

Design exteriéru autonomní lokomotivy

Jakub Hunal

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta multimediálních komunikací
Ateliér Průmyslový design

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Jakub Hunal
Osobní číslo:	K22063
Studijní program:	B0212A310004 Multimédia a design
Specializace:	Průmyslový design
Forma studia:	Prezenční
Téma práce:	Design dopravního prostředku

Zásady pro vypracování

1. Úvod
2. Analýza řešené problematiky
3. Cíle práce
4. Výrobní parametry
5. Variantní designérské návrhy
6. Finální designérské řešení
7. Ergonomická studie
8. Technická dokumentace
9. Fyzický model / prototyp / realizovaný výrobek
10. Shrnutí přínosů práce
11. Závěr
12. Výsledek výzkumu
13. Seznam použité literatury a zdrojů
14. Seznam použitých symbolů a zkratk
15. Seznam obrázků a grafů
16. Seznam tabulek
17. Seznam příloh
18. Zmenšené postery

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

CASKA, Jiří. *Střídavé lokomotivy – jednofázová elektrická vozidla: historie, vývoj, technika*. Grada, 2023. ISBN 978-80-271-6964-1.
HARÁK, Martin a KOLMAČKA, Rostislav. *Prototypy elektrických lokomotiv, jednotek a vozů*. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-3449-6.
KOLEŠÁR, Zdeno. *Nové kapitoly z dějin dizajnu*. 2. dopl. a rozš. vyd. Bratislava: Slovenské centrum dizajnu, 2009. ISBN 978-80-970173-1-6.
PAULY, Jana a HULÁK, Jiří. *Český průmyslový design 1990-2010*. [Roztoky u Prahy]: Signum, c2010. ISBN 978-80-903531-0-7.
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.

Vedoucí bakalářské práce: **MgA. Ondřej Puchta, Ph.D.**
Ateliér Průmyslový design

Oponent bakalářské práce: **Mgr. art. Milan Láník**
Ateliér Průmyslový design

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **23. května 2025**

L.S.

Mgr. Josef Kocourek, Ph.D.
děkan

doc. MgA. Martin Surman, ArtD.
vedoucí ateliéru

Ve Zlíně dne 1. prosince 2024

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou autonomní železniční dopravy. Práce má za cíl pojmout problematiku komplexně a vytvořit lokomotivu, která bude svou koncepcí i konstrukcí přizpůsobena tomuto typu provozu. Díky využitým inovacím se zvýší efektivita a udržitelnost dopravy.

V první části práce je představena historie železničních vozidel u nás a v zahraničí, která tvoří výchozí bod současné produkce. Součástí analytické části jsou názory odborné veřejnosti. Získané podněty jsou základem pro praktickou část práce, která kromě historie a analýzy současné situace obsahuje: kresebné návrhy, 3D digitální model a konečným produktem je fyzický model v měřítku 1:15

Klíčová slova: lokomotiva, autonomizace, doprava

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the issue of autonomous railway transport. The aim of the thesis is to comprehensively address the issue and to create a locomotive that will be adapted to this type of operation by its concept and design. The innovations used will increase the efficiency and sustainability of transport.

The first part of the thesis presents the history of railway vehicles in the Czech Republic and abroad, which forms the starting point of the current production. The analytical part includes the opinions of the professional public. The obtained suggestions are the basis for the practical part of the work, which, in addition to the history and analysis of the current situation, includes: drawing designs, 3D digital model and the final product is a physical model at a scale of 1:15

Keywords: locomotive, autonomization, transport

[K překladu byla použita služba deepl.com.]

Především bych rád poděkoval panu MgA. Ondřeji Puchtovi, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce a jeho přístup k celému procesu. Dále vedoucímu ateliéru MgA. Martinu Surmanovi, ArtD. ze cenné poznatky, které mi ukázaly další úhel pohledu a za osobní přístup.

Zvláště bych chtěl poděkovat konzultujícím z odborných firem. Díky nim dosáhla práce vyšší odborné kvality. Poděkování patří také Mgr. Františku Jemelkovi za zastoupení Ministerstva dopravy.

V neposlední řadě bych chtěl velmi poděkovat svým blízkým, přátelům a rodině za podporu během celého studia, a především během strastiplných dnů při psaní této práce. Poděkování také patří Mgr. Zuzaně Melkusové nejen za korekturu textu, ale komplexní podporu během závěrečné fáze práce.

OBSAH

1	ÚVOD	13
1.1	PŘEDSTAVENÍ ZADÁNÍ ABSOLVENTSKÉ PRÁCE	13
1.2	MOTIVAČNÍ FAKTORY PRO VOLBU TÉMATU	13
1.3	OBECNÉ UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY ŘEŠENÉ PRODUKTOVÉ KATEGORIE	13
2	ANALÝZA ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	15
2.1	REŠERŠNÍ METODY	15
2.2	HISTORICKÝ VÝVOJ ŽELEZNICE	15
2.2.1	Prvotní vznik železnice	15
2.2.2	Historie železnice v České republice	16
2.3	VÝVOJ LOKOMOTIV V ČESKU	17
2.3.1	Řada 310.....	17
2.3.2	Řada 498.....	18
2.3.3	Řada 556.....	19
2.4	DIESELOVÉ LOKOMOTIVY	19
2.4.1	Řada T478	20
2.4.2	Jednotka 451.....	21
2.4.3	Lokomotiva 110	22
2.4.4	Lokomotiva s699.0.....	23
2.4.5	Škoda 85E	24
2.5	CELOSVĚTOVÁ ANALÝZA	25
2.5.1	Stadler EURO9000.....	25
2.5.2	Siemens Vectron	25
2.5.3	Alstom H3	26
2.5.4	Škoda 109E	27
2.5.5	Wabtec Maverick	28
2.5.6	RFI URV	29
2.6	DESIGNÉRSKÁ ANALÝZA	29
2.6.1	Technická omezení designu	29
2.6.2	Rozdílné přístupy tvarosloví	30
2.7	VÝZKUM	31
2.7.1	Autonomie.....	31
2.7.2	Konzultace konstrukčních parametrů.....	32
2.7.3	Ministerstvo dopravy české republiky	33
2.7.4	AŽD.....	33
2.8	SHRNUTÍ.....	36
3	CÍLE PRÁCE	37
3.1	HLAVNÍ CÍL PRÁCE	37
3.2	VEDLEJŠÍ CÍLE PRÁCE	37

3.3	OBLASTI MOŽNÝCH INOVACÍ	38
3.4	CÍLOVÍ UŽIVATELÉ A TRH	38
4	VÝROBNÍ PARAMETRY	40
4.1	VÝROBNÍ TECHNOLOGIE	40
4.2	MATERIÁLY	40
4.3	VÝROBNÍ NÁKLADY	41
4.4	DOPADY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	42
5	VARIANTNÍ DESIGNÉRSKÉ NÁVRHY	43
6	FINÁLNÍ DESIGNÉRSKÉ ŘEŠENÍ	49
6.1	FINÁLNÍ ŘEŠENÍ – VIZUALIZACE	49
7	ERGONOMICKÁ STUDIE	50
8	TECHNICKÁ DOKUMENTACE	51
8.1	ROZMĚROVÝ NÁČRT NAVRŽENÉHO PRODUKTU ČI ZAŘÍZENÍ	51
8.2	ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ SCHÉMA NAVRŽENÉHO PRODUKTU A JEHO DÍLŮ	51
8.2.1	Spřáhlo	51
8.2.2	Sběrač	52
8.2.3	Rám a podvozek	52
8.2.4	Senzorika	53
8.3	ODHAD VÝROBNÍCH NÁKLADŮ	53
9	FYZICKÝ MODEL	54
9.1	PŘÍPRAVA DAT PRO FYZICKÝ MODEL	54
9.2	PROCES VÝROBY A ZVOLENÉ TECHNOLOGIE	55
9.2.1	Příprava 3D tisku	55
9.2.2	Tisk	55
9.2.3	Zpracování tisku	56
9.3	FINÁLNÍ PODOBA MODELU	56
10	SHRNUTÍ PŘÍNOSŮ PRÁCE	57
10.1	REKAPITULACE DESIGNÉRSKÉHO PROCESU	57
10.2	PŘÍNOSY A INOVACE DESIGNÉRSKÉHO ŘEŠENÍ	57
10.3	KRITICKÉ ZHODNOCENÍ	57
11	ZÁVĚR	59
12	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
13	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	65
14	SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ	66
15	SEZNAM PŘÍLOH	68
16	ZMENŠENÉ POSTERY	70
16.1	SUMARIZAČNÍ BANNER	70

1 ÚVOD

1.1 Představení zadání absolventské práce

Železniční doprava má téměř po celém světě hlubokou historii, a proto, i přes nárůst objemů dopravy jinými dopravními prostředky, má železnice své nezastupitelné výhody i nevýhody. Díky vybudované infrastruktuře je železnice schopna přepravovat velké množství osob i nákladu v dobrém čase na dlouhé vzdálenosti. Pokud se železniční průmysl nezdrží za rozvojem technologií v jiných odvětvích, bude to příležitost nabídnout efektivní, ekonomickou i ekologickou alternativu přepravy. Zásadní zlepšení těchto parametrů by měla přinést silná autonomizace a automatizace železnice, díky tomu se zkrátí jak časy sestavování vlakových souprav, tak jízdní doby a prodlevy. Všechny tyto atributy bude předmět práce obsahovat tak, aby ukázal možný směr budoucího vývoje a výroby víceúčelových lokomotiv. Dosaženo tak bude díky autonomnímu řízení v úrovni GoA4, automatickým spřáhům a hybridnímu systému.

1.2 Motivační faktory pro volbu tématu

Rozhodnutí zpracovávat toto téma leží na několika faktorech. Od počátku se mi toto téma zamlouvá hned z několika důvodů. Jedním z nich je dlouholetá blízkost železnice, ta mi napomáhá porozumět dané problematice a chápat její souvislosti, ať už získané z literatury nebo díky rozhovorům s odborníky z praxe. Dalším faktorem je kombinace oblasti designu dopravních prostředků s technickým a konstrukčním řešením, které si takové zadání žádá. V neposlední řadě je nepochybný přínos pro vlastní osobní rozvoj v dříve zmíněných oblastech, ať už z oblasti designu, komunikace s institucemi a výrobci, nebo zohledňování výrobních a technologických limitů. Velkou motivací je možnost nahlédnout do pravděpodobné blízké budoucnosti železniční dopravy.

1.3 Obecné uvedení do problematiky řešené produktové kategorie

Železnice je specifickou oblastí jak v designu dopravních prostředků, tak z pohledu provozovatelů a výrobců. Z těchto důvodů v kombinaci s hlubokou historií trpí nynější produkce kolejových vozidel jistou rigidností až konzervativností. To může představovat problém v podobě pozvolného přijímání nových technologií a inovací. Tento postoj je navíc posílen přímo legislativou, ať už mezinárodní nebo státní, na druhou stranu i díky ní patří

železnice mezi jeden z nejbezpečnějších druhů dopravy. Cílem tedy je zachovat maximální bezpečnost, zohlednit potřebná nařízení a standardy. To vše s využitím inovací a nových technologií, které zatraktivní železniční dopravu. Samozřejmě tato situace nabízí skvělou příležitost vkročit na trh s průkopnickým řešením, které ukáže další vývoj tohoto odvětví. Je pravděpodobné, že se v budoucnosti budeme setkávat s železnicí, která bude využívat takové prvky, které budou zmíněné v této práci. Později budou specifikována všechna omezení a podmínky, které musí lokomotiva, potažmo autonomní lokomotiva, splňovat.

2 ANALÝZA ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V této kapitole budou rozebrány jednotlivé faktory ovlivňující železniční dopravu jak v historii, tak v současnosti. Pozornost bude zaměřena především na samotná vozidla se zaměřením na lokomotivy, a to v několika oblastech. V rámci historické analýzy budou zmíněny stroje, které byly předchůdci strojů dnešních. Dále bude řečeno, jako vypadá současný svět lokomotivní produkce a jakým směrem by se mohl ubírat.

Toto vše bude doplněno poznatky z oblasti vývoje technologií, legislativy a výrobních procesů tak, abychom získali ucelený pohled na to, proč má smysl se zabývat tématem autonomní lokomotivy.

2.1 Rešeršní metody

Zdroji informací budou odborná literatura a články, webové stránky a osobnosti, které jsou odborníky v oborech souvisejících s tímto tématem. Zdroje jsou vybírány tak, aby informace poskytnuté v této práci byly relevantní, odborné a přinášely jí přínos. Analyzovány budou také jiné návrhy a koncepty tak, aby byl poskytnut přehled o vývoji designu v železničním světě, který poslouží jako inspirace při vlastní tvorbě.

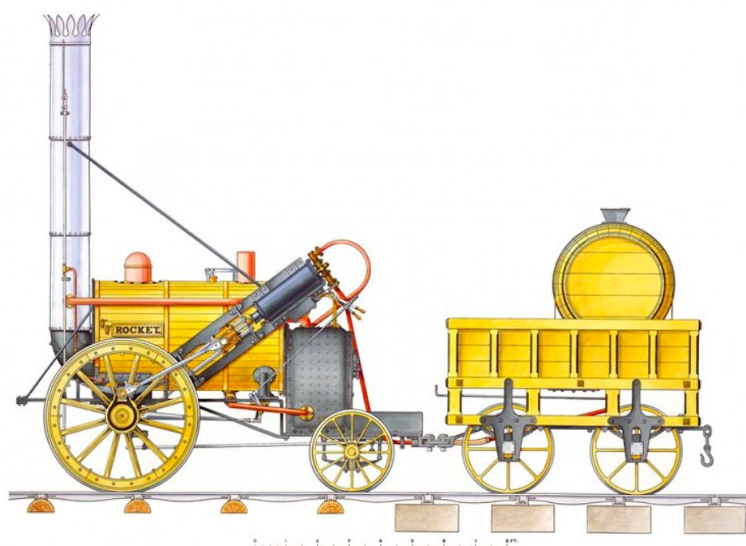
2.2 Historický vývoj železnice

Historický vývoj je klíčovým pro pochopení vývoje současné a budoucí železniční dopravy. Právě ten určil, kam se vyvinul současný svět produkce železničních vozidel. Součástí historického vývoje je představení významných zástupců výrobců, konstruktérů a designerů, kteří zanechali významnou stopu v historii produkce lokomotiv na našem území. Někteří z nich se stali známými a populárními jak u odborné, tak i u laické veřejnosti nejen u nás, ale i v zahraničí.

2.2.1 Prvotní vznik železnice

Prvotní vznik železnice sahá až do počátků využívání kolejnicových drah pro dopravu materiálu v dolech a průmyslových provozech. Tyto primitivní dřevěné či později železné koleje umožňovaly snadnější přepravu surovin a postupně vedly k myšlence jejich širšího využití. Klíčovým momentem se stal počátek 19. století, kdy se s rozvojem parního stroje objevily první lokomotivy, které byly schopné pohánět vlakové soupravy. Mezi průkopníky patřil George Stephenson, jehož konstrukce patřily mezi první rozšířenější lokomotivy. Tento nový způsob přepravy postupně ovlivnil nejen průmysl, ale i společnost. Rychlé

tempo rozšiřování železniční sítě v 19. století bylo začátkem éry dopravy, která je dodnes jedním z nejvýznamnějších druhů transportu. V textu je uveden obrázek lokomotivy s názvem Rocket od již zmíněného konstruktéra George Stephensona, která byla první lokomotivou zajišťující pravidelnou osobní přepravu, a to mezi anglickými městy Manchester a Liverpool.¹



Obrázek 1 Lokomotiva Rocket²

2.2.2 Historie železnice v České republice

Počátky železniční dopravy na území dnešní České republiky sahají do první třetiny 19. století. První železniční trať byla koněspřežná dráha (tedy železniční vozy tažené koňmi) spojující Linec a České Budějovice v tehdejší Rakousko-Uhersku, jejíž česká část byla uvedena do provozu v září 1827. Následovala Lánská koněspřežná dráha, která byla v provozu od jara roku 1830. Tyto rané železniční projekty položily základy pro další rozvoj železniční sítě v českých zemích. Největší přerod na lokomotivní dráhy probíhal v druhé polovině 19. století. Železnice byla v první řadě způsobem, jak podpořit průmyslovou výrobu, až sekundárně začala obstarávat i osobní dopravu.³ První elektrifikovaná železniční trať na našem území byla uvedena do provozu v roce 1903 mezi Tábořem a Bechyní. Tento počín, známý jako „Bechyňka“, byl realizován pod vedením významného českého elektrotechnika Františka Křižíka. Historická podoba je vyobrazena níže na obrázku 2.

