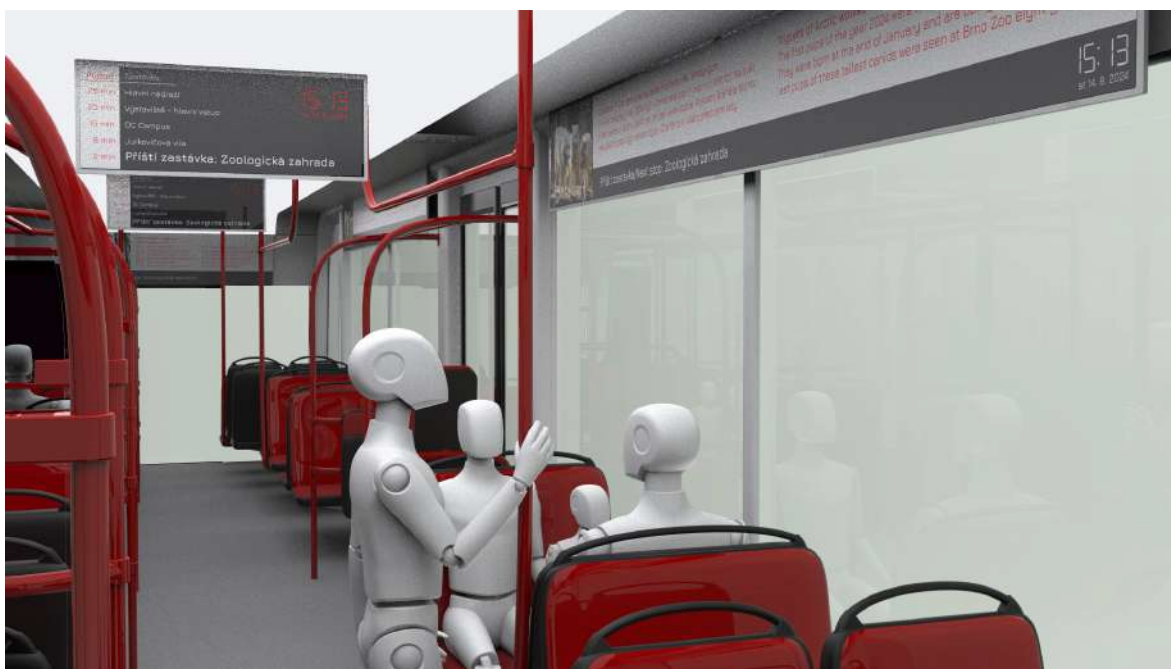
### 6.3.7 Orientační prvky

Před nástupem slouží k orientaci obrazovky na stěně oddělující nástupiště od kolejiště. Ta ukazuje cestujícím čas do příjezdu dalšího vozu, směr jízdy, a také označuje dveře, které slouží jako východ. Na příjíždějícím vozidle je také možné vidět obrazovku zobrazující cílovou stanicí a název linky.



Obr. 6. 30 Informační prvky při nástupu

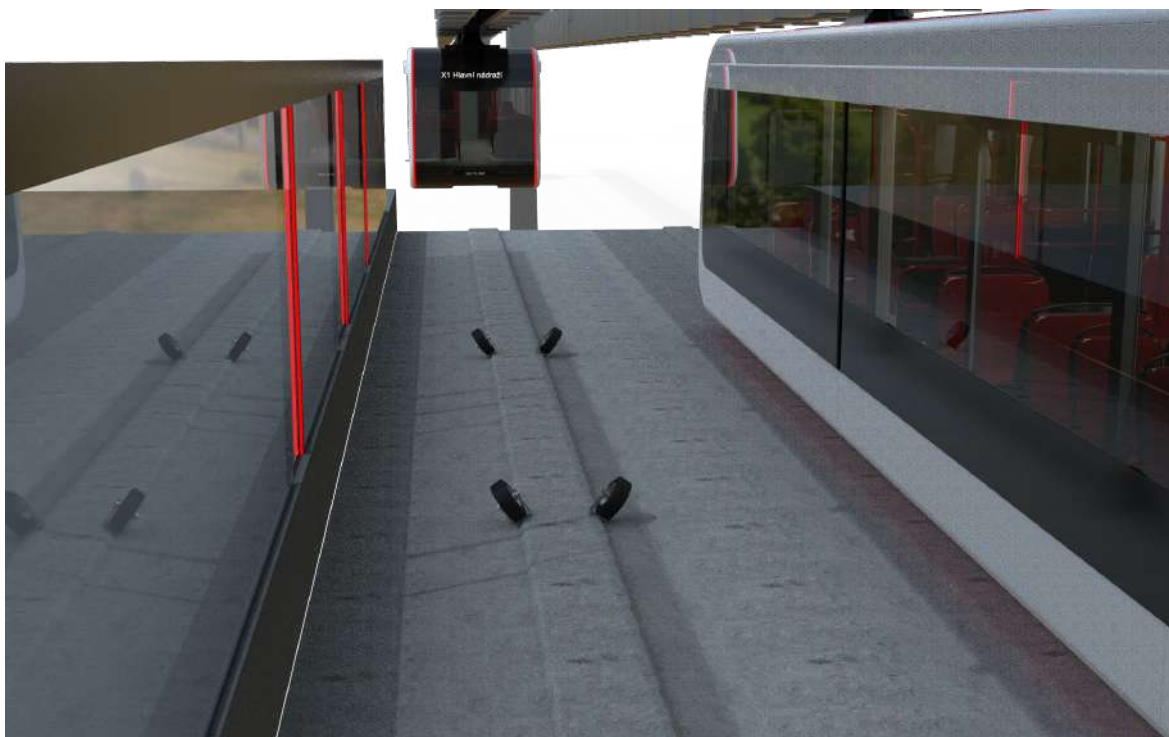
V interiéru jsou nad uličkou instalovány obrazovky, které poskytují cestujícím podrobné informace o trase, čas příjezdu na jednotlivé zastávky, aktuální čas a datum. Po obou stranách vozidla jsou umístěny další obrazovky, které zobrazují název příští zastávky spolu s časem a datem. Podobně jako obrazovka ve výhledové zóně, tyto boční obrazovky také promítají informace o zajímavostech a událostech v okolí, což zpestřuje cestu cestujícím i během běžných tras. Cílem tohoto multimediálního obsahu je obohacovat kulturní život a motivovat jak rezidenty, tak turisty k účasti na událostech. Obrazovky jsou umístěny ve výšce 1 950 mm.



Obr. 6. 31 Perspektivní pohled na obrazovky v interiéru

## 6.4 Bezpečnost

Jedním z bezpečnostních prvků je stabilizace vozu v zastávkách, k tomu slouží tvarové vyhloubení ve spodní části opláštění vozu spolu se stabilizačními koly umístěnými v kolejišti. Bez tohoto bezpečnostního prvku by mohlo dojít ke zvětšení mezery mezi vozidlem a nástupištěm, což by mohlo vést k potenciálním zraněním.



