

Bakalářská práce



České  
vysoké  
učení technické  
v Praze

**F3**

Fakulta elektrotechnická  
Katedra počítačové grafiky a interakce

## Implementace vlakového simulátoru

Ondřej Mašek

Školitel: doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D.  
Leden 2023



## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Mašek** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **483794**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra počítačové grafiky a interakce**  
Studijní program: **Otevřená informatika**  
Specializace: **Počítačové hry a grafika**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Implementace vlakového simulátoru**

Název bakalářské práce anglicky:

**Train simulator implementation**

Pokyny pro vypracování:

Zmapujte metody simulace vlakové dopravy v herních enginech. Popište způsoby ovládání moderních vlakových souprav a jejich technické parametry. Navrhněte aplikaci umožňující jízdu vlakové soupravy po trati s jednoduchou i složitější topologií (smyčka i trať s výhybkami). Za účelem simulace vytvořte nástroj, který umožní vytvoření kolejové trati, která splňuje platné normy. Kolejovou trať umístěte na násep, který bude možné následně zakomponovat do terénu. Modelování terénu v práci neřešte. Implementujte základní fyzikální model vlakové soupravy podporující základní ovládací prvky vlaku. Soustředte se na kvalitní zpracování grafického náhledu simulace z pohledu první osoby a z pohledu třetí osoby realizovaného z ptáčích perspektivy. Pro implementaci využijte herní engine Unity a dostupné 3D modely, které si podle potřeb upravte.

Seznam doporučené literatury:

- 1] Thorslund, B., Rosberg, T., Lindström, A., & Peters, B. (2019, September). User-centered development of a train driving simulator for education and training. In 8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA), Norrköping, Sweden, June 17th–20th, 2019. Linköping University Electronic Press.
- [2] Dominik Chaloupka. Rozšiřující 3D model pro hru zabývající se hromadnou dopravou. Bakalářská práce, ČVUT FEL, 2021.
- [3] Tomáš Starý. Návrh simulačních scénářů systému ETCS pro školení strojvedoucích. Diplomová práce, ČVUT FD, 2022.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D. Katedra počítačové grafiky a interakce**

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

Datum zadání bakalářské práce: **16.02.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.01.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **22.09.2024**

doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)



## Poděkování

Děkuji mému vedoucímu doc. Ing. Jiřímu Bittnerovi, Ph.D. a kolegovi Dominiku Chaloupkovi, jehož model vlaku jsem ve své práci využil.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 20. ledna 2023

## Abstrakt

Práce se zabývá návrhem a implementací aplikace pro simulaci jízdy vlakové soupravy po trati s jednoduchou i složitější topologií. Součástí je rovněž nástroj pro vytváření tratí odpovídající normám.

**Klíčová slova:** vlak, dopravní prostředek, herní engine

**Školitel:** doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D.  
ČVUT FEL,  
Karlovo náměstí 13,  
E-420,  
12000 Praha 2

## Abstract

The thesis focuses on design and implementation of an application for train simulation on a track with simple and more complex topology. A tool for creating standards-compliant tracks is also included.

**Keywords:** train, transportation, game engine

**Title translation:** Implementation of train simulator

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2 Analýza</b>	<b>3</b>
2.1 Train Simulator Classic (2009) ..	3
2.2 Train Sim World 3 (2022) .....	3
2.3 Microsoft Train Simulator (2001)	5
2.4 Open Rails (2009) .....	5
2.5 Mashinky (2018) .....	6
2.6 Shrnutí .....	6
<b>3 Modely</b>	<b>9</b>
3.1 Vlák .....	9
3.2 Koleje .....	10
<b>4 Implementace</b>	<b>13</b>
4.1 Pohyb vlaku .....	13
4.2 Vnitřek vlaku .....	15
4.3 Jednoduchá trať .....	15
4.4 Komplexní trať .....	15
4.5 Nástroj na tvorbu trati .....	16
<b>5 Výsledky a testování</b>	<b>19</b>
5.1 Možný další rozvoj simulátoru ..	19
5.1.1 Vnitřek vlaku .....	19
5.1.2 Prostředí .....	20
5.1.3 Pravidla .....	20
5.1.4 Více hráčů .....	20
5.1.5 Nové trati .....	21
<b>6 Závěr</b>	<b>23</b>
<b>Literatura</b>	<b>25</b>

## Obrázky

## Tabulky

2.1 Snímek ze hry TSC (převzat z webu hry) .....	4
2.2 Snímek ze hry TSW3 (převzat z webu hry) .....	4
2.3 Snímek ze hry MSTTS (převzat z webu hry) .....	5
2.4 Snímek ze hry Open Rails (pořízen ve hře) .....	6
2.5 Snímek ze hry Mashinky (převzat z webu hry) .....	7
3.1 Importovaný model vlaku do Unity	9
3.2 Schéma kolejnice UIC 60 .....	10
3.3 Schéma pražce BV 08 .....	10
3.4 Model rovné koleje .....	11
3.5 Model zatáčky - detail .....	11
3.6 Model zatáčky - přehled .....	11
4.1 Oválová trať .....	16
4.2 Komplexní trať - doplnit lepší popisem .....	17





# Kapitola 1

## Úvod

Vlaková doprava je jeden z nejrozšířenějších a nejbezpečnějších způsobů dopravy. Mimo toho také přitahuje velké množství fanoušků, kteří se zajímají o historii, modely vlaků a tratí, ale i o vlakové hry a simulátory.