¹ HERRING, *Vlaky a železnice*, 2005

² RAILWAY MUSEUM, *Lokomotiva Rocket*, 2018

³ ARCHITECTURE WEEK, *Historie České dráhy*, 2025

Elektrifikace železničních tratí se poté postupně rozšiřovala, přičemž významný rozmach nastal ve druhé polovině 20. století.



Obrázek 2 Dobová trať Bechyně-Tábor⁴

2.3 Vývoj lokomotiv v Česku

V této části budou představeny některé z významných lokomotiv, které vznikaly nebo byly provozovány na území ČR, tedy i v bývalých územních zřízeních jako ČSR a ČSSR.

Naše země mají bohatou historii v této oblasti průmyslové výroby, z tohoto důvodu bude představen jen výběr těch nejzásadnějších zástupců.

2.3.1 Řada 310

Tato řada patří mezi nejstarší parní lokomotivy široce rozšířené u nás. Jedná se o malou třínápravovou lokomotivu. Díky velkému počtu těchto lokomotiv a poměrně jednoduché konstrukci naplnila řada 310 potřeby rychle se rozrůstající železniční dopravy. Tyto lokomotivy byly nahrazovány až s příchodem větších a silnějších lokomotiv, ovšem díky svým vlastnostem byla dlouhou dobu tato řada vhodná pro provoz na lokálních tratích a posunech. Nejstarší kus provozovaný u Československých drah (dále jen ČSD) byl vyroben již v roce 1879.⁵

⁴ VLAKY.NET, *Nádraží Bechyně*, 2013

⁵ BEK, *Atlas lokomotiv*, 1982



Obrázek 3 Parní lokomotiva řady 310⁶

2.3.2 Řada 498

V období po druhé světové válce byla potřeba nových a technicky vyspělejších lokomotiv pro rychlíkovou dopravu. Tuto potřebu uspokojily parní lokomotivy řady 498.0 a později 498.1, které byly vyráběné v tehdejších Škodových závodech a lidově přezdívané „Albatros“. Lokomotivy si získaly oblibu nejen díky svým výkonům v rychlíkové dopravě, ale také svým elegantním vzhledem, kterému dominují čtyři spřažené dvoukolí velkého průměru, typického pro rychlíkové lokomotivy.



Obrázek 4 Parní rychlíková lokomotiva 498.1⁷

⁶ ČD NOSTALGIE, *Parní lokomotiva řady 310*, 2019

⁷ ORTNER, *Lokomotiva 498.104*, 1997

2.3.3 Řada 556

Tato řada byla známá nejen pro odbornou veřejnost pod přezdívkou „Štokr“. Stejně jako byla potřeba nových lokomotiv pro rychlíkovou dopravu, nebylo tomu jinak ani v dopravě nákladní. První motivací pro tyto těžkotonážní (hmotnost lokomotivy ve službě dosahovala 99 tun) lokomotivy byla potřeba obnovy poválečné republiky. Vysokou schopnost v nákladní dopravě následně během 50. let jen potvrzovala série nákladních vlaků, které dosahovaly hmotnosti tisíce tun, ty nejtěžší přes 8000 tun.

Kvality těchto lokomotiv jsou shrnuty v knize o této lokomotivní řadě, která je popisuje jako nejpočetnější řadu parních lokomotiv na kolejích ČSD. Ve své době a ve své třídě patřily v Evropě k vrcholu v oblasti těžké nákladních přepravy.⁸



Obrázek 5 Parní lokomotiva řady 556⁹

2.4 Dieselové lokomotivy

Přirozeným postupem doby přicházely ke slovu i jiné druhy pohonu. Ačkoliv se tato práce zabývá elektrickou lokomotivou, v oblasti dieselové trakce existuje množství strojů, které stojí za zmínku nejen z pohledu jejich vývoje a techniky, ale také designérů, kteří se podepsali svou významnou stopou na jejich podobě. Pokud se řekne dieselový pohon, jedná se o zjednodušený pojem. Pohon železničních vozidel lze rozdělit na dvě části, z nichž první je samotný agregát, který je zdrojem výkonu, tím je tedy dieselový motor. Druhou částí je to, jak přenést z tohoto agregátu výkon až na samotná dvojkolí, tedy získání pohybu.

⁸ CASKA, *Parní lokomotivy řady 556.0*, 2024

⁹ POMEISL, *Lokomotiva Štokr 556*, 2021

Uvedeny následně budou jen příklady. Existuje přenos mechanický, hydraulický, elektrický, a další. Přiblížen bude přenos výkonu elektrický, jednak je nejvíce rozšířený a bude zastoupen i u většiny příkladů, které jsou zde uvedeny. U diesel-elektrických lokomotiv pohání vznětový motor elektrický generátor. Elektrická energie v něm vytvořená se poté spotřebovává v elektrických motorech, které už jsou přímo na podvozku, v tomto je již podobnost s elektrickými lokomotivami, rozdíl je jen v získávání elektrické energie.

2.4.1 Řada T478

Jedná se o původní dobové označení, dnes tuto řadu najdeme pod čísly 751-755. Do tohoto označení spadají dva velmi známé stroje, tzv. „Bardotka“ a „Brejlovec“. Počátek těchto strojů nalezneme v 60. letech minulého století. S končící parní trakcí vznikla potřeba náhrady lokomotiv na neelektrifikované tratě. Samozřejmě různé výrobní série procházely jak technickou proměnou, tak i vizuální, proto můžeme potkat tzv. „bardotky“ s různými odlišnostmi. Tento fakt ovšem nic nemění na tom, že tvarosloví, které jim dalo tuto přezdívku, se stalo velmi známé nejen u skalních železničních fanoušků. Tato lokomotiva byla dokonce oceněna cenou za design, tím se jen potvrzuje její místo ve významnosti lokomotivní historie.¹⁰

Neméně důležitou a známou pokračovatelkou je lokomotiva s přezdívkou „Brejlovec“, která patří do série značené T478.3 a je evolucí řad 478.0-2.

Takzvaný „Brejlovec“ patří série značené T478.3, která je evolucí řad 478.0-2. Tuto přezdívku získala lokomotiva díky svému typickému umístění kabiny strojvedoucího. Autorem tohoto designu je Otakar Diblík, významný český průmyslový designér, stojící za mnoha návrhy nejen dopravních prostředků, které se dodnes řadí do technického dědictví naší republiky. Jedním z jeho pedagogů byl neméně známý sochař a výtvarník Vincent Makovský. S tímto jménem se setkáme i u elektrické lokomotivy S699.0, která je svým designérským zpracováním taktéž velmi známá.

¹⁰ ŠVESTKA, Atlas lokomotiv, 2025

Obrázek 6 Lokomotivy „Bardotky“¹¹Obrázek 7 „Brejlovec“ 750.7¹²

2.4.2 Jednotka 451

Tyto osobní jednotky byly reakcí na potřebu velkokapacitní příměstské dopravy. Na svou dobu vzniku – v 60. letech již obsahovaly nadčasové prvky nezvyklé pro tehdejší dobu, možná i proto tyto jednotky zvládaly obsluhovat vytíženou příměstskou dopravu ještě v nedávných letech. Nadčasovou výbavou byly např. nízkopodlažní široké dveře nebo automatické spřáhlo Scharfenberg, díky kterému mohly být jednotky jednoduše spojovány do větších celků. Autorem designu byl průmyslový architekt Ing. Hrbas. Ačkoliv tvarosloví

¹¹ VLAKEM JEDNODUŠE, Řada T478.1/2, 2024

¹² JVBTRAINSPOTTING, 750.713, 2023

budilo rozporuplné emoce, díky kterému měli jak své odpůrce i příznivce, nemůžeme opomenout, že patří k významným zástupcům tuzemského železničního designu.



Obrázek 8 Osobní jednotka řady 451¹³

2.4.3 Lokomotiva 110

Kromě klasických univerzálních lokomotiv je potřeba pro některé výkony lokomotiv menších po straně výkonové i velikostní. Pro potřebu posunu a tzv. přetahové služby menší výkon dostačuje¹⁴. U řady 110 ovšem výkon dovoluje využití i v osobní nebo nákladní dopravě.¹⁵ Právě tato lokomotivní řada je svou centrickou koncepcí podobná naší autonomní lokomotivě. Podobnost představuje i v menším rozvoru, vzdálenosti podvozků a celkové délce přes nárazníky. Podobný koncept bude dovolovat lepší kombinovatelnost pro dosažení optimálního výkonu. Nedostatek konkurenčních strojů v této výkonnostní kategorii je patrný faktem, že modernizované varianty lokomotivy řady 110 (a jím příbuzné) slouží do dnešních dní.

¹³ LACHNIT, Jednotka 451, 2005

¹⁴ HARÁK, KOLMAČKA, Prototypy, str. 49

¹⁵ CASKA, Střídavé lokomotivy, str. 140

Obrázek 9 Lokomotiva řady 110¹⁶

2.4.4 Lokomotiva s699.0

Vznik tohoto prototypu a následných modelů z něj vycházejících započal kombinací požadavků na výrobu nové lokomotivy pro Bulharské dráhy a také vlastní iniciativou tehdejší Škody Plzeň, jejímž cílem bylo vyzkoušet nové postupy a technologie.¹⁷ Přínos tohoto prototypu byl ve skutečnosti ještě významnější. Zde zmíněný prototyp byla šestinápravová lokomotiva, která se vyrobila jen v jednom exempláři. Její čtyřnápravový nástupce se ovšem stal velmi rozšířeným strojem. Design této lokomotivy pochází z rukou významného českého designéra¹⁸ Otakara Diblíka. Jeho návrh mohl být zrealizován i díky nově použitým technologiím, kdy se v tomto případě jedná o využití sklolaminátu. Jeho využití jako primárního materiálu na konstrukci lokomotivní skříně se stalo dokonce prvenstvím v oboru. Díky tomu se této lokomotivě přezdívá „Laminátka“. Unikátní designérské řešení se těší velké oblibě jak odborné veřejnosti, tak laickým fanouškům. Označována bývá dokonce jako jedna z nejkrásnějších lokomotiv nejen u nás, např. v knize Prototypy¹⁹ se o ní píše jako o jedné z nejelegantnějších evropských lokomotiv.

¹⁶ SOŠKA, Lokomotiva 110, 2002

¹⁷ HARÁK, KOLMAČKA, Prototypy, str. 122

¹⁸ PAULY, Fenomenální Otakar Diblík, 2021

¹⁹ HARÁK, KOLMAČKA, Prototypy, str. 116

Obrázek 10 Prototypová lokomotiva S699.0²⁰

2.4.5 Škoda 85E

Jedná se o prototyp lokomotivy řady 169. Jejím největším obohacením měl být nový způsob řešení pohonu náprav. Tradiční motor s převodovkou byl nahrazen asynchronním motorem přímo ležícím na nápravě. Toto řešení mělo být přínosem ve spolehlivosti a delších intervalech potřebné údržby. Prototyp vykonával některé testy a testovací jízdy, do sériové výroby se již nikdy nedostal. Jako stacionární exponát ho můžeme vidět před podnikem ČMŽO Přerov. Lokomotivu navrhl a zkonstruoval Ing. František Palík.²¹

Obrázek 11 Škoda 85E²²

²⁰ ŠLAJS, Lokomotiva S699, 2021

²¹ HARÁK, KOLMAČKA, Prototypy, str.129

²² TOMANČÁK, Škoda 85E, 1997

2.5 Celosvětová analýza

Záměrem této kapitoly je analýza současné produkce kolejových vozidel. Vozidla zmíněná v minulé kapitole jsou v mnoha případech v provozu do současnosti. Je ovšem zřejmé, že flotily dopravců musí procházet, ať už modernizací, nebo rozšířením, a to z mnoha důvodů. Nové stroje nabízí mnoho výhod, jako je schopnost provozu na více systémech napájení, vyšší bezpečnost, nižší provozní náklady, ekonomičtější, ekologičtější a pohodlnější jízda. Všechna tato hlediska jsou důvody, proč dopravci investují do nových lokomotiv. Součástí této kapitoly bude představení a přiblížení významných kolejových vozidel.

2.5.1 Stadler EURO9000

Lokomotiva švýcarského výrobce Stadler je zástupcem moderních strojů pro těžkou nákladní dopravu. Proto je vybavena dvěma třínápravovými podvozky a řadí se mezi tzv. interoperabilní lokomotivy. Tyto lokomotivy jsou vybaveny a připraveny pro mezinárodní přepravu. Interoperabilita vyžaduje certifikace konkrétního typu pro každou zemi zvlášť, a to z důvodů možných technických i legislativních rozdílů pro každý stát. Řada EURO9000 toto však naplňuje, neboť získala certifikace mnoha evropských zemí.²³



Obrázek 12 Stadler Auro9000²⁴

2.5.2 Siemens Vectron

Siemens Vectron je s více než 2600 prodanými kusy jedna z nejrozšířenějších lokomotiv na evropské půdě.²⁵ Jedním z faktorů tohoto prodejního úspěchu je mimo jiné její

²³ CECH, Lokomotiva euro9000, 2023

²⁴ STADLER, Stadler euro 9000, 2023

²⁵ SÚRA, Siemens získal novou zakázku na až 50 lokomotiv Vectron, 2025

univerzálnost. Označení Siemens Vectron totiž zahrnuje celou platformu pro mnoho variant této lokomotivy. Díky tomu si zákazník může vybrat takovou variantu, která bude nejlépe odpovídat požadavkům plánovaného nasazení. Přizpůsoben může být například výkon, maximální rychlost nebo typ napájecí soustavy. Siemens nabízí varianty s max. rychlostí 160 km/h, 200 km/h a 230 km/h, stejně tak nabízí mnoho kombinací pohonu. Níže zobrazená varianta Vectron Dual je vybavena nejen výzbrojí pro jízdu na elektrifikovaných tratích, ale také diesellovým motorem, který jí umožňuje přejíždět neelektrifikované úseky bez nutnosti přepřahat.



Obrázek 13 Siemens Vectron²⁶

2.5.3 Alstom H3

Model H3 od Francouzské společnosti Alstom se řadí mezi posunovací lokomotivy. K tomuto účelu ji předurčuje třínápravová konstrukce a variabilita pohonů. Model H3 je plug-in hybridní lokomotivou. To znamená že její elektrické motory mohou využívat několik zdrojů napájení. Jedním ze zdrojů jsou bateriové články, které mohou být dobíjeny naftovým motorem anebo při stání napájením ze sítě. Naftový motor, nasazený pouze jako agregát pohánějící elektrický generátor, může pracovat v optimálních podmínkách. Díky tomu je spotřeba v porovnání se staršími typy podobně výkonných lokomotiv úspornější o více než 50 %.²⁷ Z důvodu dostatečného výkonu, který přesahuje 700 W a maximální rychlosti 100 km/h může Alstom H3 sloužit i na traťové službě, a nejen na posunu. To ukazuje dobrou uplatnitelnost zvolené konstrukce a pohonu.