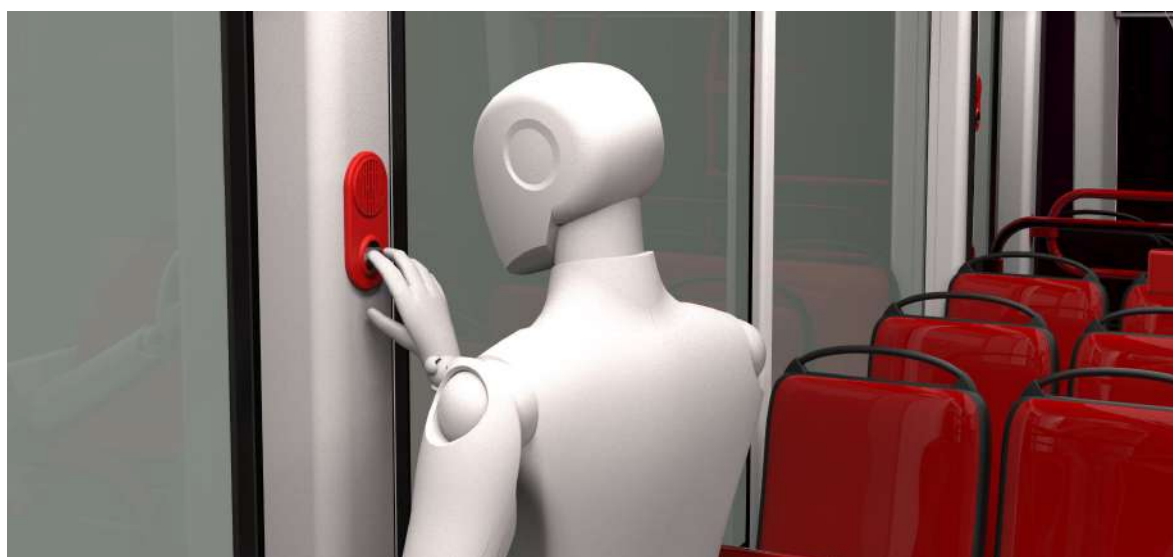
Obr. 6. 32 Stabilizační systém v zastávce

Vzhledem k tomu, že je vozidlo autonomní, je podstatné zajistit bezpečný nástup a výstup cestujících i s absencí řidiče, který běžně kontroluje tento prostor. K tomuto účelu je vozidlo vybaveno senzory pohybu, které jsou umístěny 300 mm nad podlahou a monitorují prostor u dveří. Tyto senzory zajišťují, že dveře vozidla zůstanou otevřené, dokud není oblast před nimi zcela volná, což minimalizuje riziko zranění cestujících.



Obr. 6. 33 Pohybový senzor dveří

Vzhledem k tomu, že vozidlo je autonomní a na palubě se nenachází žádná zodpovědná osoba, je potřeba zavedení systému pro hlášení nouzových situací. Proto jsou u všech východů instalována SOS tlačítka umístěná ve výšce 1 300 mm nad podlahou. Aby se zabránilo jejich neoprávněnému nebo náhodnému stisknutí, jsou tlačítka chráněna krytem z tenkého plexiskla, který lze v případě skutečné potřeby snadno prorazit, jelikož má vyřezané linie pro snazší rozbití. Po aktivaci tlačítka dojde k okamžitému spojení cestujícího s dispečinkem, který může rychle reagovat a poskytnout potřebnou pomoc nebo vyřešit krizovou situaci.

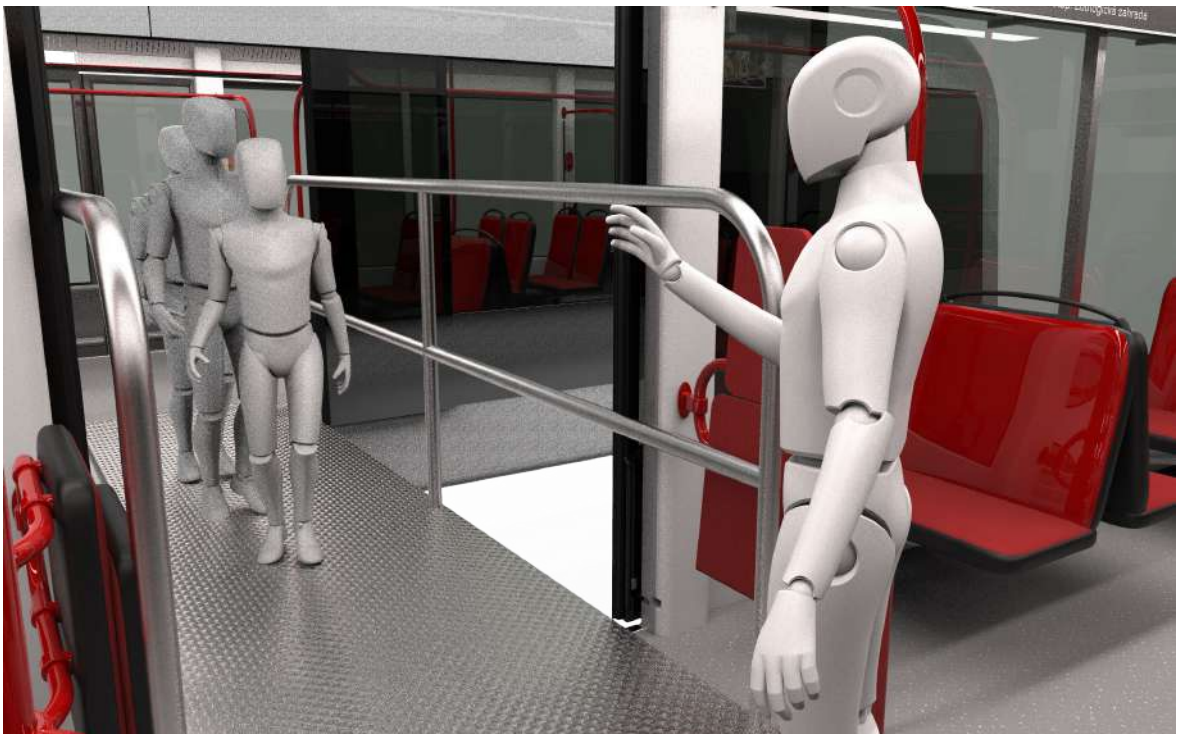


Obr. 6. 34 Použití SOS tlačítka

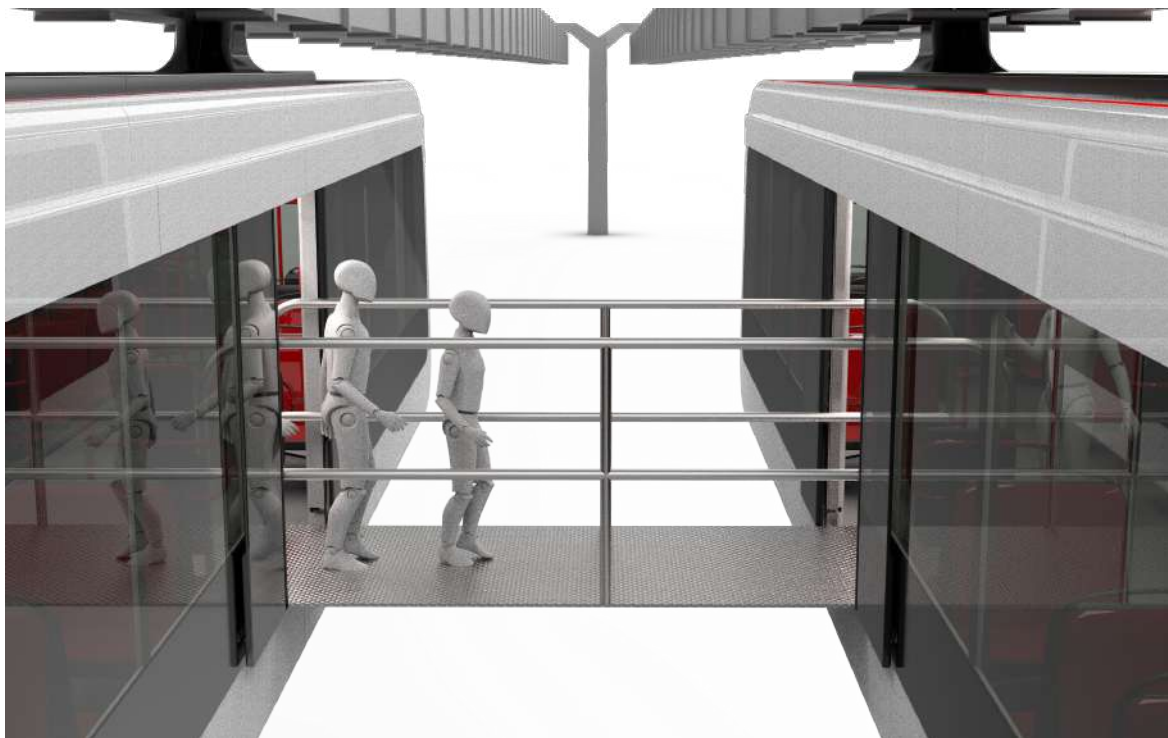


Obr. 6. 35 Detail SOS tlačítka

V případě nutnosti evakuace je nutné přistavení vozidla z druhého směru, které ve stanici vyzvedne přechodový můstek. Jako únikový východ slouží bezpečnostní dveře, které jsou naproti vstupním dveřím. Z bezpečnostních dveří záchraného vozu vysune personál přechodový můstek, po kterém mohou cestující bezpečně přejít do druhého vozu. V případě nutné akutní evakuace musí být k vozu přistavena výsuvná plošina hasičského záchraného sboru.