Dále existují simulátory určené pro výcvik strojvedoucích, podobně jako tomu je u dopravních pilotů. U nich je kladen důraz na realističnost ovládní, často se jedná o fyzické kopie kabin vlaků, jejichž pomocí se simulátor ovládá. Kromě samotného ovládní vlaku se také strojvedoucí učí správnému dodržování drážních předpisů a také postupy při krizových situacích[1].

V této práci se zabývám návrhem a implementací simulátoru jízdy vlakové soupravy jednak po jednoduché trati - smyčce, ale také po složitější trati, jejíž součástí jsou výhybky. Zahrnuta je rovněž analýza podobných aplikací simulujících dopravní prostředky za využití herních enginů. Ve své práci využívám modelu vlaku EJ 471, který vytvořil Dominik Chaloupka v rámci své bakalářské práce[2].

Důležitou částí mé práce je taktéž nástroj pro vytváření železničních tratí, tak aby odpovídaly normám. Nástroj podporuje i složitější tratě s výhybkami tak, aby bylo možné připravit pro vlak různé odbočky podobně, jako v případě skutečných železničních tratí.

V závěru shrnuji dosažené výsledky, jeho přednosti i nedostatky a případné možnosti dalšího rozvoje.



## Kapitola 2

### Analýza

Níže uvádím porovnání pěti různých vlakových simulátorů, které patří mezi nejpopulárnější veřejně dostupné. Každý z nich jsem také osobně vyzkoušel, abych mohl porovnat jejich přednosti a případné nedostatky.

#### 2.1 Train Simulator Classic (2009)

Train Simulator Classic (TSC) je již starší hra, která ale stále nabízí možnost ovládat řadu různých typů lokomotiv a vyzkoušet si jejich chování na řadě různých tratí. Ovládání vlaků je velmi realistické, zejména při pohledu z první osoby 2.1. Je nutné dodržovat drážní předpisy a hrozí i poškození nesprávně ovládaných strojů.

V základní verzi nabízí 3 autentické trati (Pegnitztalbahn, Long Island Rail Road a Huddersfield Line) a 10 licencovaných lokomotiv. Toto je možné rozšířit jednak pomocí velké množství placených DLC nabízených vývojáři hry i třetími stranami, které jsou však poměrně drahé, nebo lze ovšem rovněž využít i obsah zdarma nabízený dalšími uživateli, například přes Steam Workshop. K 1. lednu 2024 je k dispozici 727 oficiálních placených rozšíření[7]. Problém nicméně je, že hra je při větším množství stažených modifikací náročná na výkon počítače.

Přestože je hra již poměrně stará, je svými tvůrci stále udržovaná a existuje kolem ní aktivní komunita hráčů[6].

#### 2.2 Train Sim World 3 (2022)

Train Sim World 3 (TSW3) je velmi podobná výše zmíněné TSC avšak pochopitelně s vylepšeným grafickým provedením i fyzikálním modelem. Obě hry mají společného vývojáře - společnost Dovetail Games. Hra opět nabízí realistické a tedy poměrně složité ovládání, které se u různých modelů vlaků liší a hráči se tedy musí naučit ovládat různé typy lokomotiv, zvládnout jízdni řády a reagovat na různé situace a poruchy, což dodává hře hloubku a výzvu. Z vlaku lze i vystoupit a prohlédnout si nádraží či depo. Velký bonus k realističnosti přidává dynamické počasí.



**Obrázek 2.1:** Snímek ze hry TSC (převzat z webu hry)

Oproti TSC není k dispozici Steam Workshop, což znesnadňuje přístup k dodatečnému obsahu od komunity. Nabízena jsou ovšem placená DLC, k 1. lednu 2024 je jich k dispozici 82[6].

V roce 2023 vyšel nástupce - Train Sim World 4[8], což bohužel značí, že vývojáři již zaměřili svou pozornost jinam a nelze do budoucna očekávat žádná velká vylepšení nebo rozšíření. Tento krok si vysloužil kritiku komunity, protože nový díl přináší pouze malé změny. Ukázka z TSW3 je na obrázku 2.2.