²⁶ ACRI, Siemens Vectron, 2023

²⁷ PAVLŮSEK, Audi má vlastní plug-in hybridní lokomotivu, 2015

Obrázek 14 Alstom H3²⁸

2.5.4 Škoda 109E

Tuzemská společnost Škoda Transportation a.s. je zde zastoupena svým jediným modelem elektrické lokomotivy. Lokomotivy, která nese tovární označení 109E a obchodní označení Emil Zátopek, odkazující na slavného českého vytrvalostního běžce. Původní design, i když v trochu jiné podobě, navrhlo rakouské studio Porsche Design. Lokomotiva byla představena s velice konkurenceschopným výkonem a dvěma hlavními variantami. Rychlíková, pro osobní dopravu až do 200 km/h, a univerzální do 160 km/h. Navzdory své technologické a konstrukční vyspělosti, do které se řadí v případě této lokomotivy výjimečný tvar s minimálním aerodynamickým odporem²⁹, se kvůli problémům ve vývoji a následné certifikaci nakonec vyrobilo a prodalo pouze 28 kusů. Dnes ji provozují české, slovenské a německé dráhy.³⁰ Společnosti Škoda Transportation a. s. se dobře daří v oblasti osobních jednotek a tramvají, na další českou – navíc masově rozšířenou – lokomotivu si však musíme počkat.

²⁸ GILBSON, Alstom H3, 2015

²⁹ PAULY, HULÁK, Český průmyslový design 1990-2010, str. 32

³⁰ KOLEKTIV AUTORŮ, Dvě století na české železnici, str. 82

Obrázek 15 Škoda 109E³¹

2.5.5 Wabtec Maverick

Model Maverick od americké společnosti Wabtec je zatím jen představeným konceptem autonomní lokomotivy. Modul Maverick vychází z jednoho podvozku standartní dvou-podvozkové lokomotivy firmy Wabtec. Tento modul byl v testech poháněn bateriovým pohonem, počítá ovšem i se zabudováním alternativních druhů pohonu.³² Nejdříve byl modul vybaven variantou dálkového řízení, a do budoucnosti se počítá i s dovybavením senzoriky a telemetrie pro schopnost autonomního provozu.

Obrázek 16 Model konceptuální lokomotivy Maverick³³

³¹ ŠKODA TRANSPORTATION, Lokomotiva 109E, 2025

³² CECH, Wabtec testuje autonomní modul Maverick pro nákladní železniční dopravu, 2025

³³ FENDER, Model konceptuální lokomotivy Maverick, 2024

2.5.6 RFI URV

Jedno z prvních samostatných železničních vozidel schopné provozu v ATO režimu (tedy GoA4) je RFI URV. Vozidlo vyvinula a vlastní Italská správa železnice (RFI) a řadí se do kategorie tzv. speciálních vozidel, která neslouží k osobní nebo dopravní obsluze. V tomto případě slouží jako inspekční vozidlo, jehož úlohou je monitorování stavu tratí a jejich zařízení.³⁴ Vozidlo má bateriový pohon, díky kterému není potřeby trolejového sběrače. To umožňuje postavit vozidlo s tak nízkou siluetou, která je pozitivním faktorem pro využívanou rychlost až 200 km/h.



Obrázek 17 Inspekční vozidlo RFI³⁵

2.6 Designérská analýza

V designérské analýze jsou rozebrány další faktory a odbornosti, které mají dopad na samotný designérský návrh a jeho následné vnímání.

2.6.1 Technická omezení designu

Design železničních vozidel je výrazně ovlivněn technickými normami, legislativou a předpisy, které omezují pole možné působnosti designéra³⁶. I v případě autonomní lokomotivy, kde odpadá nutnost kabiny strojvedoucího a nabízí se nové, neotřelé možnosti, zůstává návrh omezen například průjezdným profilem tratě, umístěním narážecího a spojovacího ústrojí nebo sběračů el. energie.

³⁴ RAILWAY GAZETTE INTERNATIONAL, URV inspection vehicle, 2024

³⁵ RFI, RFI URV, 2024

³⁶ PELCL, Design: od myšlenky k realizaci = from idea to realization, str.177

Evropské normy, jako jsou TSI a z nich vycházející ČSN určují mnoho parametrů, které více či méně souvisí s tvarovým řešením železničního vozidla. Tyto předpisy tak přímo ovlivňují, jak může vypadat čelo lokomotivy, ačkoliv by u autonomního vozidla bylo možné uvažovat o zcela novém přístupu. Výsledný design tak často představuje kompromis mezi inovací a nutností splnit pevně stanovené technické požadavky.

2.6.2 Rozdílné přístupy tvarosloví

Historicky se ve vývoji lokomotiv uplatnily dva základní přístupy, a sice proudnicový a technicky racionální. Streamlining, populární ve 30.–50. letech³⁷, přinesl plynulé aerodynamické tvary, které snižovaly odpor vzduchu, ale byly konstrukčně a výrobně náročné.



Obrázek 18 Proudnicová lokomotiva A4 Mallard³⁸

Naopak přístup převážně druhé poloviny 20. století byl čistě konstrukční, kdy samotní konstruktéři často vytvářeli i samotný tvar. Priorita tak byla kladena na faktor vyrobitelnosti a funkčnosti. I přes to některé lokomotivy navrhnuté tímto stylem, dosahovaly vysoké vizuální kvality. Zobrazena je lokomotiva Škoda 70E kterou navrhl i zkonstruoval Ing. František Pálík.

³⁷ KOLESÁR, Nové kapitoly z dějin dizajnu, str. 85

³⁸ LAWSON, A4 Mallard, 2020

Obrázek 19 Škoda 70E³⁹

V případě autonomní lokomotivy, určené pro rychlosti do 140 km/h, není aerodynamika zásadním faktorem, proto není překážkou přední čelo s malým úhlem sklonu, které je optimální pro správnou funkci senzorické výbavy vozidla.

2.7 Výzkum

Víceúčelová lokomotiva je specifickým prodejním artiklem. Ačkoliv v provozu může být spatřena kýmkoliv, k její výrobě, ovládání a obsluze se dostává pouze odborná veřejnost. Z důvodu zachování relevance získaných informací je tedy vhodnější oslovit vybrané odborníky na danou problematiku než získat názorový přehled veřejného mínění.

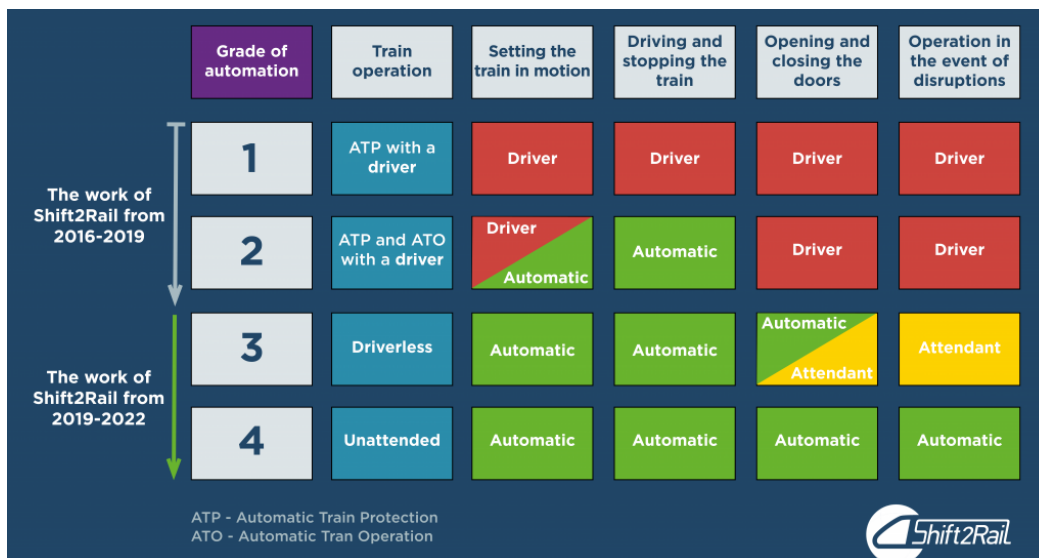
Jednotlivé kapitoly jsou shrnutím těchto jednání, ať už s institucemi a podniky, či úřady a jejich zástupci.

2.7.1 Autonomie

Autonomizace železnice je komplexní a složitý proces. V této části práce bude vysvětleno, co je to automatizace a jaké jsou její technické i legislativní omezení. Všechny tyto faktory ovlivňují nejen provoz takové infrastruktury, ale také limity pro samotný design lokomotivy. Design musí kromě jiných faktorů také splnit podmínky pro správné fungování všech systémů, které jsou nutné pro provoz.

Autonomní železnice znamená provoz bez lidského vedení, tedy bez strojvedoucího. Je posledním stupněm automatizace železnice, tzv. GoA.

³⁹ TURŇA, Škoda 70E, 2025

Obrázek 20 Stupně automatizace⁴⁰

Na uvedeném obrázku jsou viditelné jednotlivé stupně automatizace železnice. Posledním stupněm, tedy GoA4, je plně autonomní jízda bez nutnosti lidského zásahu.

Podmínky pro jízdu v každé z úrovní GoA4 mají několik faktorů a pro každou z nich je potřeba splnit požadavky z mnoha hledisek. Každé z hledisek bylo konzultováno s příslušnými institucemi tak, aby byla dosažena maximální relevance získaných informací a podnětů,

2.7.2 Konzultace konstrukčních parametrů

Získal jsem kontakt na konstruktéra lokomotiv Ing. Petra Špalka, se kterým jsem navázal následnou komunikaci ohledně technických specifik.

Obrázek 21 Návštěva konstrukční kanceláře⁴¹

⁴⁰ EUROPE'S RAIL, Grade of automation, 2019

⁴¹ Zdroj: vlastní

Technické konzultace se ukázaly jako velmi přínosné. Probíhaly formou online schůzek, mailové i telefonické komunikace, přičemž jsem měl rovněž možnost osobní návštěvy vývojového centra v Plzni.

Tato návštěva představovala cennou zkušenost, díky níž jsem získal detailní představu o technologickém zázemí, konstrukčních požadavcích a specifikách, které je nutné při návrhu železničního vozidla respektovat. Získané poznatky zahrnovaly klíčové limity, rozměrové parametry, relevantní normy a zákonitosti, které významně ovlivňují podobu výsledného designu. Teprve po jejich zohlednění bylo možné přistoupit k definici vlastních technických parametrů a následně k návrhové části projektu.

2.7.3 Ministerstvo dopravy české republiky

Ministerstvo dopravy ČR je ústřední orgán státní správy, který zodpovídá za rozvoj a správu všech druhů dopravy – silniční, železniční, letecké i vodní. Mezi jeho hlavní úkoly patří tvorba dopravní legislativy, koncepčních a strategických dokumentů, zajištění bezpečnosti dopravy a dohled nad výstavbou a údržbou dopravní infrastruktury prostřednictvím organizací jako je ŘSD nebo Správa železnic. Tento orgán zároveň uděluje licence dopravcům, kontroluje technický stav vozidel a zastupuje Českou republiku v mezinárodních institucích. V neposlední řadě se věnuje i podpoře moderních technologií, včetně digitalizace a autonomní mobility.

Na MDČR jsem se obrátil v případě mé bakalářské práce i já, a to s prosbou o vyjádření postoje k autonomní železnici. V zájmu mé práce jsem se dotázal na současný stav legislativy, jaký je rámcový pohled na autonomii v daných oblastech a jaký se očekává další vývoj v tomto oboru. Do příloh je přiložen dokument P I. se stanoviskem MDČR.

2.7.4 AŽD

AŽD Praha s.r.o. je přední česká technologická společnost specializující se na vývoj, výrobu a dodávku systémů pro řízení a zabezpečení železniční, tramvajové a silniční dopravy.

Hlavní činností AŽD je vývoj a instalace elektronických zabezpečovacích zařízení (např. staniční a traťové zabezpečovače, přejezdová zařízení), systémů ETCS (Evropský vlakový zabezpečovač), diagnostiky infrastruktury a dálkového řízení provozu. Kromě toho se firma věnuje i vývoji a provozování autonomních technologií. Díky tomu byla vhodným subjektem pro konzultaci podmínek autonomní jízdy.

Společnost AŽD v letošním roce spustila první autonomní vlak pro osobní dopravu s pravidelným jízdním řádem v Evropě.⁴²

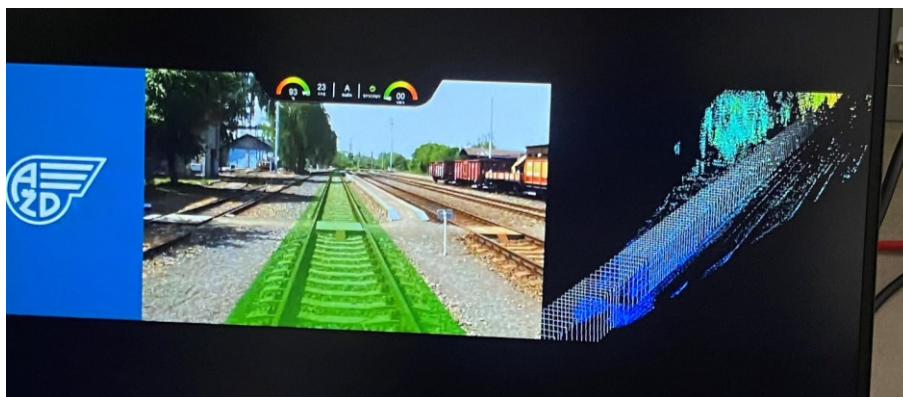
Tuto experimentální trať jsem osobně navštívil. Díky osobní zkušenosti a rozhovorům s přítomnými odborníky jsem mohl lépe porozumět řešené problematice, pochopit její výhody a úskalí. Nejvíc hodnotné informace se týkaly samotného technického řešení, díky jeho porozumění byly zjištěny podmínky nutně implikované i do naší autonomní lokomotivy.

Tyto aspekty jsem konzultoval s přítomným Ing. Jakubem Adámkem, vedoucím výzkumným pracovníkem – specialistou ve společnosti AŽD Praha s. r. o.

Díky společnému rozhovoru vím, jaké komponenty musí vozidlo obsahovat, jaké jsou jejich vlastnosti a význam.

Senzorická část systému se skládá z kombinace kamer a lidarů. Dvojice kamer s rozdílným úhlem záběru vytváří ucelený pohled o situaci před vozidlem. Zde využitá dvojice lidarů vytváří digitální 3D mapu prostoru tratě. Tyto údaje kombinuje a zpracovává neuronová síť která na jejich základě vyhodnocuje, zda je průjezdný profil tratě volný a lze ho bezpečně projet. Pro obohacení získaných dat lze do budoucna předpokládat rozšiřování senzorické výbavy například o termokameru nebo radar na krátké vzdálenosti, který bude pomáhat automatickému spojování vozidel.

Na fotografii je vizualizace vyhodnocení jízdy. V levé části je pohled z kamery – zelený pruh značí, že není detekována žádná překážka. V pravé části je znázornění toho, jak objekty v okolí snímají zmíněné lidary.