Obr. 6. 36 Posádka záchraného vozu pomáhající cestujícím



Obr. 6. 37 Nouzový můstek mezi vozy

## 6.5 Hygiena

Cestující nejčastěji přicházejí do kontaktu s podlahou, sedadly a madly, což vyžaduje jejich pravidelné čištění a dezinfekci, aby se minimalizovalo riziko šíření bakterií a virů. Podlahové díly jsou spojeny pomocí tepelného svaření, díky které je podlaha vodotěsná, což usnadňuje údržbu a eliminuje se tím možnost vniknutí vody pod povrch a vznik plísní. Materiál je také odolný vůči škrábancům, což zabraňuje zachycování nečistot. Čištění podlahy se provádí každý večer po poslední jízdě a zahrnuje také dezinfekci madel a sedadel.

Sedadla mají plastové opěradlo, které je snadno omyvatelné. Polstrované jsou pouze sedáky, které zajišťují protiskluzový povrch. Čištění polstrování tzv. tepováním vyžaduje více kroků. Sedadla musí být navlhčena, ošetřena čisticím prostředkem, vykartáčována a následně je z nich voda odsáta speciálním vysavačem. Následně je na ně nanesena impregnace proti zanášení nečistotami. Běžně se toto čištění u jednoho vozu provádí dvakrát či třikrát ročně. [51]



Obr. 6. 38 Detailní záběr na sedadla, madla a podlahu

## 6.6 Barevné a grafické řešení

### 6.6.1 Barevné varianty

Při návrhu barevného řešení bylo potřeba brát ohled na prostředí města a zaimplementování vozu do prostředí. První varianta je složena z kontrastní kombinace neutrálních barev doplněných akcentními červenými tóny. Dominantní bílá barva odstínu RAL 9016 na exteriéru vozidla působí čistě a moderně. Tato barva je zvolena nejen pro svůj estetický přínos, ale také pro schopnost odrážet teplo. Černé opláštění v odstínu RAL 9005, které obepíná spodní část vozidla a rámy oken, poskytuje kontrast k bílé barvě a vytváří vizuálně sjednocený dojem. Černá barva přidává hloubku a sofistikovanost celkovému vzhledu tramvaje. Velká, tónovaná okna nejenže zvyšují estetickou přitažlivost, ale také poskytují cestujícím soukromí a ochranu před slunečním zářením. Tónování je pečlivě vybráno, aby umožňovalo dostatečné množství světla a zároveň chránilo interiér před přehříváním. Energetické červené linie světel podél hran vozidla dodávají dynamický prvek. Tyto akcenty zvyšují vizuální zajímavost a zároveň respektují současnou barevnost vozidel DPMB. Logo města je poté aplikováno v červené variantě na boku opláštění. Bílá varianta loga je umístěna naspodu mezi větracími průduchy, které jsou logem inspirovány.



Obr. 6. 39 RAL barvy řešení I a II



Obr. 6. 40 Barevné řešení I

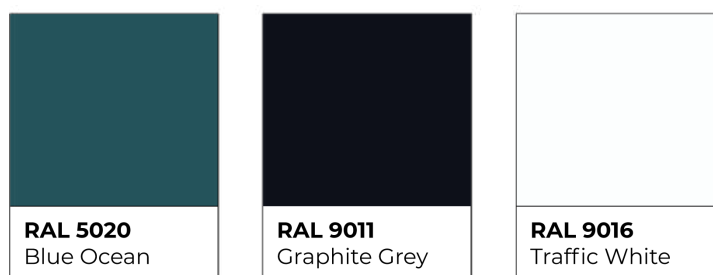


Černý pruh, který byl součástí prvního řešení, je v druhé variantě nahrazen plynulým přechodem červené, který zvýrazňuje aerodynamický tvar vozidla a dodává mu vizuální plynulost. Zvolený odstín je sytý a energický, což vozidlu dodává velmi odvážný a výrazný vzhled. Druhá varianta by byla ideální volbou pro dosažení maximální zapamatovatelnosti a silného vizuálního dopadu.



Obr. 6. 41 Barevné řešení II

Třetí barevná varianta tohoto závěsného vozidla čerpá inspiraci z tradičního barevného schématu moderních tramvají, přičemž využívá odstín modré, který je v úzké harmonii s barvou oblohy. Tento odstín je navíc symbolicky spojen s názvem vozidla SkyLine, který evokuje spojení s nebem, a to zejména v kontextu, kde tramvaj pozorovaná ze země vystupuje na pozadí nebe. Tato tyrkysově modrá barva vozidlu propůjčuje výrazný, avšak zároveň jemný charakter, díky čemuž působí vozidlo přívětivě a přístupně jak pro cestující, tak pro obyvatele města.



Obr. 6. 42 RAL barvy řešení III



Obr. 6. 43 Barevné řešení III

## 6.6.2 Grafické řešení

### Obrazovky

V rámci grafického návrhu informačních obrazovek byly implementovány vizuální prvky sladěné s celkovým barevným schématem vozidla. Pro maximální čitelnost a vizuální kontrast byly použity stejné barvy jako v exteriéru vozidla. Názvy zastávek jsou zobrazeny bílým písmem na tmavě šedém pozadí, což zajišťuje dobrou čitelnost a snadnou orientaci pro cestující. Informace s nižší prioritou, které mají za úkol přidat na zajímavosti cesty, jsou vyobrazeny červeným písmem na bílém pozadí.



Obr. 6. 44 Grafické řešení obrazovek

## Logotyp

Písmena logotypu byla navržena tak, aby odrážela zaoblené tvary závěsné tramvaje. Toto "S" má dynamický a plynulý tvar, což zdůrazňuje rychlost a plynulost cesty tramvaje.



Obr. 6. 45 Proces tvorby fontu

Název "SkyLine" byl odvozen spojením slov "sky" (nebe) a "line" (dráha, linka), což odkazuje na běžně vnímanou charakteristiku závěsných dopravních prostředků. Typografie logotypu využívá silných, čistých linií se zaoblenými zakončeními, které fontu propůjčují dynamický vzhled, přičemž si zachovává robustní a technické nuance. Tento font je vhodný pro logotypy moderních městských dopravních systémů, neboť umožňuje snadnou identifikaci a efektivně podporuje značku jako symbol veřejné dopravy. Základem logotypu je font Montserrat v tučném řezu, který byl specificky upraven. Logotyp je na vozidlech prezentován v šedém metalickém provedení.

# SKYLINE

Obr. 6. 46 Logotyp



Obr. 6. 47 Umístění logotypu na opláštění

## Propojení s vizuálním stylem města

Vizuální styl města, ve kterém je závěsná tramvaj použita může být s vozem propojen na více místech než jen pouhým umístěním loga. Vzor inspirovaný logem města Brna, charakteristický rozšiřujícími se obdélníky, byl zaznamenán na více prvcích návrhu, od vnějších průduchů, přes reproduktory až po interiérové průduchy klimatizace a topení.



Obr. 6. 48 Propojení s vizuálním stylem města

## 6.7 Udržitelnost produktu

Používání veřejné hromadné dopravy je obecně považováno za udržitelnější alternativu k automobilové dopravě. Atraktivní design může přilákat více uživatelů k tomuto způsobu dopravy a přispět k snížení emisí. Při celkovém ekologickém dopadu je však nutné zohlednit také ekologický dopad výstavby trati a výroby vozidel.