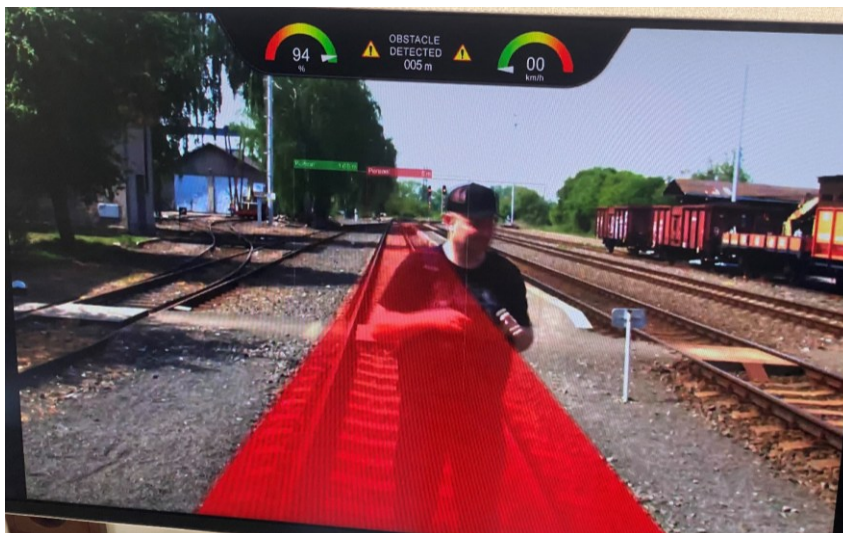


Obrázek 22 Infografika autonomní jízdy⁴³

⁴² DUCHOŇ, Na trati zvané Kopidlanka jezdí první vlak v Evropě, který mezi stanicemi neřídí strojvůdce, 2025

⁴³ Zdroj: vlastní

Na následujícím snímku je zachycena reakce systému na překážku – v tomto případě stojícího člověka. V případě, že vlak stojí a detekuje překážku, nerozjede se. Pokud by taková situace nastala za jízdy, vozidlo by okamžitě zahájilo zastavení.



Obrázek 23 Znázornění detekované překážky⁴⁴

Experimentální provoz autonomní technologie je instalován na měřicím vozidle společnosti. Toto vozidlo vychází z původního motorového vozu řady 810. Vůz je osazen nejen výbavou pro autonomní provoz, ale také diagnostickými zařízeními pro testování stavu tratě a jejích komunikačních zařízení. V případě osobní vozby je přidáván další vůz s místem pro cestující.

⁴⁴ Zdroj: vlastní

Obrázek 24 Vozidlo EDITA⁴⁵

2.8 Shrnutí

Tato kapitola přináší souhrnný pohled na železniční dopravu v historickém i současném kontextu, se zaměřením na české prostředí. Je zde popsán vývoj domácí výroby lokomotiv a pozornost je věnována analýze současných strojů a konceptů, které reprezentují budoucnost oboru. Důležitou část tvoří rešerše autonomního provozu včetně jeho technických, provozních i legislativních požadavků. Popsány jsou různé úrovně automatizace a výzvy, které s sebou přináší jejich zavádění. Zásadní přínos pro výzkum představovali konzultace s konstruktérem lokomotiv, díky nim byly upřesněny technické parametry návrhu. Cenné a také zásadní informace byly načerpány během konzultace s firmou AŽD. Tyto informace se týkaly provozu jejich experimentální autonomní dráhy. V neposlední řadě byla přínosem komunikace s MDČR a rešerše právního rámce, které pomohly zmapovat podmínky pro autonomní provoz v ČR.

Kapitola tímto vytváří pevný odborný základ pro návrhovou část práce.

⁴⁵ Zdroj: vlastní

3 CÍLE PRÁCE

Tato práce má za cíl přinést ucelené designérské řešení železniční lokomotivy schopné práce v autonomním režimu. Díky využití inovativních postupů bude navržená lokomotiva představovat koncept budoucí železnice, prostřednictvím které bude tato doprava ekonomičtější, časově efektivnější a udržitelnější.

3.1 Hlavní cíl práce

Hlavním cílem této práce je designový návrh autonomní elektrické lokomotivy s důrazem na technologické možnosti budoucí železniční dopravy. Železnice, jakožto stále relevantní a stabilní prvek dopravní infrastruktury, si i přes svou dlouhou historii zaslouží moderní a vizionářský přístup. Návrhu předcházely průzkum potřebných technických norem a reálných provozních požadavků. Pro co nejkompaktnější přístup bylo nutné propojit znalosti z více odborných oblastí, a to jak z hlediska konstrukce, tak i provozních specifik. Významným přínosem byly rovněž konzultace s odborníky z praxe a vlastní zájem o téma, který utvářel směr návrhového procesu od samotného počátku.

3.2 Vedlejší cíle práce

Vedlejšími cíli této práce je navrhnout takové designérské řešení, které je nejen funkční a technicky proveditelné, ale také vizuálně přívětivé. Estetika lokomotivy hraje důležitou roli při formování celkového vnímání železniční dopravy, která může díky pozitivnímu vizuálnímu dojmu působit moderněji a dostupněji.

Dílním cílem je také zpracování návrhu v ucelené formě – od počátečních skic, přes 3D model až po fyzický model, který slouží jako reprezentace navrženého řešení v měřítku. Návrh si zároveň klade za cíl přispět k zefektivnění provozu železniční dopravy – jak z pohledu provozních nákladů, tak i ekologické zátěže. Díky optimalizovanému výkonu a kompaktním rozměrům umožňuje větší variabilitu nasazení.

Součástí vedlejších cílů je i příležitost získávat nové zkušenosti a znalosti. Mezi ně patří nejen vytvoření fyzického modelu lokomotivy a komplexní zpracování celého projektu od koncepční fáze až po finální prezentaci, ale také navazování spolupráce s odbornými firmami, institucemi a úřady. Všechny tyto aktivity jsou přínosné pro vlastní rozvoj.

3.3 Oblasti možných inovací

V rámci této bakalářské práce je hlavní oblastí inovace koncept autonomní lokomotivy, která otevírá nové možnosti jak z hlediska designu, tak provozních vlastností a celkové koncepce železničního vozidla.

Jedním z klíčových přínosů autonomie je možnost zásadní proměny vnější i vnitřní architektury vozidla. Jelikož odpadá nutnost umístění kabiny strojvedoucího, tak je poskytnut prostor pro alternativní tvarové řešení čel i celkovou konstrukční kompozici. To umožňuje navrhnout kompaktnější a provozně efektivnější vozidlo.

Zároveň se jedná o odklon od klasické čtyřnápravové elektrické lokomotivy směrem k nové koncepci, která klade důraz na kompaktnost, provozní flexibilitu a optimalizaci pohybu v rámci staničních a manipulačních kolejí. Lokomotiva je navržena s důrazem na specifické požadavky moderní logistiky, včetně časté manipulace se soupravami.

Další inovací je nasazení autonomního řízení s využitím neuronových sítí, které umožňuje plynulejší jízdu, úsporu energie a celkově efektivnější provoz.

Důležitým prvkem inovace je rovněž automatické spřáhování, které zkracuje logistické procesy a přispívá k provozní efektivitě celé soupravy. Využití automatického spřáhla umožní absenci pozice posunovačů, kteří nebudou jednotlivé vagony spojovat manuálně, to představuje činnost náchylnou na pracovní zranění.

3.4 Cíloví uživatelé a trh

Od počátku je lokomotiva koncipovaná do určitého, přesto širokého segmentu trhu s železničními vozidly. Tento segment je jasně dán plánovanými vlastnostmi lokomotivy, tažným výkonem, maximální rychlostí a dalšími konstrukčními parametry a vybavením. I přestože je lokomotiva víceúčelová, je počítáno s primárním nasazením v nákladní dopravě. To je dané faktem, že v osobní dopravě se zvyšuje poměr využití ucelených osobních jednotek v porovnání s řazením lokomotiva + vagony. Tento trend je pozorovatelný již řadu let.⁴⁶

V oblasti nákladní dopravy je maximální rychlost 140 km/h dostačující i s rezervou. Nižší výkon a třinápravová konstrukce není typickým řešením pro dálkovou nákladní vozbu. Zde přichází na řadu ATO a vícenásobné řízení v kombinaci s automatickým spřáhlem. Díky

⁴⁶ ŠTÁHLAVSKÝ, Rychlíkové elektrické jednotky: evropský fenomén válcuje klasiku, 2015

těmto technologiím nebude problém řadit více lokomotiv do jedné soupravy pro optimální využití výkonu.

Specifikem železniční dopravy je vlastnictví samotných vozidel. Dříve byly všechny lokomotivy, vozy i jednotky majetkem samotných dopravců. Čím dál rozšířenějším fenoménem je nabídka leasingových flotil, kdy si dopravci lokomotivy pouze pronajímají pro svůj provoz, ale již je nevlastní. Touto cestou jsou ušetřeni prvotních vysokých nákladů při obnově vozového parku. Pronajímání vozového parku by mohlo pomoci překonat strach z investice do nových technologií, který by mohl vyvstat u tak radikální změny, jakou představuje autonomní jízda.

4 VÝROBNÍ PARAMETRY

Již při procesu navrhování musíme brát v potaz budoucí sériovou výrobu produktu. Jedním z úkolů designu, mimo jiné, je navrhnout takový výrobek, aby byl také dobře vyrobitelný. Pokud to produkt umožní, jeho dobrá vyrobitelnost může vést ke snížení výrobních nákladů, a tím i ke zlepšení prodejní bilance. Je nezbytné však využívat i pokročilé technologie a inovace, které umožní zlepšení vlastností a konkurenční výhodu. Cílem ideální produkce je dosáhnout správné bilance mezi nízkými náklady na výrobu na jedné straně a kvalitou zpracování a pokrokovostí na straně druhé.

To vše je svázáno mnohými normami, směrnicemi a zavedenými standardy. Lze předpokládat, že se legislativa v některých oblastech v budoucnu pozmění tak, aby byla nakloněna např. autonomnímu provozu nebo automatickému spřáhání. Na druhou stranu můžeme zmínit v Česku využívaný rozchod kolejí 1435 mm, který je již využíván na drtivě většině místní infrastruktury a nic nenasvědčuje tomu, že by se to mělo změnit.

4.1 Výrobní technologie

Výroba lokomotiv je náročný proces, který kombinuje těžké strojírenství, přesné montážní operace a často i spolupráci s celou sítí specializovaných subdodavatelů. Základem celého procesu je výroba rámu a skříně vozidla, která se většinou provádí z ocelových nebo hliníkových plechů pomocí svařování, řezání, ohýbání a dalších běžných strojírenských metod.

Jednotlivé komponenty lokomotivy – jako jsou spřáhla, sběrače proudu, trakční motory nebo řídicí elektronika – nemusí být vždy vyráběny samotným výrobcem. Záleží na každé firmě, které části si vyrábí sama a které nakupuje od externích dodavatelů. Někteří výrobci preferují vyšší míru integrace výroby, jiní se více spoléhají na ověřené subdodavatele.

4.2 Materiály

Využití materiálů pro výrobu lokomotivy je omezeno několika faktory, především bezpečností. Velké množství součástí má jasně dané normy a omezení, která určují i možnosti výrobních materiálů. Největší variabilita je u externího krytování lokomotivní skříně. Většina železničních vozidel je vyrobena z kovů, především oceli a hliníku, zde záleží na požadovaných vlastnostech, výrobních nákladech a použité technologii.

Tradičním materiálem pro výrobu nosné skříně je ocel. Ta poskytuje vysokou pevnost a odolnost vůči mechanickému namáhání a tvoří základ nosného rámu, který je svařen z ocelových dílců.

Dalším využívaným materiálem je sklolaminát, který je charakteristický pro svou nízkou hmotnost a je odolný vůči korozi. Sklolaminátový kompozit umožňuje tvorbu složitějších tvarů a přispívá k estetickému vzhledu lokomotivy.

Pro části skříně, kde je potřeba snížit hmotnost nebo kde fyzikální namáhání nevyžaduje specifickou odolnost, se využívá hliník a jeho slitiny. Jeho širší využití však výrazně zvyšuje výrobní cenu vozu.

Menší části skříně jsou poté vyráběny z plastů nebo kompozitů. Mezi tyto části se řadí například kryty nebo složitěji tvarované díly karoserie. Výhodou těchto materiálů je snadné tvarování a celkové snížení hmotnosti lokomotivy.

4.3 Výrobní náklady

Stanovení přesných výrobních nákladů na lokomotivu je složité a závisí na mnoha faktorech, které budou následně představeny.

Významným faktorem, jenž ovlivňuje celkové náklady, je cena použitých materiálů, jako jsou ocel, hliník a kompozity, které byly již zmíněny. Například použití lehčích, byť dražších materiálů může zvýšit výrobní cenu, avšak zároveň snížit provozní náklady nebo zlepšit jízdní vlastnosti díky nižší hmotnosti.

Cenu ovlivňují i použité výrobní technologie. Zvolené procesy, jako je svařování, lisování nebo laminování, mají přímý dopad na výsledné náklady. Moderní technologie mohou snížit pracovní náročnost, zároveň však vyžadují vyšší počáteční investice. Výsledné náklady ovlivňuje také dostupnost technologií daného výrobního závodu.

Finální cena je ovlivněna počtem vyrobených kusů. Při prodejním úspěchu a prodeji více kusů dochází k lepší návratnosti prostředků investovaných do vývoje a pořízování nových výrobních technologií. Tento efekt je zřejmý u lokomotiv Škoda 109E kterých se vyrobilo pouze 28 kusů, cena za jednu lokomotivu se pro České dráhy, které je nakoupila, vyšplhala až na 175 milionů korun.⁴⁷

⁴⁷ SÚRA, ČD mají po arbitráži nejdražší lokomotivy na světě, 2015

Cenu ovlivňují také požadavky na výkon, typ pohonu (elektrický, dieselový, hybridní), bezpečnostní systémy a další specifikace. Výhody hybridního pohonu mají svou daň ve vyšší pořizovací ceně, jejíž nárůst ovlivňuje cena baterií. Například lokomotivy Siemens Vectron, které nakoupily České dráhy v roce 2020, stály přibližně 70,5 milionů Kč za kus.⁴⁸ Nutno zmínit, že lokomotivy byly zánovní. V případě nových kusů by se cena pohybovala okolo 110 až 120 milionů, ovšem to je stále výrazně méně, než kolik stály dříve lokomotivy Škoda 109E.

Při návrhu nové lokomotivy je tedy důležité pečlivě zvážit všechny tyto faktory, aby bylo dosaženo optimální rovnováhy mezi výkonem, kvalitou a cenou.

4.4 Dopady na životní prostředí

Železniční doprava je z hlediska emisí jedním z nejkologičtějších způsobů přepravy. Podle údajů Evropské agentury pro životní prostředí připadá na železnici méně než 1 % celkových emisí skleníkových plynů z dopravy v EU, přičemž většina těchto emisí pochází z dieselových jednotek. V porovnání s individuální automobilovou dopravou nebo letectvím jsou emise CO₂ na osobokilometr či tunokilometr výrazně nižší.⁴⁹

Jedním z klíčových přínosů nově navrhované autonomní lokomotivy je další zvýšení efektivity provozu. Autonomní řízení, postavené na neuronových sítích, umožňuje optimalizaci spotřeby energie – vlak dokáže reagovat přesněji na provozní podmínky a přizpůsobit akceleraci, brzdění i využití rekuperačního brzdění tak, aby minimalizoval energetické ztráty.

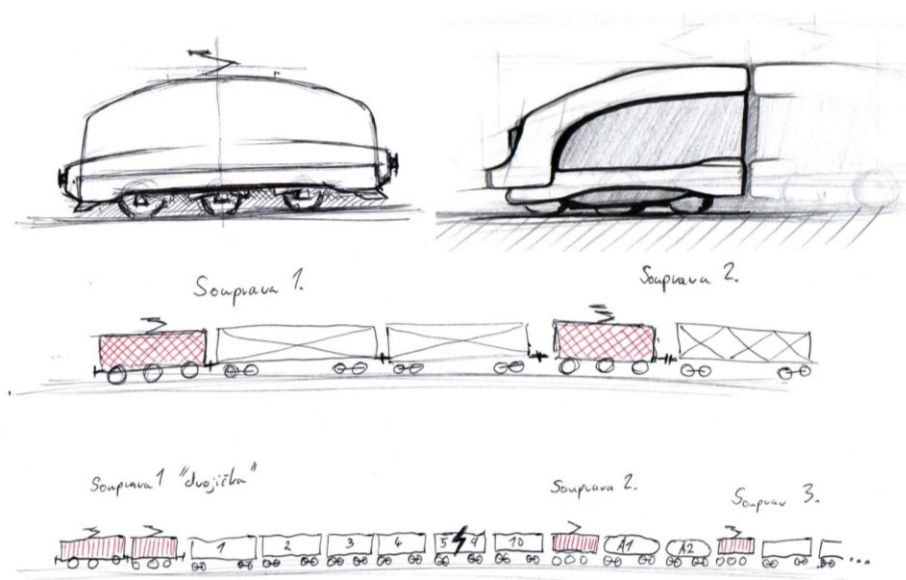
Díky automatickému spřahování vozidel a vylepšené logistice dochází k výraznému zkrácení pobytových časů ve stanicích a snížení potřeby manévrovacích jízd, což rovněž přispívá ke snížení spotřeby energie i provozních emisí. V neposlední řadě moderní elektrické vlaky využívají rekuperci brzděné energie, čímž zvyšují energetickou účinnost. U hybridních lokomotiv je přebytečná energie ukládána do trakčních baterií. V případě jejich nabití je možné přebytečnou energii vracet do napájecí soustavy.

⁴⁸ SÚRA, České dráhy rozšiřují flotilu, 2020

⁴⁹ EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, Europe transport emissions, 2024

5 VARIANTNÍ DESIGNÉRSKÉ NÁVRHY

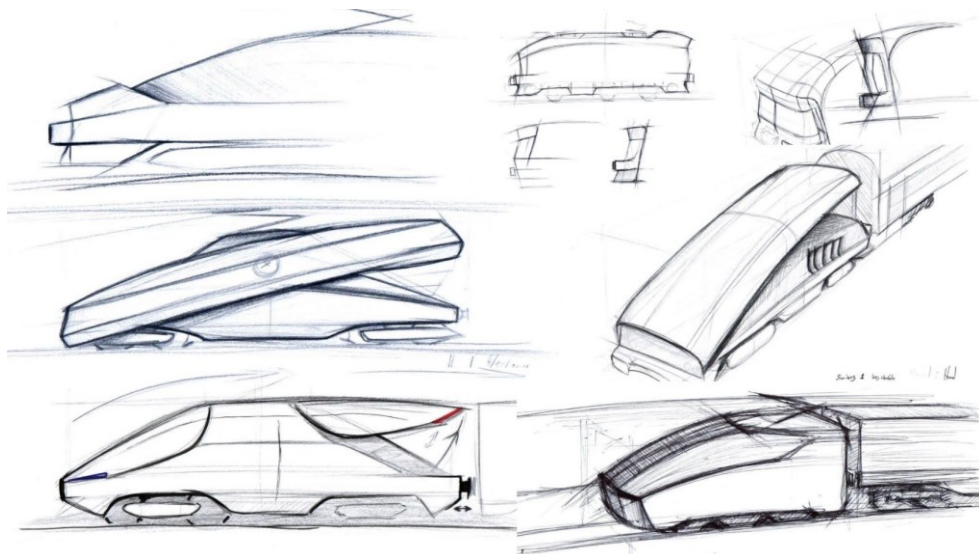
Tato kapitola dokumentuje vývoj návrhu autonomní lokomotivy formou designerských skic a vizualizací. Cílem bylo postupně hledat vhodnou formu, která bude odpovídat funkčním, technickým i estetickým požadavkům definovaným v předchozích kapitolách. Proces začínal volným hledáním tvarových možností bez technických omezení, aby návrh nebyl od počátku svazován pravidly. V další fázi se do návrhu začaly promítat i konkrétní technické požadavky, jako například průjezdný profil, umístění nárazníkového a spojovacího ústrojí či další funkční prvky. Postupně docházelo ke zpřesnění tvarového řešení a k definování jedné konkrétní formální varianty.



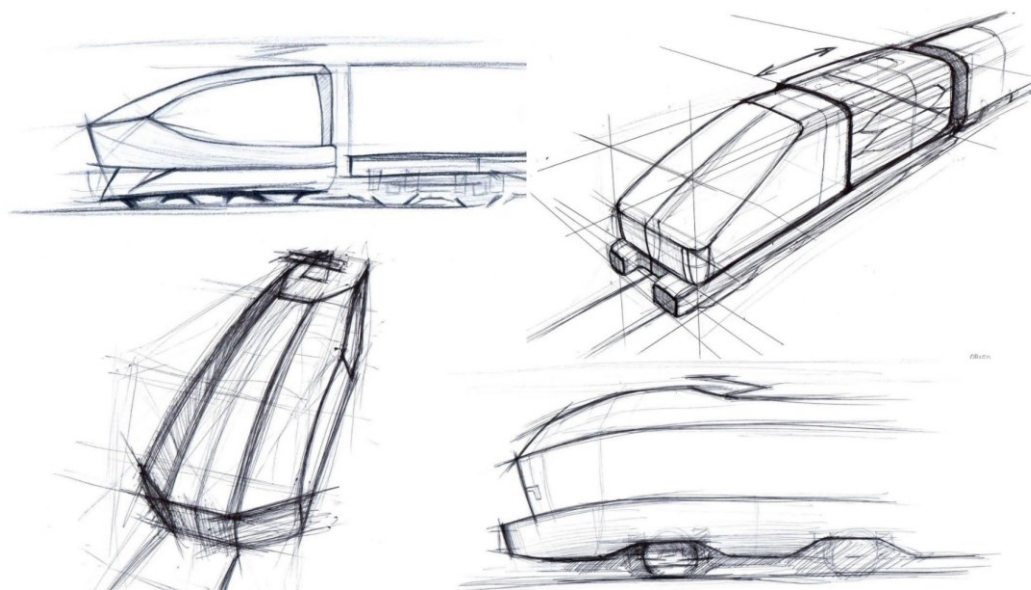
Obrázek 25 Prvotní určování koncepce⁵⁰

V počáteční fázi byly záměrně ignorovány technické limity s cílem svobodně prozkoumat možné formální přístupy a základní siluetu vozidla. V tuto chvíli nebylo zvoleno ani technické řešení lokomotivy, vznikaly tak koncepty různých funkcionalit.

⁵⁰ Zdroj: vlastní

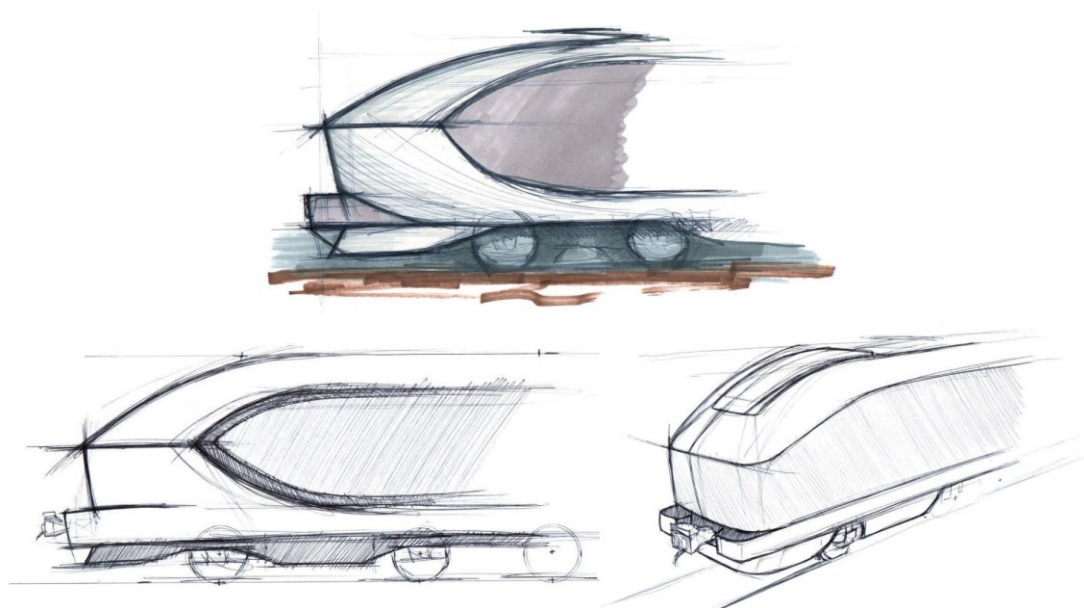
Obrázek 26 Varianty koncepčních řešení⁵¹

Zamýšleným účel pohyblivých částí byly zlepšené jízdní vlastnosti, především odpor vzduchu. Takové řešení však svými úskalími mnohonásobně převyšuje možný pozitivní přínos.

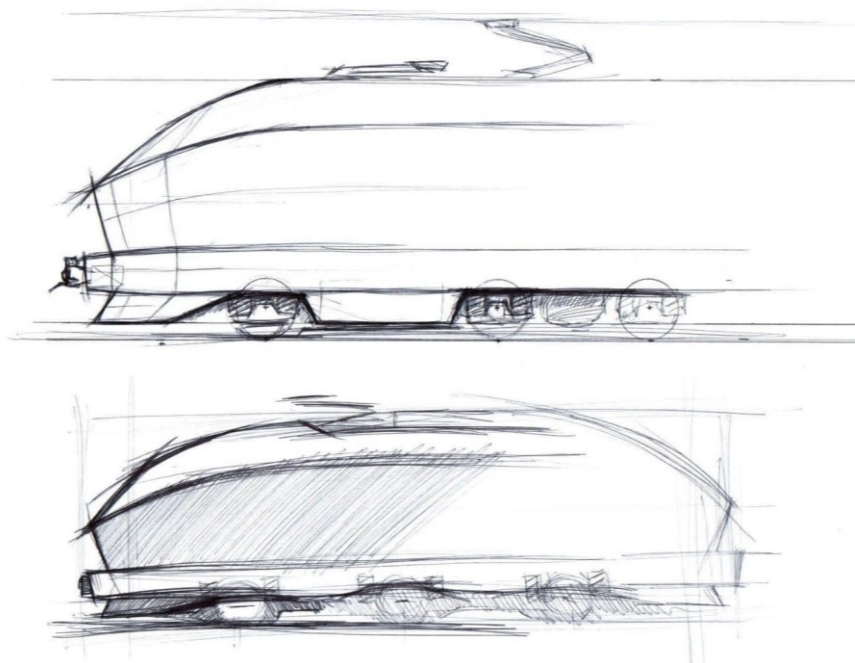
Obrázek 27 Dynamické varianty tvarového řešení⁵²

⁵¹ Zdroj: vlastní

⁵² Zdroj: vlastní

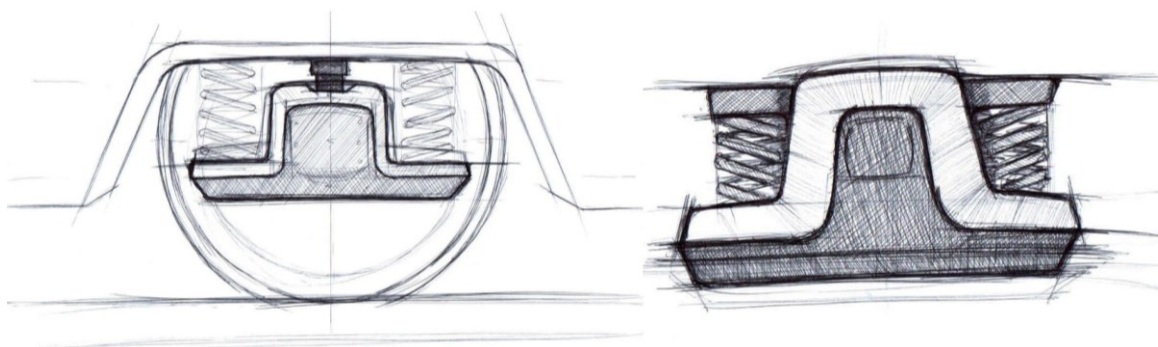
Obrázek 28 Další vyhledávací skici⁵³

Na této straně jsou dynamicky zaměřené skici. Tyto varianty ovšem nesplňují požadavky na umístění senzoriky, kterou autonomní lokomotiva využívá.

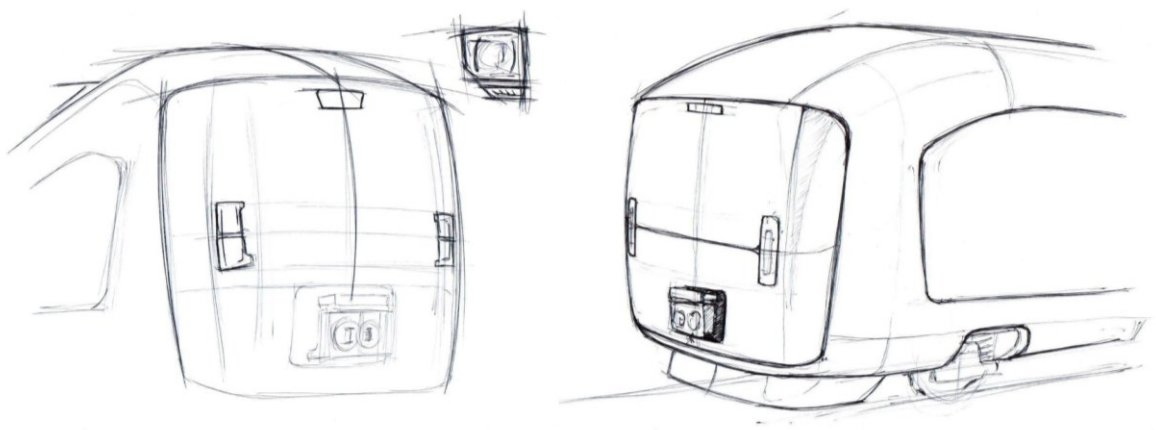
Obrázek 29 Varianty řešení bočnic⁵⁴

⁵³ Zdroj: vlastní

⁵⁴ Zdroj: vlastní

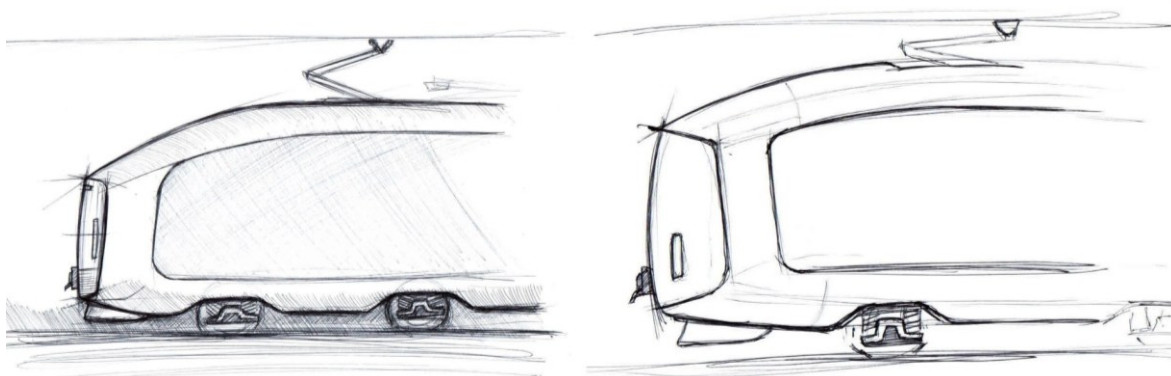
Obrázek 30 Detail částí podvozku⁵⁵

V pokročilejší fázi navrhování se konkretizovala využitá tvarosloví a stylizace jednotlivých křivek. Princip zkosených ploch se promítl i do krytu podvozkové části.