Komponenty veřejné dopravy musí být navrženy tak, aby byly co nejodolnější a vydržely co nejdéle. Proto je důležité využití především odolných materiálů. Ideální kompromis je využití recyklovaných materiálů, které kvůli recyklaci neztrácejí své vlastnosti. Například na výrobu sedadel je použitý recyklovaný polypropylen, který tato kritéria splňuje. Užité díly musí být navrženy tak, aby byly snadno vyměnitelné. Nejchoulostivější na zničení jsou potahy sedadel, které lze ale samostatně znovu očalounit a není tak nutné měnit celá sedadla. Skla oken a dveří jsou proti vandalismu chráněna fólií, která se po zničení nahradí další a není nutné tak již měnit celé okno například v případě poškrábání.

## 6.8 Hodnocení klíčových parametrů

Vzhledem k dlouhé životnosti tramvajových vozů, které často zůstávají v provozu po desítky let, byla pro exteriér tramvaje zvolena kombinace neutrálních barev. Boky vozidla vynikají bílým opláštěním s tónovanými okny, které se nenápadně prolínají s černým opláštěním pod nimi. Celkový vzhled doplňuje pruh černého opláštění, který obepíná tramvaj a podporuje tak její vizuální dynamiku. Tento prvek je umocněn červeným osvětlením, které dodává designu moderní a energický výraz.

Vozidlo pohání v současnosti nejnovější systém SAFEGE, který se vyznačuje bezpečností a spolehlivostí a je hojně využíván u nových typů vozidel. Výrazným rozdílem oproti konkurenčním vozům je umístění rozměrných zařízení pod podlahou vozu, což umožňuje bezpečnější servis.

Z hlediska materiálů je opláštění tramvaje konstruováno z dílů, které jsou jednoduché na výrobu, přičemž se často využívají opakující se tvarové prvky pro zefektivnění a zlevnění produkce. V interiéru je kladen důraz na použití materiálů, které jsou snadno udržovatelné a umožňují dodržování hygienických standardů. V případě poškození lze vyměnit jednotlivé komponenty, jako je například polstrování, což eliminuje potřebu výměny celého sedadla. Tento přístup nejenže zjednodušuje údržbu, ale také snižuje náklady na opravy a prodlužuje životnost vozidla.

Z hlediska ergonomie je kladen důraz na bezpečnost cestujících a jednoduchou orientaci v interiéru. V designu byl rovněž zohledněn důraz na inkluzi minoritních skupin a poskytnutí pocitu komfortu, což má za cíl zvýšit atraktivitu veřejné dopravy. Bezpečnostní prvky jsou implementovány již od vstupu do vozidla, kde je vozidlo stabilizováno proti výkyvům, umožňující snadný přístup pro osoby s omezenou pohyblivostí nebo s kočárky, díky minimalizaci mezery mezi nástupištem a vozem. Interiér je navržen tak, aby směr pohybu přirozeně vedl cestující k rovnoměrnému rozprostření po celé délce vozu.

Pro zajištění komfortu a bezpečí během jízdy, byla sedadla i místa pro stání upravena tak, aby odpovídala mezním tělesným rozměrům cestujících. Jako atraktivní prvky, které mohou přilákat nejen místní obyvatele, ale i turisty, byly integrovány dvě zóny s panoramatickým výhledem. Tyto oblasti nabízí rozsáhlý výhled skrze téměř celou přední a zadní stěnu vozu. Nad okny se navíc nacházejí informační panely poskytující rozšířené údaje o lokalitách, kterými tramvaj projíždí.

## 7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout koncept závěsné tramvaje pro město Brno, která má za cíl zatraktivnit městskou hromadnou dopravu pro rezidenty i turisty a přispět tak k odlehčení kritické dopravní situace.

Vývoji předcházelo obeznámení se se současnými řešeními závěsných drah. Při analýze byl kladen důraz na prozkoumání jejich konstrukčního a ergonomického řešení, ale také na zasazení do prostředí měst. Analytický proces zjednodušili také odborníci z Dopravního podniku města Brna, kteří objasnili použití zařízení, která jsou potřebná při provozu tramvajových vozů. Během návštěvy závěsné dráhy ve Wuppertalu byla přímo na místě zkoumána ergonomie a provozní procesy, což umožnilo identifikovat některé nedostatky, jako je například nedostatečná kapacita pro větší skupiny turistů u vyhlídkových oken, která komplikovala přístup k běžným sedadlům pro ostatní cestující. Rovněž byla identifikována nutnost zlepšení v oblasti bezpečnosti a pohodlí při nástupu do vozidla, včetně stabilizace vozu a překlenutí mezery mezi vozem a nástupištěm. Přítomnost dostatečného množství madel v interiéru pro bezpečné uchopení cestujícími byla rovněž uznána za zásadní, zvláště v situacích, kdy je vozidlo plně obsazené.

Jelikož jsou závěsné tramvaje v mnoha městech považovány za ikonický prvek, bylo nezbytné pečlivě zvážit prostředí, do kterého bude nová trať integrována. Z tohoto důvodu bylo účelné reflektovat v návrhu některé estetické prvky používané v současných vozidlech Dopravního podniku města Brna. Design závěsných tramvajů je často neměnný po desítky let, což vyžadovalo vytvoření nadčasového vzhledu, který přesahuje momentální trendy ve vozovém designu. Design tramvaje využívá neutrální barvy a hladké linie, doplněné červeným osvětlením pro dynamický a moderní vzhled, což zajišťuje její vizuální atraktivitu a bezproblémovou integraci do městského prostředí. Pro zvýšení životnosti a snížení nákladů na údržbu jsou použity materiály jednoduché na výrobu a snadno udržovatelné, s možností výměny jednotlivých komponent v případě poškození. Tramvaj je pro zajištění spolehlivosti a bezpečnosti vybavena nejnovějším pohonným systémem pro závěsné tramvaje SAFEGE.

Dále byl kladen důraz na ergonomii a bezpečnost, včetně bezbariérového přístupu a stabilizace proti výkyvům, což usnadňuje nástup a výstup. Interiér vozidla také obsahuje prvky, které usnadňují orientaci a zajišťují pohodlí pro všechny určené skupiny cestujících, včetně zón s panoramatickým výhledem a informačními obrazovkami, které zvyšují atraktivitu tramvaje jak pro rezidenty, tak pro turisty. Z rešerše také vyplynula minimální potřebná kapacita pro provoz vozu, což bylo 116 osob. Návrh má kapacitu 45 míst na sezení, popřípadě až 53 míst při využití prodloužených sedadel dvěma osobami. Navíc dokáže pojmout 100 stojících osob při zaplnění  $5 \text{ os/m}^2$  s madly zajišťujícími bezpečnost během jízdy.

Vzhledem k těmto podrobnostem lze konstatovat, že stanovené cíle byly úspěšně splněny. Představené řešení přináší inovaci v oblasti atraktivity veřejné hromadné dopravy, zajišťuje cestujícím snadnou orientaci a komfort, a zároveň poskytuje bezpečnou jízdu.