Obrázek 31 Variace tvaru čela⁵⁶

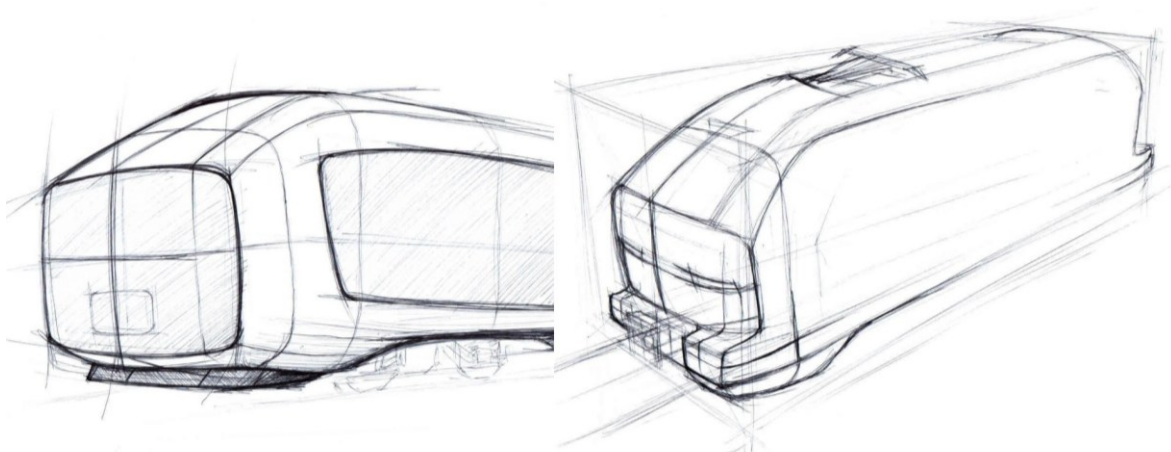
⁵⁵ Zdroj: vlastní

⁵⁶ Zdroj: vlastní



Obrázek 32 Kresba bokorysu téže varianty⁵⁷

Rozdílný přístup k provedení sloupku a sklonu křivek může zcela změnit vizuální dojem a dynamiku, kterou působí na pozorovatele.

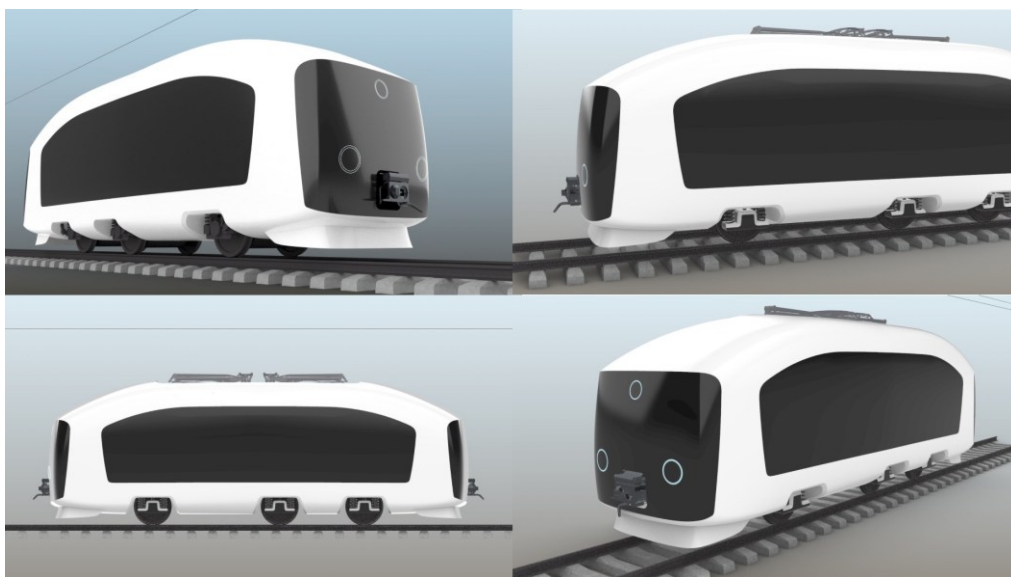


Obrázek 33 Rozdílné přístupy ke krytování nárazecího ústrojí⁵⁸

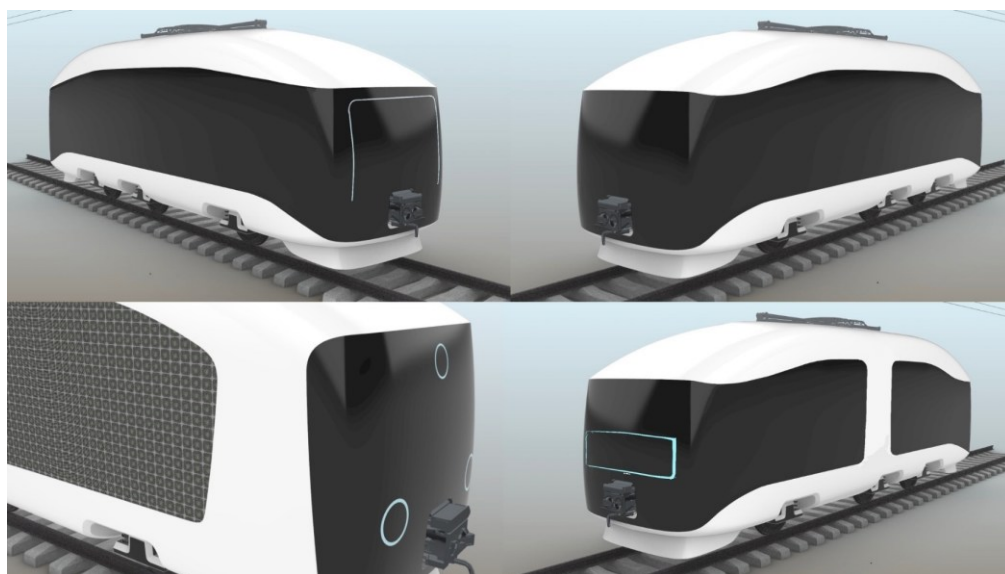
Nárazníky jsou neoddělitelnou součástí železničních vozidel, to musí zohledňovat i navrhnutý tvar. V případě užití automatického spřáhla mohou být nárazníky skryté, protože nejsou běžně využívány.

⁵⁷ Zdroj: vlastní

⁵⁸ Zdroj: vlastní



Obrázek 34 Vizualizace vymodelované první varianty⁵⁹



Obrázek 35 Jiné přístupy ke kapotáži první varianty⁶⁰

⁵⁹ Zdroj: vlastní

⁶⁰ Zdroj: vlastní

6 FINÁLNÍ DESIGNÉRSKÉ ŘEŠENÍ

Během procesu navrhování prochází návrh přirozenou evolucí. Jedním z faktorů posilující tuto evoluci je samotné skicování. Každá vzniklá kresba pomáhá tvořit další nápady a vizuální koncepty. Dalším významným faktorem jsou konzultace, nejen s pedagogy, ale i spolužáky, známými a lidmi z jiných profesí. Díky unikátní osobní zkušenosti každého z nich je toto sdílení ideálním prostředím pro rozvoj celého návrhu.

Všechny tyto faktory vždy zajistily, že bylo možné zvolené designérské řešení posunout dále až k finální podobě.

6.1 Finální řešení – vizualizace

Výsledkem celého procesu je finální designérské řešení, které můžeme vidět na přiložených vizualizacích. Byly aplikovány dodatečné úpravy a lehké změny, například ve světlomotech. Toto řešení bude zhmotněno i v podobě fyzického modelu.



Obrázek 36 Vizualizace finálního návrhu⁶¹

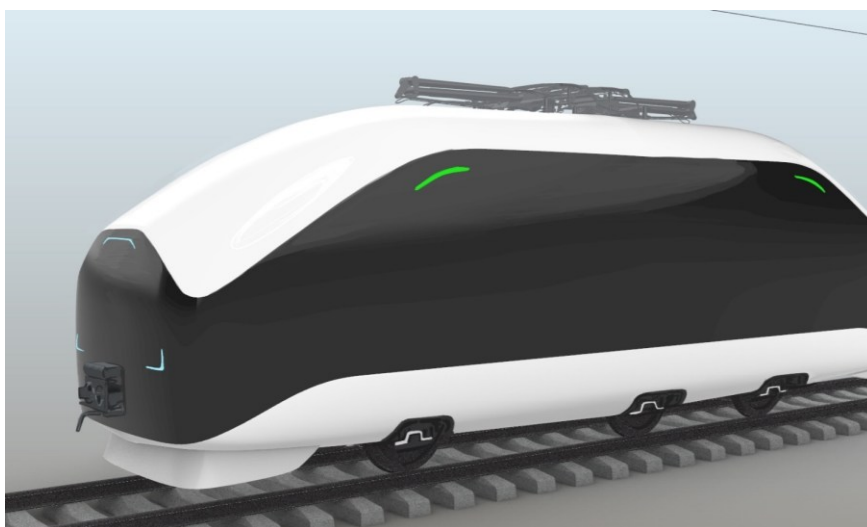
⁶¹ Zdroj: vlastní

7 ERGONOMICKÁ STUDIE

I přesto, že provoz autonomní lokomotivy je definován jako provoz bez přítomnosti člověka, existují ergonomické faktory, které je potřeba vzít v úvahu. Tyto faktory se netýkají ovládání nebo přístupnosti, ale spíše toho, jak lokomotiva působí na své okolí, tedy na člověka jako pozorovatele, účastníka provozu nebo náhodného kolemjdoucího.

Vzhled autonomního vozidla by měl eliminovat prvotní nejistotu či obavy z neznámého chování stroje. Tvarové řešení lokomotivy proto pracuje s měkkými, kompaktními tvary a zaoblenými přechody, které nenaznačují agresi ani technickou odtažitost. Výraz lokomotivy je díky tomu přívětivější a čitelnější, čímž se snižuje psychologická bariéra vůči novému typu dopravy. Přední partie je navržena tak, aby navzdory absenci kabiny působila přívětivě.

Další výrazný aspekt tvoří barevnost. Použití bílo-černé a modro-černé varianty vytváří kontrastní, ale kultivovaný dojem, který opticky odlehčuje siluetu vozidla. Modrá barva evokuje bezpečnost a inovaci, bílá působí čistě a technicky. Vizuální identita je sestavena tak, aby komunikovala jak funkčnost, tak novost, ale zároveň působila klidně a civilně.



Obrázek 37 Vizualizace provozní signalizace⁶²

Na vozidle jsou umístěna světelná znamení, která mohou informovat o provozním stavu lokomotivy. Díky využití jednoduché světelné symboliky (např. zelená = aktivní provoz, červená = zastaveno, oranžová = pohotovost, nebo posun) lze snadno číst vykonávanou činnost.

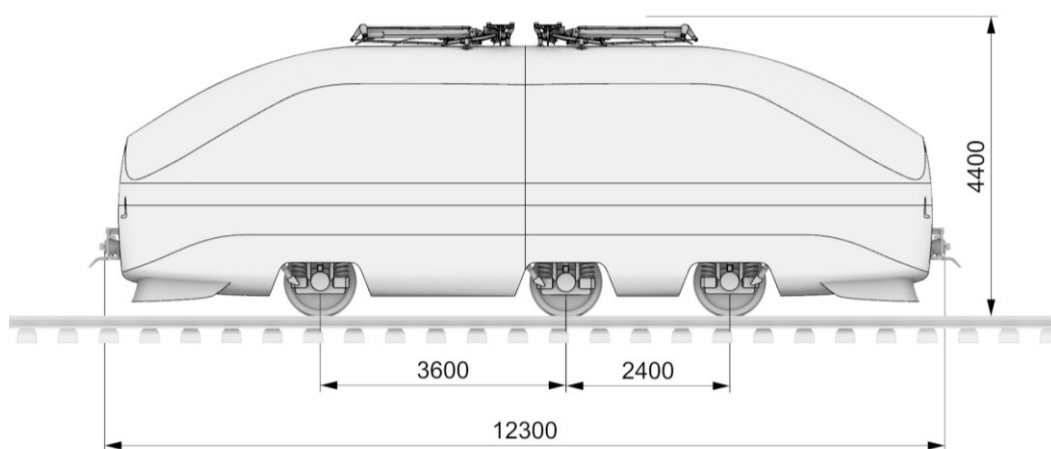
⁶² Zdroj: vlastní

8 TECHNICKÁ DOKUMENTACE

Tato kapitola přibližuje technická specifika a řešení samotné lokomotivy.

8.1 Rozměrový náčrt navrženého produktu či zařízení

Zde je rozměrový náčrt, který zobrazuje základní rozměrové vlastnosti navržené lokomotivy v milimetrech. Základními parametry je šířka a výška. Výška je uzpůsobena maximálnímu obrysu železničních vozidel. Další zobrazené rozměry značí rozteč náprav.



Obrázek 38 Rozměrový náčrt autonomní lokomotivy⁶³

8.2 Základní technické schéma navrženého produktu a jeho dílů

8.2.1 Spřáhlo

Spřáhlem se rozumí spojovací zařízení kolejového vozidla. Existuje několik druhů a jejich využití se liší především lokalitou. V České republice se setkáme především se dvěma typy. Standardně se využívá kombinace háku a šroubovacího zařízení, doplněná nárazecím ústrojím. Tažné oko zajišťuje přenos síly v tahu. Síly v opačném směru, například při brždění pohlcují zmíněné nárazníky. Dále je potřebné propojení jednotlivých vozů přídatnými systémy, jako je tlakové vedení vzduchu, elektřiny a další. Z toho vyplývá, že toto řešení vyžaduje lidskou činnost při spojování a rozpojování vozů, takové řešení je naprosto nevhodné pro autonomní železniční dopravu.

⁶³ Zdroj: vlastní

Vhodnějším řešením se pro takové případy nabízí automatické spřáhlo, které dokáže přenášet síly jak tažné, tak tlačné. Spojení takových spřáhel proběhne bez nutnosti lidského zásahu po najetí jednoho vozidla k druhému. Např. Scharfenberg typ 10 obsahuje propojení všech potřebných systémů, tedy kromě mechanického také přenos elektronický i vzduchový. Automatické spřáhlo je možné ho ovládat na dálku, například v případě rozpojení. Toto řešení je ideální pro koncept autonomní železnice. Díky tomu by mohlo probíhat automatické řazení, a tak by se zlepšila logistika celé železniční dopravy.



Obrázek 39 Automatické spřáhlo Scharfenberg typ 10⁶⁴

8.2.2 Sběrač

Každé vozidlo poháněné elektrickou energií potřebuje zdroj této energie, který v případě vlaků představuje především trolejové vedení. V dnešní době se produkují vozidla s hybridním pohonem, která jsou schopná dodávat elektrickou energii z baterií, ty se ale dobíjejí převážně také z trolejí během jízdy. Kontakt mezi vozidlem a trolejí zajišťuje sběrač. Existují dva základní typy sběračů podle rozdílné konstrukce – pantograf a polopantograf. Sběrače jsou uzpůsobeny tomu, aby zajistily správný přenos napětí i přes měnící se polohu trolejového vozidla vůči troleji.

8.2.3 Rám a podvozek

Rám je základní nosnou částí celého vozidla, nese všechno technické vybavení a výzbroj, společně s pojezdem patří k velmi komplexním a složitým konstrukčním řešením. Zde je namístě spolupráce designéra a konstruktéra tak, aby designér mohl pracovat se všemi kritérii, která konstrukce vyžaduje. Na výsledný design má vliv zvolená konfigurace

⁶⁴ SCHWARZ, Detail Scharfenbergkupplung, 2014

pojezdu, ta je určována umístěním náprav vůči rámu. Základem je však rám s třemi pevnými nápravami.

8.2.4 Senzorika

Pro správný chod celého systému řízení jízdy je základem dostatečné množství získaných informací, jak z vozidla samotného, tak z jeho okolí a projížděné trasy. Informace o stavu tratě před vozidlem jsou získávány kombinací kamer, lidarů a radarů. Pro bezpečný provoz je nutná bezchybná komunikace mezi vozidlem, tratí a řídicím centrem, které má přehled o stavu a poloze každé soupravy. Tuto komunikaci zajišťuje několik systémů, nejvýznamnějšími jsou GSMR, GPS a 5G síť. Pro přesnou lokalizaci během jízdy navíc probíhá snímání kontrolních bodů umístěných přímo v kolejišti.

8.3 Odhad výrobních nákladů

Na výrobu fyzického modelu bylo zapotřebí využití různorodých technologických postupů a materiálů. Zde je výčet a přibližná cena vynaložená na realizaci modelu.

Předpokládané množství využitého filamentu je 3 kg, při průměrné ceně 350 Kč/kg je cena 1050 Kč.

Tmel	250Kč
Barva ve spreji	3ks á250Kč
Plnič	2ks á300Kč
Brusné papíry a drobný spotřební materiál – přibližně	400Kč
Přibližné předpokládané náklady na fyzický model jsou	3000Kč

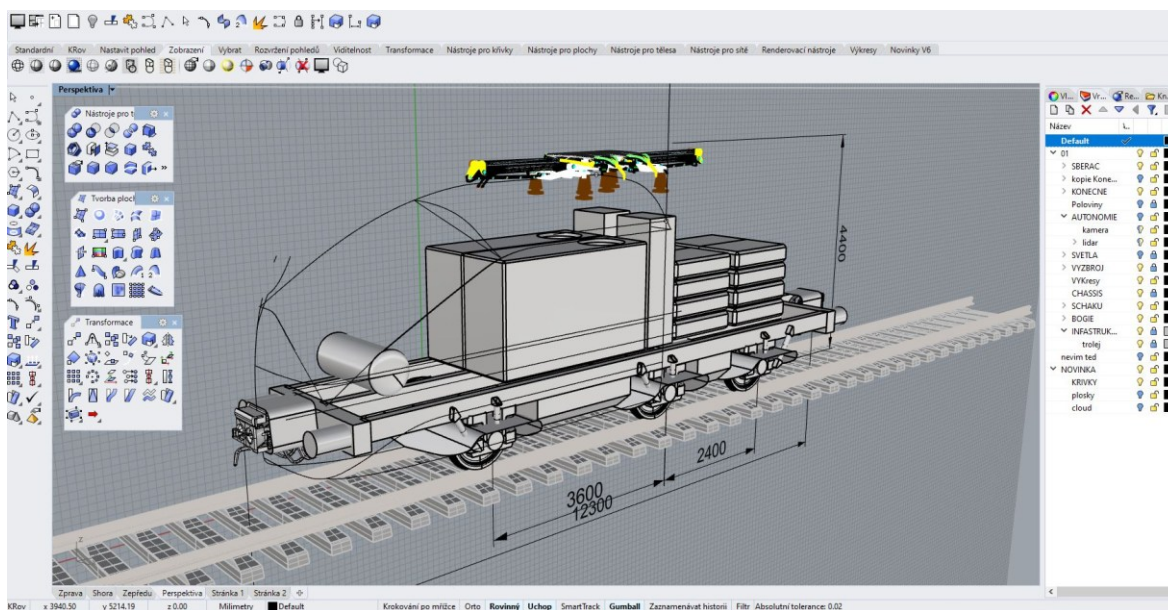
9 FYZICKÝ MODEL

Fyzický model je nedílnou součástí designérského procesu. I přes rychlý vývoj zobrazovacích a VR technologií nám fyzický model nabízí jedinečnou příležitost vidět produkt v reálném světě. Díky tomu můžeme lépe vnímat plochy a hmotu. Tento efekt posiluje skutečnost, že fyzický model je vystaven různým světelným podmínkám. V neposlední řadě fyzický model přiblíží pravděpodobnou podobu vyráběné varianty vozidla a může ukázat nedostatky, které skryje digitální prostředí. Pro naši práci bylo zvoleno měřítko 1:15. Toto měřítko zajistí dostatečnou velikost pro dobrou představu finálního návrhu, zároveň umožní jeho výrobu bez potřeby speciálních technologií, které bychom nemohli využít.

9.1 Příprava dat pro fyzický model

Dříve než začne samotná výroba fyzického modelu, je potřeba mít připravené všechny podklady, které poslouží k vytvoření seznamu potřebného materiálu a k promyšlení možných technologií a postupů využitelných při tvorbě modelu. V tomto případě bude model vznikat především využitím technologie 3D FFF tisku.

Prvním krokem tedy je příprava dat pro samotný tisk, která probíhala v počítačovém SW Rhinoceros 6.



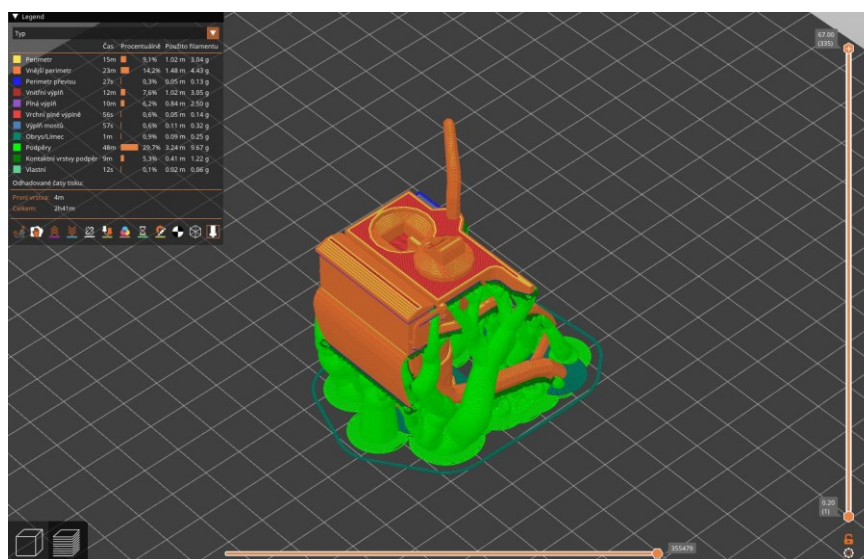
Obrázek 40 Pracovní prostředí programu Rhinoceros⁶⁵

⁶⁵ Zdroj: vlastní

9.2 Proces výroby a zvolené technologie

9.2.1 Příprava 3D tisku

Z digitálního tisku je potřeba vytvořená data zpracovat do takového formátu, kterému bude rozumět 3D tiskárna. Tento proces má na starost software zvaný slicer. Jeho úkolem je model zpracovat tak, aby z modelu tvořeného plochami vytvořil množství souřadnic a příkazů, kterými se poté řídí 3D tiskárna. Níže je vyobrazen již připravený model spřáhla v programu PrusaSlicer.

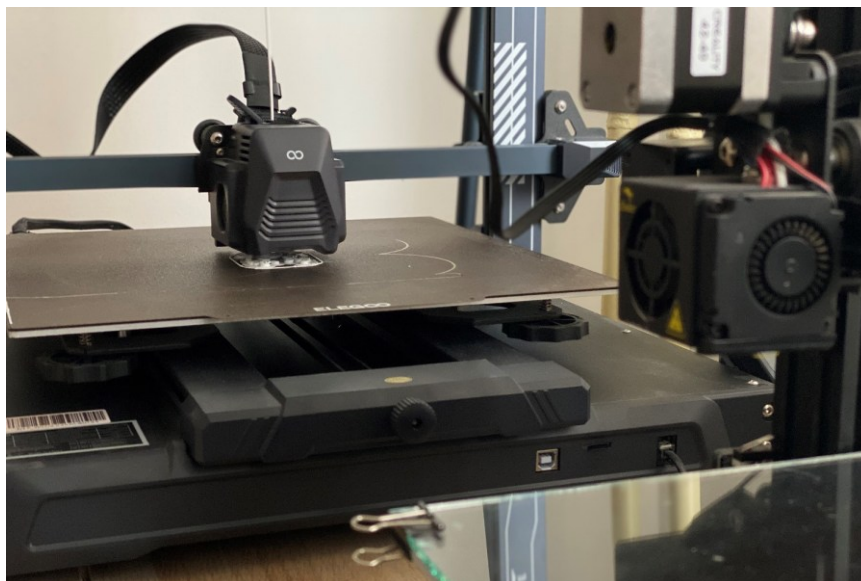


Obrázek 41 Příprava tisku ve sliceru⁶⁶

9.2.2 Tisk

3D tisk je technologie aditivní výroby. Fyzický výrobek vzniká nanášením roztaveného materiálu – filamentu – na základě přesně zadaného programu. Filament je struna z termoplastického materiálu – plastu, který je po zahřátí tvárný a po zchladnutí se vrací do pevného stavu. Nanášením jednotlivých vrstev materiálů nakonec vzniká konkrétní výrobek.

⁶⁶ Zdroj: vlastní



Obrázek 42 3D tiskárna v procesu tisku⁶⁷

9.2.3 Zpracování tisku

Pokud má finální model dosahovat určité reprezentativní kvality, je potřeba ho řemeslně zpracovat. Samotný výstup 3D tisku lze použít pro znázornění a ozkoušení návrhu ve fyzické podobě. Nevýhodami takového modelu jsou však nesprávná barevnost, drobné tvarové nedokonalosti nebo nedokonalý povrch, který je způsoben technologickým procesem tisku. Následují další technologické kroky jako je tmelení, kterým se vyrovnají nedokonalosti na objektech a broušení, díky kterému model dosáhne správného tvaru a dostatečné rovnosti ploch. Před lakováním barvou je potřeba povrch připravit plničem, který sjednotí strukturu povrchů a zajistí správné přilnutí nanášené barvy. Posledním krokem je lakování do požadovaných barev, díky kterému model přiblížíme zamýšlené podobě konečného produktu.

9.3 Finální podoba modelu

V době dokončení psané části bakalářské práce byl samotný fyzický model v procesu výroby. Finální podoba modelu bude přítomna na obhajobě bakalářské práce.

⁶⁷ Zdroj: vlastní

10 SHRUTÍ PŘÍNOSŮ PRÁCE

Bakalářská práce představuje ucelený návrh autonomní elektrické lokomotivy pro moderní železniční dopravu. Přínos navrženého řešení spočívá nejen v technologické a provozní inovaci, ale i v novém pohledu na podobu vozidel bez lidské posádky s důrazem na funkční a současně kultivovaný design. Řešení odpovídá požadavkům drážního provozu a zohledňuje potřeby provozovatelů, údržby i infrastruktury. Pro mě osobně měla práce zásadní význam – prohloubila mé znalosti o specifikách drážní dopravy, naučila mě pracovat s technickými a provozními limity a nabídla možnost komplexního řešení projektu od řešerše až po fyzický model. Přínosná byla i komunikace s odborníky z praxe, díky které jsem si osvojil mezioborový přístup k návrhu.

10.1 Rekapitulace designérského procesu

Na začátku projektu bylo nezbytné provést rozsáhlou řešerši zaměřenou na provozní, legislativní i technické aspekty návrhu lokomotiv, včetně ergonomie, tvarosloví a nových trendů v autonomii. Tyto poznatky vytvořily základ pro návrhovou část, která probíhala v několika etapách a je popsána v kapitolách 5.–9. Designérský proces zahrnoval vývoj tvarového řešení, hledání proporcí, optimalizaci podle technických limitů a začlenění nových funkčních prvků. Proces byl veden s ohledem na funkčnost, vizuální čitelnost a odlišení od konvenčních vozidel s kabinou.

10.2 Přínosy a inovace designérského řešení

Návrh přináší několik konkrétních inovací, které reagují na změny spojené s nástupem autonomních technologií v drážní dopravě. Odstranění kabiny umožnilo nové prostorové a tvarové možnosti. Hybridní pohon kombinující napájení z troleje a baterií přináší vyšší flexibilitu, efektivitu a logistiku provozu. Automatické spřáhlo je integrováno tak, aby nerušilo celistvost tvaru a současně usnadnilo provoz bez lidské obsluhy. Jeho využití podporuje přednosti autonomního provozu. Výrazným prvkem je také signalizační osvětlení, které vizuálně komunikuje stav vozidla – například aktivitu, připravenost nebo poruchu – a přispívá k bezpečnosti i srozumitelnosti v dopravním prostředí.

10.3 Kritické zhodnocení

Bakalářská práce je komplexní projekt, který vyžaduje množství věnovaného času, poznání dané problematiky a množství vynaloženého úsilí. Jsem si vědom, že v některých oblastech

této práce bylo možné se problematice věnovat hlouběji. Více věnované pozornosti by pomohlo, aby výsledná práce byla ještě o něco lepší. Zajisté je to příležitost a zkušenost, která bude uplatnitelná v dalším studijním nebo pracovním životě. Toto téma je velmi obsáhlé a nabízelo by se ještě více informací, které ale vzhledem k charakteru práce nebylo možné obsáhnout.

11 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout autonomní elektrickou lokomotivu pro moderní železniční dopravu a současně ověřit možnosti designérského přístupu k tématu, které je tradičně technicky orientované. Výsledné řešení spojuje funkčnost, technologické možnosti a kultivovaný vizuální výraz, přičemž respektuje specifika drážního prostředí i aktuální trendy v oblasti autonomie a udržitelnosti.

Celý proces od úvodní rešerše přes návrhové varianty až po finální návrh potvrdil, že i v oblasti kolejových vozidel hraje design důležitou roli. Autonomní provoz přináší nové a specifické výzvy i příležitosti, nejen pro designéry.

Práce přinesla nejen konkrétní návrh s možným využitím v praxi, ale také výrazný posun v mém vlastním profesním rozvoji. Umožnila mi propojit znalosti z oblasti průmyslového designu, dopravy i technologie a využít je k tvorbě komplexního projektu.

Téma má do budoucna potenciál dalšího rozvoje, lze předpokládat, že autonomie bude stále významnějším tématem nejen evropské železnice. Ke každému vývoji nové technologie neodmyslitelně patří design a je jeho přirozenou součástí.

12 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

310.076: kafemlýnek. Online. In: ČD Nostalgie. 2019. Dostupné z: https://www.cdnostalgie.cz/assets/vozidla/parni-lokomotivy/310-0_2.jpg. [cit. 2025-01].

ACRI. *Siemens Vectron*. Online. In: ACRI. 2023. Dostupné z: <https://acri.cz/2023/06/15/ceske-drahy-testuji-dualni-lokomotivu-siemens-vectron-dual-mode/>. [cit. 2025-05-19].

Bechyňka. Online. In: VLAKY.NET. 2013. Dostupné z: <https://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/4966-Bechynka-oslavila-110-narozeniny/>. [cit. 2025-01].

BEK, Jindřich. *Atlas lokomotiv*. Praha: NADAS-AFGH, 1982.

Brejlovec 750.713. Online. In: Trainpositions. 2023. Dostupné z: <https://en.treinpositions.nl/foto/203323>. [cit. 2025-03-04].

CASKA, Jiří. *Parní lokomotivy řady 556.0 - štokry: historie, vývoj, technika*. Retro. Praha: Grada Publishing, 2024. ISBN 978-80-271-5294-0.

CASKA, Jiří. *Střídavé lokomotivy: jednofázová elektrická vozidla : historie, vývoj, technika*. Retro. Praha: Grada Publishing, 2023. ISBN 978-80-271-3917-0.

CECH, Lubomir. *Lokomotiva EURO9000*. Online. In: Railmarket. 2023. Dostupné z: <https://cs.railmarket.com/news/rolling-stock/15080-stadler-s-euro9000-locomotive-approved-for-operations-in-belgium-and-the-netherlands>. [cit. 2025-05-20].

CECH, Lubomir. *Wabtec testuje autonomní modul Maverick pro nákladní železniční dopravu*. Online. In: Railmarket. 2025. Dostupné z: <https://cs.railmarket.com/news/technology-innovation/30894-wabtec-tests-maverick-autonomous-module-for-freight-rail-operations>. [cit. 2025-05-20].

DUCHOŇ, Radek. *Na trati zvané Kopidlno jede první vlak v Evropě, který mezi stanicemi neřídí strojvůdce*. Online. In: IROZHLAS. 2025. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/veda-technologie/technologie/na-trati-zvane-kopidlno-jede-prvni-vlak-v-evrope-ktery-mezistanicemi-neridi_2504041817_kvr. [cit. 2025-05-22].