## 8 VÝSLEDEK VÝZKUMU PODLE RIV

---

### Výsledky

---

Druh výsledku

Funkční vzorek

---

Název produktu

Závěsná tramvaj pro město Brno

---

Autor

Bc. Kateřina Gálová

---

Místo uložení výsledku

VUT Brno

---

Tab. 8. 1 Výsledek RIV

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BANISTER, David. *Unsustainable Transport: City transport in the new century*. online. 1. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxfordshire OX14 4RN: Routledge, 2005. ISBN 0-203-00388-8. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/287312427\\_Unsustainable\\_transport\\_City\\_transport\\_in\\_the\\_new\\_century](https://www.researchgate.net/publication/287312427_Unsustainable_transport_City_transport_in_the_new_century). [cit. 2023-05-01].
- [2] GRONECK, Christopher. *Wuppertal Schwebebahn Album: The Wuppertal Suspension Railway: Urban Transport in Germany*. 9. 2007. ISBN 3936573158.
- [3] MILLER, Patrick a WIRASINGHE, S. *Monorails for sustainable transportation: a review*. Halifax: Conference: CSCE 2014 General Conference, 2014.
- [4] *Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease*. online. World Health Organization, 2016. ISBN 978-92-4-151-135-3. Dostupné z: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [cit. 2023-05-01].
- [5] KUO, Yong-Hong; LEUNG, Janny a YAN, Yimo. Public transport for smart cities: Recent innovations and future challenges. online. *European Journal of Operational Research*. 2023, roč. 306, č. 3, s. 1001-1026. ISSN 03772217. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2022.06.057>. [cit. 2023-04-01].
- [6] TIMAN, Peter E. Why Monorail Systems Provide a Great Solution for Metropolitan Areas. online. *Urban Rail Transit*. 2015, roč. 1, č. 1, s. 13-25. ISSN 2199-6687. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40864-015-0001-1>. [cit. 2023-05-01].
- [7] *China's First Suspended Monorail Opens for Operation, Offering a Futuristic Ride*. online. In: Gizmochina. 2024. Dostupné z: <https://www.gizmochina.com/2023/09/26/china-first-suspended-monorail/>. [cit. 2024-05-03].
- [8] CZECH NEWS CENTER A.S. *Metro D je po půl století příprav konečně ve výstavbě. Mapa, harmonogram a vizualizace*. online. In: CZECH NEWS CENTER A.S. E15. 2024. Dostupné z: <https://www.e15.cz/metro-d-mapa-trasa-stanice-dokonceni>. [cit. 2024-05-03].

- [9] STATUTÁRNÍ MĚSTO BRNO. Dělna přepravní práce 2022 / Transport modal split 2022. online. In: STATUTÁRNÍ MĚSTO BRNO. *Data.Brno*. 2024. Dostupné z: <https://data.brno.cz/documents/mestobrn0::d%C4%9Biba-p%C5%99epravn%C3%AD-pr%C3%A1ce-2022-transport-modal-split-2022/explore>. [cit. 2024-02-25].
- [10] STATUTÁRNÍ MĚSTO BRNO. *Program rozvoje cestovního ruchu města Brna 2021-2025*. online. In: STATUTÁRNÍ MĚSTO BRNO. Brno. 2024. Dostupné z: [https://www.brno.cz/documents/20121/161986/Program\\_rozvoje\\_cestovniho\\_ruchu\\_mesta\\_Brna\\_2021-2025.pdf/27a31b72-f2c0-7725-0fdb-569509703cf2](https://www.brno.cz/documents/20121/161986/Program_rozvoje_cestovniho_ruchu_mesta_Brna_2021-2025.pdf/27a31b72-f2c0-7725-0fdb-569509703cf2). [cit. 2024-05-07].
- [11] LI, Yan; XU, Yinguang; YAN, Hongying; WANG, Kongming a WEI, Nengqiang. Suspended Monorail System: A New Development of an Urban Rail Transit System with Low Passenger Capacity. online. *ICTE 2015*. 2015, s. 3180-3186. ISBN 9780784479384. Dostupné z: <https://doi.org/10.1061/9780784479384.405>. [cit. 2023-03-20].
- [12] BAO, Yulong; LI, Yongle a DING, Jiajie. A Case Study of Dynamic Response Analysis and Safety Assessment for a Suspended Monorail System. online. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016, roč. 13, č. 11. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph13111121>. [cit. 2023-03-20].
- [13] MALICKE, Michael; WATSON, C. *Wuppertal and the Suspension Railway*. 4th edition. Schöning & Co., 2009. ISBN 978-3-89917-448-9.
- [14] SCHWEBEBAHN. *The suspension monorail*. online. 2021. Dostupné z: <https://schwebebahn.de/en>. [cit. 2024-02-29].
- [15] *Schwebebahn Wuppertal*. online. In: Büro+staubach gmbh. 2024. Dostupné z: <https://buero-staubach.de/project/schwebebahn-wuppertal/?lang=de>. [cit. 2024-02-29].
- [16] H-BAHN.INFO. *H-BAHN21*. online. 2024. Dostupné z: <https://h-bahn.info/en/>. [cit. 2024-03-03].

- [17] DORTMUNDER STADTWERKE AG. *Machbarkeitsstudie zum neuen H-Bahn-Automatisierungssystem wird gefördert.* online. In: DORTMUNDER STADTWERKE AG. DSW21. 2022, c2023. Dostupné z: <https://www.bus-und-bahn.de/news-details/machbarkeitsstudie-zum-neuen-h-bahn-automatisierungssystem-wird-gefoerdert>. [cit. 2024-03-03].
- [18] DVV MEDIA INTERNATIONAL. *Studies back Dortmund H-Bahn expansion.* online. In: DVV MEDIA INTERNATIONAL. Metro Report International. 2023. Dostupné z: <https://www.railwaygazette.com/peplemovers-and-monorails/studies-back-dortmund-h-bahn-expansion/63492.article>. [cit. 2024-03-03].
- [19] GOOGLE LLC. *Skytrain Düsseldorf Fahrt: zum Parkhaus P4 & P5 zum Flughafen Düsseldorf und zum Flughafenbahnhof.* online. In: GOOGLE LLC. *Youtube*. 2024. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=0YHppftkcak>. [cit. 2024-03-04].
- [20] DVV MEDIA INTERNATIONAL. *Suspended monorail with glass floor opens in China.* online. In: Metro Report International. 2023. Dostupné z: <https://www.railwaygazette.com/peplemovers-and-monorails/suspended-monorail-with-glass-floor-opens-in-china/65022.article>. [cit. 2024-03-04].
- [21] *China launches first suspended monorail line.* online. In: XINHUANET.COM. XINHUANET. 2024, 2023-09-26. Dostupné z: <https://english.news.cn/20230926/d265346d0aa74620a276fee61d7bcbe5/c.html>. [cit. 2024-03-03].
- [22] *China's 1st commercial sky rail rolls off production line.* online. In: Optics Valley of China. 2024, 2022-08-29. Dostupné z: [http://www.chinaopticsvalley.com/2022-08/29/c\\_806261.htm](http://www.chinaopticsvalley.com/2022-08/29/c_806261.htm). [cit. 2024-03-03].
- [23] *A view of Optics Valley in Wuhan, Hubei province. The development zone has been hailed as the country's version of Silicon Valley.* online. In: *Chinadaily.com.cn*. 2024. Dostupné z: <http://img2.chinadaily.com.cn/images/201907/29/5d3e5017a310d83045534099.jpeg>. [cit. 2024-03-04].
- [24] CHIBA URBAN MONORAIL CO.,LTD. *Chiba Urban Monorail.* online. Dostupné z: <https://chiba-monorail.co.jp/>. [cit. 2024-03-06].

- [25] *New energy tourism air railway rolls off the assembly line in Chengdu.* online. In: Seetao. 2024, 2021-06-30. Dostupné z: <https://www.seetao.com/details/92863.html>. [cit. 2024-03-06].
- [26] *Russian suspended monorail - "STRELA": The Test range.* online. In: *Youtube*. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=U-MZt3Uy5-4>. [cit. 2023-03-20].
- [27] *Supraways.* online. Dostupné z: <https://www.supraways.com/>. [cit. 2024-03-06].
- [28] *Neugestaltung der Wuppertaler Schwebbahn.* online. In: Red dot. 2024. Dostupné z: <https://www.red-dot.org/zh/project/neugestaltung-der-wuppertaler-schwebbahn-17580-17580>. [cit. 2024-03-06].
- [29] *Cestovní ruch v Jihomoravském kraji ve 4. čtvrtletí 2023 a v roce 2023.* online. In: Český statistický úřad. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xb/cestovni-ruch-v-roce-2023>. [cit. 2024-05-07].
- [30] RUBÍNOVÁ, Dana. *Aplikovaná ergonomie: 5pPDS*. Vysoké učení technické v Brně, 2024.
- [31] STÁTNI ZDRAVOTNÍ ÚŘAD. *SZÚ*. online. 2024. Dostupné z: [szu.cz](https://szu.cz). [cit. 2024-05-07].
- [32] NEDVĚDOVÁ, Jana. *Ergonomická analýza prostoru cestujících v tramvajích.* online, Bakalářská práce, vedoucí Ing. Marek BUREŠ, Ph.D. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní, 2018. Dostupné z: [file:///C:/Users/kgalo/OneDrive/Plocha/%C5%A0kola/Diplomka/Progres/Duben/Ne-dvedova\\_BP\\_2018-2.pdf](file:///C:/Users/kgalo/OneDrive/Plocha/%C5%A0kola/Diplomka/Progres/Duben/Ne-dvedova_BP_2018-2.pdf). [cit. 2024-05-08].
- [33] BABYPLACE.CZ. Popis produktu Rám se sportovním sedákem Thule Spring. online. In: BABYPLACE.CZ. *Baby place*. 2024. Dostupné z: <https://www.babyplace.cz/files/edited/thule-spring-rozmary.jpg>. [cit. 2024-05-08].
- [34] ČSÚ. *Výběrové šetření osob se zdravotním omezením - VŠPO*. online. In: ČSÚ. Český statistický úřad. 2024, 23.01.2024. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/vykazy/vyberove-setreni-osob-se-zdravotnim-omezenim-vspo>. [cit. 2024-05-08].
- [35] *The Monorail Society.* online. Dostupné z: <https://www.monorails.org/>. [cit. 2023-05-01].