Europe transport emissions. Online. In: European Environment Agency. 2024. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/sustainability-of-europes-mobility-systems/freight-transport-activity>. [cit. 2025-05-23].

FENDER, Keith. *A model of Wabtec's Maverick concept locomotive is displayed at InnoTrans 2024*. Online. In: Trains. 2. 10. 2024. Dostupné z: <https://www.trains.com/trn/news-reviews/news-wire/alternative-power-artificial-intelligence-highlight-technological-focus-of-innotrans/>. [cit. 2025-05-20].

GILBSON, Henry. Audi using Alstom H3 plug-in hybrid shunting locomotive at Ingolstadt. Online. In: Green Car Congress. 2015. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2015/10/20151030-audi.html>. [cit. 2025-05-20].

Grade of Automation. Online. In: Europe's Rail. 2019. Dostupné z: <https://rail-research.europa.eu/highlight/innovation-in-the-spotlight-towards-unattended-mainline-train-operations-ato-go4/>. [cit. 2025-05-15].

HARÁK, Martin a KOLMAČKA, Rostislav. *Prototypy elektrických lokomotiv, jednotek a vozů*. Praha: Grada Publishing, 2022. ISBN 978-80-271-3449-6.

HERRING, Peter. *Vlaky a železnice*. Vyd. 3. [Praha]: Slovart, 2005. ISBN 80-7209-737-7.

Historie České dráhy. Online. Architecture Week. 2025. Dostupné z: <https://www.architectureweek.cz/historie-ceske-drahy/>. [cit. 2025-01].

KOLEŠÁR, Zdeno. *Nové kapitoly z dějin dizajnu*. 2. dopl. a rozš. vyd. Bratislava: Slovenské centrum dizajnu, 2009. ISBN 978-80-970173-1-6.

LACHNIT, Ing. Jan. *Žabotlam 451*. Online. In: Prototypy. 2025. Dostupné z: <https://www.prototypy.cz/zobrobr.php?filename=451004c.jpg>. [cit. 2025-05-07].

LAWSON, Danny. *A4 Mallard*. Online. In: Popular Mechanics. 2020. Dostupné z: <https://www.popularmechanics.com/technology/infrastructure/a33918204/4468-mallard-history/>. [cit. 2025-05-22].

ORTNER, Herbert. *498.104: Albatros*. Online. In: Wikipedie. 1997. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Lokomotiva_498.1#/media/Soubor:Skoda_498104_01.jpg. [cit. 2025-01].

PAULY, Jana a HULÁK, Jiří. *Český průmyslový design 1990-2010*. [Roztoky u Prahy]: Signum, c2010. ISBN 978-80-903531-0-7. Dostupné také z: <http://krameriusndk.nkp.cz/search/handle/uuid:23be6910-9c78-11e8-99aa-005056827e51>.

PAULY, Jana. *Fenomenální Otakar Diblík: Rozhovor s průmyslovým designérem, který zásadně ovlivnil podobu dopravních prostředků v Československu*. Online. In: Czech design.

2021. Dostupné z: <https://www.czechdesign.cz/temata-a-rubriky/fenomenalni-otakar-diblik-rozhovor-s-prumyslovym-designerem-ktery-zasadne-ovlivnil-podobu-dopravnich-prostredku-v-ceskoslovensku>. [cit. 2025-05-12].

PAVLŮSEK, Ondřej. *Audi má vlastní plug-in hybridní lokomotivu*. Online. In: Auto.cz. 2015. Dostupné z: <https://www.auto.cz/audi-ma-vlastni-plug-in-hybridni-lokomotivu-90170>. [cit. 2025-05-20].

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.

POMEISL, Antonín. *Štokr*. Online. In: Českolipský deník. 2021. Dostupné z: <https://ceskolipsky.denik.cz/galerie/parni-lokomotiva-vlak-ceska-lipa-20211016.html?back=2504359618-309-7&photo=12>. [cit. 2025-03-04].

RAILWAY GAZETTE INTERNATIONAL. *Autonomous high speed line inspection vehicle on test*. Online. In: Railway Gazette International. 2024. Dostupné z: <https://www.railwaygazette.com/autonomous-high-speed-line-inspection-vehicle-on-test/67110.article>. [cit. 2025-05-20].

Řada 478.1/2 *Bardotka*. Online. In: Vlakem jednoduše. 2024. Dostupné z: <https://www.vlakemjednoduse.cz/wp-content/uploads/2024/11/CD-Bardotka-2024-11-400x267.png>. [cit. 2025-03-04].

SCHWARZ, Armin. *Detail Scharfenbergkupplung: Typ 10 mit obenliegender Elektrokontaktkupplung*. Online. In: Hellertal.startbilder. 2014. Dostupné z: <https://hellertal.startbilder.de/bild/Deutschland~Detailaufnahmen~Kupplungen/367540/detail-scharfenbergkupplung-schaku-typ-10-mit.html>. [cit. 2025-05-25].

ŠOŠKA, Aleš. *Žehlička 110*. Online. In: Prototypy. 2002. Dostupné z: <https://www.prototypy.cz/zobrobr.php?filename=110024c.jpg>. [cit. 2025-05-07].

STADLER. *Stadler euro9000*. Online. In: Railmarket. 2023. Dostupné z: <https://cs.railmarket.com/news/rolling-stock/15080-stadler-s-euro9000-locomotive-approved-for-operations-in-belgium-and-the-netherlands>. [cit. 2025-05-19].

Stephenson Rocket No.1. Online. In: Railway Museum. 2018. Dostupné z: <https://www.railwaymuseum.org.uk/objects-and-stories/stephensons-rocket-rainhill-and-rise-locomotive>. [cit. 2025-01-30].

SŮRA, Jan. *ČD mají po arbitráži nejdražší lokomotivy na světě.: Do Německa ale nesmí.* Online. In: Idnes.cz. 2015. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ekonomika/doprava/jak-si-ceske-drahy-koupily-nejdrazsi-lokomotivu-na-svete.A151118_174246_eko-doprava_rts. [cit. 2025-05-23].

SŮRA, Jan. *České dráhy rozšiřují flotilu.: Nyní odhalily, kolik stála lokomotiva Vectron.* Online. In: Deník.cz. 2020. Dostupné z: <https://www.denik.cz/ekonomika/ceske-drahy-vectron2020.html>. [cit. 2025-05-23].

SŮRA, Jan. *Siemens získal novou zakázku na až 50 lokomotiv Vectron.* Online. In: Z dopravy. 2025. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/siemens-ziskal-novou-zakazku-na-az-50-lokomotiv-vectron-237472/>. [cit. 2025-05-20].

ŠKODA TRANSPORTATION A.S. *Škoda 109E.* Online. In: ŠKODA TRANSPORTATION a.s. 2025. Dostupné z: <https://www.skodagroup.com/cs/produkty-a-sluzby/elektricke-lokomotivy>. [cit. 2025-05-20].

ŠLAJS, Václav. *Laminátka s699.* Online. In: Prototypy. 2025. Dostupné z: https://www.prototypy.cz/zobrobr.php?filename=S6990001_h.jpg. [cit. 2025-05-07].

ŠTÁHLAVSKÝ, Petr. *Rychlíkové elektrické jednotky: evropský fenomén válčuje klasiku.* Online. In: Železničář. 2015. Dostupné z: <https://zeleznicar.cd.cz/zeleznicar/tema/rychlikove-elektricke-jednotky--evropsky-fenomen-valcuje-klasiku/-9599/19,0,./>. [cit. 2025-05-19].

ŠVESTKA, David. *Atlas Lokomotiv.* Online. Atlas Lokomotiv. 2025. Dostupné z: <https://www.atlaslokomotiv.net/loko-751.html>. [cit. 2025-03-04].

TOMANČÁK, Leoš. *Řada 169.* Online. In: Prototypy. 2025. Dostupné z: https://www.prototypy.cz/zobrobr.php?filename=169001_f.jpg. [cit. 2025-05-07].

TURŇA, Joži. *Škoda 70E: 362.0.* Online. In: Railpage.net. 2025. Dostupné z: <https://www.railpage.net/fotografie/362-020-po-nehode-na-skusobnej-jazde/>. [cit. 2025-05-22].

URV RFI. Online. In: Railcolor. 2024. Dostupné z: https://railcolornews.com/wp-content/uploads/URV_RFI_Railcolor-News-5502-1536x1152.jpg. [cit. 2025-05-19].

VOPÁLENSKÁ, Marie Alžběta; JOHÁNEK, Tomáš a BINKOVÁ, Adriena. *Dvě století na české železnici.* Třetí vydání. [Praha]: ACRI – Asociace podniků českého železničního průmyslu, [2021]. ISBN 978-80-88414-00-1.

13 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

3D	trojrozměrný
5G	pátá generace telefonní komunikace
ATO	Automatic Train Operation – automatický vlakový provoz
AŽD	Automatizace železniční dopravy Praha a. s.
ČMŽO	Českomoravská železniční opravna
ČSD	Československé státní dráhy
ČSN	České státní normy
ČSR	Československá Republika
ČSSR	Československá socialistická Republika
DÚČR	Drážní úřad české republiky
EDITA	Experimentální Drážní vozidlo pro Inovativní Technologie AŽD
ETCS	European Train Control Systém – Evropský vlakový zabezpečovač
FFF	Fused Filament Fabrication – aditivní druh výroby díky filamentu
GoA	Grade of automation – stupně automatizace
GPS	satelitní navigace
GSMR	mezinárodní standard bezdrátové komunikace pro železnici
MDČR	Ministerstvo dopravy české republiky
PLA	Kyselina polymléčná
RFI	Rete Ferroviaria Italiana – Italská správa železnice
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TSI	Technické specifikace pro interoperabilitu
UIC	Mezinárodní železniční unie
URV	Unmanned Railway Vehicle – bezpilotní železniční vozidlo
VR	Virtuální realita

14 SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

Obrázek 1 Lokomotiva Rocket	16
Obrázek 2 Dobová trať Bechyně-Tábor.....	17
Obrázek 3 Parní lokomotiva řady 310	18
Obrázek 4 Parní rychlíková lokomotiva 498.1	18
Obrázek 5 Parní lokomotiva řady 556	19
Obrázek 6 Lokomotivy „Bardotky“	21
Obrázek 7 „Brejlovec“ 750.7	21
Obrázek 8 Osobní jednotka řady 451.....	22
Obrázek 9 Lokomotiva řady 110	23
Obrázek 10 Prototypová lokomotiva S699.0	24
Obrázek 11 Škoda 85E.....	24
Obrázek 12 Stadler AURO9000	25
Obrázek 13 Siemens Vectron.....	26
Obrázek 14 Alstom H3	27
Obrázek 15 Škoda 109E.....	28
Obrázek 16 Model konceptuální lokomotivy Maverick	28
Obrázek 17 Inspekční vozidlo RFI	29
Obrázek 18 Proudnicová lokomotiva A4 Mallard	30
Obrázek 19 Škoda 70E.....	31
Obrázek 20 Stupně automatizace	32
Obrázek 21 Návštěva konstrukční kanceláře	32
Obrázek 22 Infografika autonomní jízdy	34
Obrázek 23 Znázornění detekované překážky	35
Obrázek 24 Vozidlo EDITA	36
Obrázek 25 Prvotní určování koncepce	43
Obrázek 26 Varianty koncepčních řešení	44
Obrázek 27 Dynamické varianty tvarového řešení	44
Obrázek 28 Další vyhledávací skici.....	45
Obrázek 29 Varianty řešení bočnic	45
Obrázek 30 Detail částí podvozku	46
Obrázek 31 Variace tvaru čela	46
Obrázek 32 Kresba bokorysu téže varianty	47
Obrázek 33 Rozdílné přístupy ke krytování nárazecího ústrojí	47
Obrázek 34 Vizualizace vymodelované první varianty	48

Obrázek 35 Jiné přístupy ke kapotáži první varianty	48
Obrázek 36 Vizualizace finálního návrhu	49
Obrázek 37 Vizualizace provozní signalizace	50
Obrázek 38 Rozměrový náčrt autonomní lokomotivy.....	51
Obrázek 39 Automatické spřáhlo Scharfenberg typ 10	52
Obrázek 40 Pracovní prostředí programu Rhinoceros.....	54
Obrázek 41 Příprava tisku ve sliceru	55
Obrázek 42 3D tiskárna v procesu tisku	56

15 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Vyjádření MDČR

PŘÍLOHA P I: VYJÁDŘENÍ MDČR

Obsahem přílohy je vyjádření Ministerstva dopravy české republiky, která je odpovědí na dotaz k postoji úřadu k autonomní železnici.

[komunikaci zprostředkoval Mgr. František Jemelka – tiskový mluvčí]

Do určité míry lze říct, že drážní doprava je pro autonomní řízení předurčena, neboť je vedena po segregované infrastruktuře. Díky tomu se úspěšně daří zavádět autonomní systémy zejména v rámci systémů metra v různých městech po celém světě. Na železnici prozatím nejsme tak daleko, a to ani ne tak z důvodu, že bychom nedokázali dnes vlaky autonomně řídit, ale spíše z toho důvodu, že železnici již není tak jednoduché ochránit od různých vlivů a ohrožení z okolí. Základním předpokladem spolehlivého nasazení autonomní mobility na železnici jsou tedy nejen pokročilé řídicí systémy, ale také schopnost spolehlivě detekovat různé překážky, které se na tratích mohou vyskytnout, a zajistit adekvátní reakci vlaku na takovou překážku. Modelově lze uvést, že jiná reakce vlaku je nutná v případě výskytu osoby v kolejišti a jiná v případě výskytu například zvířete. To stejné platí například pro betonový kvádr nebo pro kartonovou krabici stejné velikosti. Příslušné systémy jsou nyní ve fázi vývoje a testování ze strany průmyslu, včetně českého.

V ČR máme legislativně umožněn autonomní provoz metra a již nyní se pracuje na výstavbě autonomní linky metra D a na přestavbě linky metra C v Praze na autonomní provoz. Co se týká železnice, zde jsme ve fázi testování, neboť spolehlivost všech systémů musí být důkladně ověřena, neboť na nich budou záviset životy mnoha lidí, pokud by byly uvedeny do rutinního provozu. Z hlediska nasazení do provozu lze předpokládat, že nejprve může dojít k nasazení autonomních vlaků například pro souprarové jízdy a podobně. K nasazení vlaků bez strojvedoucích například v případě vlaků s cestujícími nebo v případě nákladních vlaků přepravujících nebezpečné věci vede ještě dlouhá cesta, neboť kromě bezpečnostních aspektů nelze podcenit také otázku psychologie uživatelů železnice.

Ing. Jindřich Kušnír, ředitel Odboru drážní dopravy MD

16 ZMENŠENÉ POSTERY

16.1 Sumarizační banner



AUTONOMNÍ LOKOMOTIVA / AUTONOMUS LOCOMOTIVE

Autonomní elektrická lokomotiva navržená pro moderní nákladní dopravu kombinuje čistý design, funkčnost a technologickou vyspělost. Absence kabiny umožnila kompaktní a plynulé tvarování s důrazem na vizuální čitelnost. Svéběžné linie slouží k signalizaci i jako výrazový prvek. Vozidlo splňuje požadavky pro disátní provoz a navíc reflektuje poznatky z konzultací s odborníky z několika institucí. Autonomní provoz přináší nižší náklady, vyšší efektivitu a odpovídá aktuálním trendům v logistice a dopravním designu.

Designed for modern freight transport, the autonomous electric locomotive combines clean design, functionality and technological maturity. The absence of a cab has allowed for a compact and smooth design with an emphasis on visual legibility. The light lines are used for signalling and as an expressive element. The vehicle meets the requirements for railway operation and the design reflects the findings of consultations with experts from several institutions. Autonomous operation results in lower costs, higher efficiency and is in line with current trends in logistics and transport design.

AUTONOMNÍ LOKOMOTIVA / AUTONOMUS LOCOMOTIVE / JAKUB HUNAL / 2025