- [36] SHONAN MONORAIL. CO., LTD. What are the differences between Wuppertal Suspension Railway (Eugen Langen Monorail Suspension Railway) and Shonan Monorail (SAFEGE Suspended Monorail)?. online. In: SHONAN MONORAIL. CO., LTD. *Shonan Monorail*. Dostupné z: [https://kamakura-enoshima-monorail.jp/fun/images/img\\_compare.png](https://kamakura-enoshima-monorail.jp/fun/images/img_compare.png). [cit. 2024-03-09].
- [37] ČERNÝ, Jiří. *Analýza zařízení současných tramvajových vozidel DPMB*. [rozhovor, zvukový záznam]. Brno, 2023.
- [38] *Cegelec Alvaux: Nová řada statických měničů*. online. In: Cegelec. 2020. Dostupné z: <https://www.cegelec.cz/wp-content/uploads/2022/09/Nova-rada-statickych-menicu-CZ.pdf>. [cit. 2024-03-09].
- [39] *Traction systems for light rail vehicles*. online. In: ABB. 2018, c2024. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/53227e20a10c4e9bab7ce54cc20ce2f7/Traction\\_LR\\_V\\_references\\_RevB\\_180915\\_low.pdf](https://library.e.abb.com/public/53227e20a10c4e9bab7ce54cc20ce2f7/Traction_LR_V_references_RevB_180915_low.pdf). [cit. 2024-03-14].
- [40] *Monorails – Future of Urban Travel*. online. In: Japan Monorail Association. 2019. Dostupné z: <http://www.nihon-monorail.or.jp/assets/pdf/2019english.pdf>. [cit. 2024-03-09].
- [41] *Technische Daten der MAN Gelenktriebwagen 1 - 28*. online. Dostupné z: <http://www.schwebebahn-wtal.de/technik.html>. [cit. 2024-03-09].
- [42] DVV MEDIA INTERNATIONAL. *Skytrain monorail on test*. online. In: DVV MEDIA INTERNATIONAL. Metro Report International. 2020. Dostupné z: <https://www.railwaygazette.com/vehicles/skytrain-monorail-on-test/57793.article>. [cit. 2024-03-09].
- [43] *Tram route 1*. online. In: WikiRoutes. 2024. Dostupné z: <https://wikiroutes.info/en/brno?routes=47599>. [cit. 2024-05-01].
- [44] WSW WUPPERTALER STADTWERKE LTD. *Timetable for the Suspension railway*. online. In: WSW WUPPERTALER STADTWERKE LTD. WSW. 2024. Dostupné z: <https://www.wsw-online.de/mobilitaet/fahrplan/fahrplaene/schwebebahn/>. [cit. 2024-05-01].
- [45] *Přehled současného vozového parku*. online. In: BMHD. 2024. Dostupné z: <https://www.bmhd.cz/evidence-dpmb/prehled.php>. [cit. 2024-05-04].

- [46] *Náš vozový park*. online. In: Dopravní podnik města Brna, a. s. 2024. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/nas-vozovy-park>. [cit. 2024-05-04].
- [47] *ALWEG - Disney/Bombardier*. online. In: The Monorail Society. Dostupné z: <https://www.monorails.org/tMspages/TPDisney.html>. [cit. 2023-10-31].
- [48] DPMB. *První Škoda ForCity Smart 45T je tu!*. online. In: DPMB. Dopravní podnik města Brna. 2023. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/prvni-skoda-forcity-smart-45t-je-tu>. [cit. 2023-10-31].
- [49] KOLÁŘ, Josef. Vývojové trendy v řešení nízkopodlažních článkových tramvají. online. In: ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE FAKULTA STROJNÍ. *Portál ČVUT*. Dostupné z: <https://portal.cvut.cz/wp-content/uploads/2017/04/HP2007-34-Kolar.pdf>. [cit. 2023-10-31].
- [50] *Lamináty pro kolejová vozidla*. online. In: Kompozity Michalík s.r.o. 2023. Dostupné z: <http://www.kompozity-michalik.cz/produkty/laminaty-pro-kolejova-vozidla>. [cit. 2023-10-31].
- [51] DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA BRNA, A. S. *Očista sedaček i údržba klimatizací*. online. In: DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA BRNA, A. S. DPMB. 2024. Dostupné z: <https://www.dpmb.cz/ocista-sedacek-i-udrzba-klimatizaci-vozy-brnenske-mhd-se-pripravuji-na-leto>. [cit. 2024-05-22].

## 10 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A VELIČIN

%	procenta
V	volt
mm	milimetr
kW	kilowatt
kg	kilogram
DC	stejnoseměrný proud (direct current)
PVC	polyvinylchlorid
ABS	akrylonitrilbutadienstyren
PVB	polyvinyl butyral
LCD	displej z tekutých krystalů (liquid crystal display)
VHD	veřejná hromadná doprava
IAD	individuální automobilová doprava
ETCS	European Train Control System
LED	elektroluminiscenční dioda (Light-Emitting Diode)
SIPEM	SIemens PEople Mover
SAFEGE	Francouzská anonymní společnost pro studium řízení a podnikání (Société Anonyme Française d'Etude de Gestion et d'Entreprises)
DPMB	Dopravní podnik města Brna



# 11 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

## 11.1 Seznam obrázků

Obr. 2. 1 Prisma diagram .....	16
Obr. 2. 2 Schwebbahn Wuppertal [15] .....	22
Obr. 2. 3 (a) signalizace zavírání; (b) umístění reklamy (Foto autor).....	23
Obr. 2. 4 (a) náhled interiéru, (b) čtyřsedadlová sekce [15] .....	24
Obr. 2. 5 H-Bahn Dortmund současný design [16] .....	25
Obr. 2. 6 Koncept nového designu H-Bahn v Dortmundu [17] .....	25
Obr. 2. 7 SkyTrain Düsseldorf (a) exteriér [16]; (b) interiér [19] .....	26
Obr. 2. 8 Prosklená podlaha The Optics Valley Photon (a) pohled zespodu [21]; (b) interiér [22] .....	27
Obr. 2. 9 (a) „The Optics Valley Photon“ [20]; (b) prostředí Optics Valley ve Wuhanu [23] .....	27
Obr. 2. 10 Vůz typu Urban Flyer 1000 (a) exteriér; (b) interiér [24].....	29
Obr. 2. 11 Vůz typu Urban Flyer 0 (a) exteriér; (b) interiér [24] .....	29
Obr. 2. 12 Dayi Air Rail, 3. generace [25] .....	30
Obr. 2. 13 Strela Monorail [26] .....	31
Obr. 2. 14 Supraways vozidla (a) přeprava osob; (b) přeprava nákladu [27] .....	31
Obr. 2. 15 Koncept přestavby Wuppertalské závěsné tramvaje [28].....	32
Obr. 2. 16 Schéma cestující – vůz – prostředí.....	32
Obr. 2. 17 grafické znázornění parametrů člověka viz Tab 2.1 [30] .....	36
Obr. 2. 18 Tělesná výška dětí [31] .....	36
Obr. 2. 19 Rozměry kočárku [32] .....	37
Obr. 2. 20 Orientační prostorová náročnost cestujícího s kufrem [32] .....	38
Obr. 2. 21 Opěradlo pro invalidní vozík .....	39
Obr. 2. 22 Double Flanged systém [32] .....	40
Obr. 2. 23 SAFEGE systém [32].....	41
Obr. 2. 24 Jednokolejné lanové dráhy (a) Schwebbahn Dresden; (b) Skyrail Midorizaka Line [31].....	41

Obr. 2. 25 Statický měnič Cegelec Alvaux [34] .....	42
Obr. 2. 26 Trakční měnič Compact Converter BORDLINE® CC400 [35].....	43
Obr. 2. 27 Klimatizační jednotka Konvekta (Foto autor).....	43
Obr. 2. 28 Schéma SAFEGE systému [36] (upraveno) .....	44
Obr. 4. 2 Vizualizace Varianty I	56
Obr. 4. 3 Schéma Varianty I .....	57
Obr. 4. 4 Vizualizace Varianty II .....	58
Obr. 4. 5 Schéma Varianty II.....	58
Obr. 4. 6 Vizualizace Varianty III .....	59
Obr. 4. 7 Schéma Varianty III.....	60
Obr. 5. 1 Předběžný návrh.....	63
Obr. 5. 2 Předběžný návrh zadní strana.....	63
Obr. 5. 3 Rozmístění interiéru.....	64
Obr. 5. 4 Rozměry předběžného návrhu v mm.....	64
Obr. 5. 5 Materiálové řešení .....	65
Obr. 5. 6 Odhad výrobních nákladů .....	67
Obr. 6. 1 Tvarové řešení.....	68
Obr. 6. 2 Propojení závěsného zařízení se střešou .....	69
Obr. 6. 3 Čelní panoramatické okno .....	70
Obr. 6. 4 Zadní panoramatické okno.....	70
Obr. 6. 5 Postranní okna.....	71
Obr. 6. 6 Spodní část opláštění.....	71
Obr. 6. 7 Grasshopper skript.....	72
Obr. 6. 8 Rozměrové řešení .....	73
Obr. 6. 9 Uspořádání technického vybavení .....	74
Obr. 6. 10 Materiálové řešení .....	76
Obr. 6. 11 Srovnání vchodu a východu vůči mezním hodnotám výšky lidské postavy....	77
Obr. 6. 12 Rozměry nástupních dveří 50% muž .....	78

Obr. 6. 13	Nástup osoby na vozičku .....	78
Obr. 6. 14	Rozměry výstupních dveří 95% muž.....	79
Obr. 6. 15	Směr pohybu ve voze .....	79
Obr. 6. 16	Perspektivní zobrazení interiéru .....	80
Obr. 6. 17	Rozměry sedadel .....	81
Obr. 6. 18	Perspektivní pohled na čtyřsedadlo.....	81
Obr. 6. 19	Muž o výšce 1 855 mm držící se horizontálního madla .....	82
Obr. 6. 20	Žena o výšce 1 505 mm držící se vertikálního madla .....	83
Obr. 6. 21	Manipulační prostor vozičku.....	83
Obr. 6. 22	Nástup osoby s vozičkem .....	84
Obr. 6. 23	Umístění vozičku.....	85
Obr. 6. 24	Umístění dvou kočárků .....	85
Obr. 6. 25	Madla pro asistenci u vstupu.....	86
Obr. 6. 26	Madla pro asistenci u sedadel.....	87
Obr. 6. 27	Zorné pole oka osoby v první řadě sedadel s rozšířeným výhledem.....	88
Obr. 6. 28	Vizualizace výhledu z druhé řady sedadel .....	88
Obr. 6. 29	Obrazovka ve výhledové zóně.....	89
Obr. 6. 30	Informační prvky při nástupu .....	90
Obr. 6. 31	Perspektivní pohled na obrazovky v interiéru.....	90
Obr. 6. 32	Stabilizační systém v zastávce.....	91
Obr. 6. 33	Pohybový senzor dveří .....	92
Obr. 6. 34	Použití SOS tlačítka.....	92
Obr. 6. 35	Detail SOS tlačítka .....	93
Obr. 6. 36	Posádka záchranného vozu pomáhající cestujícím .....	93
Obr. 6. 37	Nouzový můstek mezi vozy .....	94
Obr. 6. 38	Detailní záběr na sedadla, madla a podlahu.....	95
Obr. 6. 39	RAL barvy řešení I a II.....	96
Obr. 6. 40	Barevné řešení I.....	96
Obr. 6. 41	Barevné řešení II .....	97
Obr. 6. 42	RAL barvy řešení III.....	97

Obr. 6. 43 Barevné řešení III .....	98
Obr. 6. 44 Grafické řešení obrazovek .....	98
Obr. 6. 45 Proces tvorby fontu .....	99
Obr. 6. 46 Logotyp .....	99
Obr. 6. 47 Umístění logotypu na opláštění .....	99
Obr. 6. 48 Propojení s vizuálním stylem města .....	100

## 11.2 Seznam grafů

Graf 2. 1 Porovnání množství přepravených osob různými typy MHD [6] .....	18
Graf 2. 2 Dělbá přepravní práce – kategorizace [9] .....	19
Graf 2. 3 Bariéry využívání cyklistické přepravy v Brně [9] .....	20

## 12 SEZNAM TABULEK

Tab. 2. 1 Vybrané rozměrové parametry člověka v mm [30].....	35
Tab. 2. 2 Analýza rozměrů vozů závěsných tramvají .....	45
Tab. 2. 3 Analýza kapacity a rozměrů vybraných aktivních tramvají v Brně [41] [42] ....	45

## 13 SEZNAM PŘÍLOH

Zmenšené postery:

- zmenšený sumarizační poster
- zmenšený technický poster
- zmenšený ergonomický poster
- zmenšený designérský poster

Samostatné přílohy:

- sumarizační poster A1
- ergonomický poster A1
- technický poster A1
- designérský poster B1

# SUMARIZAČNÍ POSTER

## SKYLINE

SUMARIZAČNÍ POSTER



Cílem diplomové práce bylo navrhnout koncepční design závěsné tramvaje, která by přispěla ke zvýšení atraktivity městské veřejné dopravy pro rezidenty i návštěvníky města a současně by pomohla k odlehčení současné dopravní situace.

Dynamický vzhled je podtržen strategickým využitím kontrastních barev a akcentován červeným osvětlením po obvodu, které zesiluje vizuální dojem rychlosti a dodává tramvaji dynamický charakter.



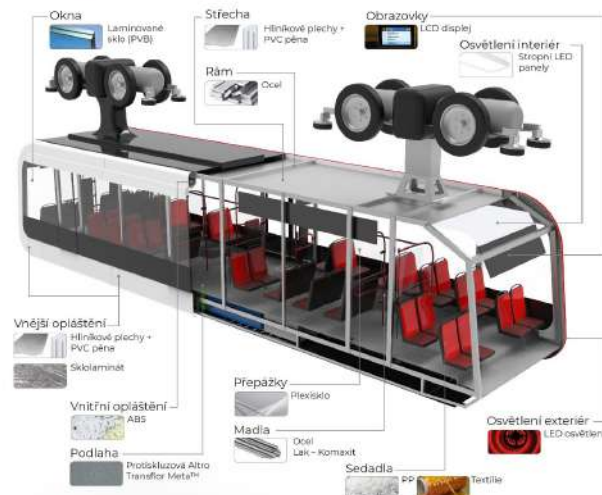
DESIGN ZÁVĚSNÉ TRAMVAJE PRO MĚSTO BRNO / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Kateřina Gállová / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ŮK / OPD / 2024



# TECHNICKÝ POSTER

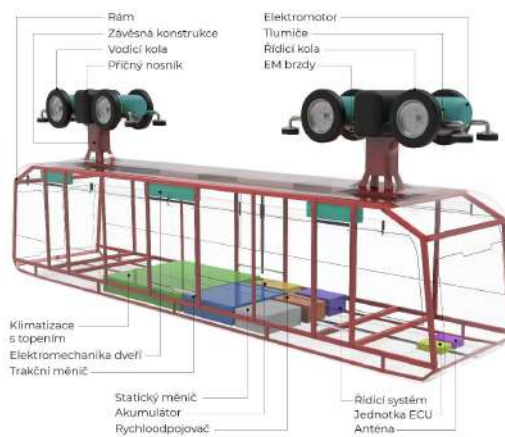
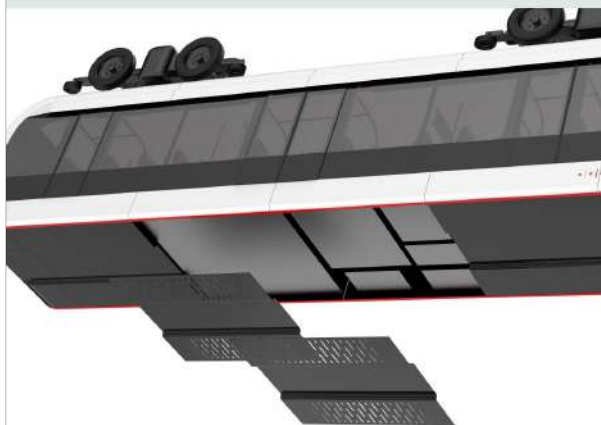
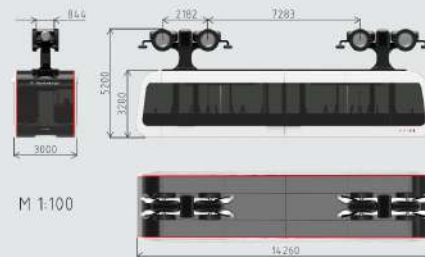
## SKYLINE

TECHNICKÝ POSTER



Funkčnost tramvaje závisí především na závěsném systému SAFECE, který zahrnuje pohonný systém složený ze dvou modulů, každý s dvojicí elektromotorů, dále pojzdovou soupravu s pneumatikami z pevné pryže, boční vodičí kola pro zvýšení stability, elektromagnetické brzdy a hydraulické tlumiče.

Vnější opláštění je vyrobeno z ohýbaných hliníkových plechů a sklaminátu v kombinaci s PVC pěnou pro izolaci. Okna z bezpečnostního skla chrání cestující v případě nárazu. Interiér je vybaven opláštěním z ABS plastu vysoce odolnému proti poškození.



DESIGN ZÁVĚSNÉ TRAMVAJE PRO MĚSTO BRNO / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Kateřina Gálová / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2024

VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA STROJNÍHO  
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ  
V BRNĚ

ÚSTAV  
KONSTRUOVÁNÍ

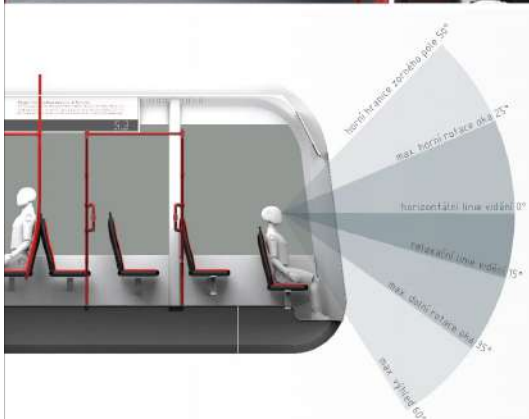
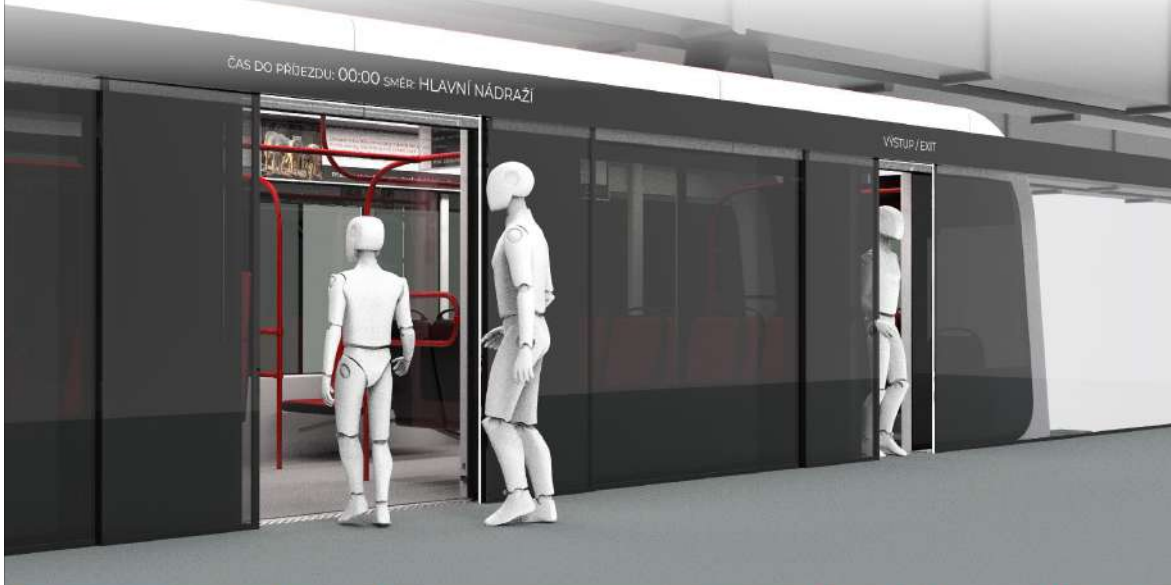
odbor  
průmyslového  
designu



# ERGONOMICKÝ POSTER

## SKYLINE

ERGONOMICKÝ POSTER



Kapacita vozu je až 45 míst na sezení a 100 míst na stání. Pro zajištění komfortu a bezpečí během jízdy, byla sedadla i místa pro stání upravena tak, aby odpovídala mezním tělesným rozměrům cestujících.

Interiér vozidla také obsahuje prvky, které usnadňují orientaci a zajišťují pohodlí pro všechny určené skupiny cestujících, včetně zón s panoramatickým výhledem a informačními obrazovkami, které zvyšují atraktivitu tramvaje jak pro rezidenty, tak pro turisty.

DESIGN ZÁVĚSNÉ TRAMVAJE PRO MĚSTO BRNO / DIPLOMOVÁ PRÁCE / Autor: Bc. Kateřina Gálová / Vedoucí práce: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD. / VUT v Brně / FSI / ÚK / OPD / 2024

**T** VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA STROJNÍHO  
TECHNICKÉ INŽENÝRSTVÍ  
V BRNĚ

ÚSTAV  
KONSTRUOVÁNÍ

odbor  
průmyslového  
designu

# DESIGNÉRSKÝ POSTER

## Design závěsné tramvaje pro město Brno

2024

Kateřina Gálová

vedoucí: doc. akad. soch. Ladislav Křenek, ArtD.

SkyLine je návrh závěsné tramvaje pro město Brno. Cílem této práce bylo vytvořit koncepční design závěsné tramvaje, která by zatražila MHD pro rezidenty i turisty a pomohla by k odlehčení současné dopravní situace. Tvarové řešení vychází z originálního rozložení interiéru, které nabízí prostor přizpůsobený rezidentům dojíždějícím na denní bázi, ale také zónu s perspektivním výhledem, která má za úkol zatražit cestování městskou hromadnou dopravou a zároveň zaujmout nové cestující k využití této formy dopravy. Kontrastní barevné řešení je strategicky kombinováno tak, aby vytvářelo dynamický dojem, který je ještě umocněn aplikací červeného obvodového světla.