**Obrázek 2.2:** Snímek ze hry TSW3 (převzat z webu hry)

## 2.3 Microsoft Train Simulator (2001)

Microsoft Train Simulator (MSTS) byl v době svého vydání průkopníkem žánru vlakových simulátorů a nabízel, na svou dobu, realistickou grafiku i fyzikální model 2.3. Autoři při jeho tvorbě vycházeli ze zkušeností z tvorby jiného velmi úspěšného simulátoru od Microsoftu a to sice Microsoft Flight Simulator. V základní podobě hra nabízí 6 tratí, například Marias Pass v USA nebo The Flying Scotsman Railways ve Velké Británii, přičemž každá trať nabízí svou specifickou lokomotivu[9].

Velké množství dalšího obsahu a to jak tratí tak lokomotiv má však na svědomí komunita, která se kolem hry utvořila na internetových fórech.

Vzhledem ke stáří hry již žádná podpora od tvůrců neexistuje a rovněž komunita kolem hry je malá, i díky vzniku neoficiálního nástupce - Open Rails.



Obrázek 2.3: Snímek ze hry MSTS (převzat z webu hry)

## 2.4 Open Rails (2009)

Open Rails (OR) je open source projekt pod licencí GPL, který navazuje na MSTS coby neoficální pokračování. Využívá obsah (tratě, vlaky, aktivity), které byly původně vytvořeny komunitou pro MSTS, ale díky své otevřenosti je velmi dobře přístupný pro nově vytvořený uživatelský obsah[10]. Oproti MSTS nabízí větší důraz na realističnost a lepší grafické zpracování, které nicméně stejně poněkud zaostává za svými novějšími komerčními konkurenty (TSC a TSW3) 2.4.

Jakožto open source projekt je Open Rails neustále komunitně vyvíjený simulátor, který pro začínající hráče nabízí množství tutoriálů a stažitelného obsahu. Vzhledem ke nižší složitosti grafického zpracování a dobré optimalizaci je přístupný i zájemcům s méně výkonnými počítači.



Obrázek 2.4: Snímek ze hry Open Rails (pořízen ve hře)

## 2.5 Mashinky (2018)

Mashinky je česká, stále vyvíjena hra, která se ale zaměřuje na simulaci celého systému dopravy, ne pouze jízdu vlakem. Nicméně simulace jízdy vlakem je ústřední součástí tohoto projektu a byla i využita pro vytvořený model vlaku EJ 471, který vytvořil Dominik Chaloupka.

Hra s k 1. lednu 2024 stále nachází v předběžném přístupu, přičemž autor pravidelně přináší nové aktualizace, které hru vylepšují a přidávají nový obsah[11]. Mashinky podporují snadný vývoj i používání uživatelských modifikací, mimo jiné i přes Steam Workshop, kde jsou nabízeny mimo jiné další modely vlaků a jiných vozidel či nové mapy 2.5.

## 2.6 Shrnutí

Současná nabídka vlakových her či simulátorů je poměrně široká, a to jak komerčních tak open source. Ovládání je často podobné, liší se kvalitou grafického zpracování, dostupným obsahem a možností jeho rozšíření o uživatelské mody i zapojením komunity.





**Obrázek 2.5:** Snímek ze hry Mashinky (převzat z webu hry)





## Kapitola 3

### Modely

#### 3.1 Vlák

Vlák, který jsem použil jako předlohu vlaku pro tuto práci je Elektrická jednotka 471, známá též jako CityElefant. Samotný model byl vytvořen v rámci bakalářské práce Dominika Chaloupky[2]. Na modelu jsem provedl několik drobných úprav, přičemž se všechny týkaly textur, jelikož se při importu poskytnutých modelů do Unity některé nedařilo správně nahrát, a tudíž jsem si vytvořil nové. Jednalo se o textury skel, které jsem si stejně pro vlastní potřeby potřeboval upravit. Díky dodržení správných rozměrů při tvorbě dalších objektů pro simulátor nebylo již potřeba žádné další úpravy modelu vlaku provádět 3.1.

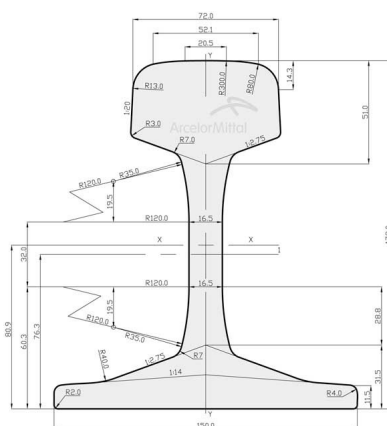
Vlák byl ve skutečnosti rozdělen do dvou částí - exteriér a interiér (kabina strojvůdce). Exteriér jsem využil pro samotný pohyb vlaku po kolejích. Model interiéru jsem umístil mimo mapu pro použití pro pohled z 1. osoby. Pro pozorování vlaku během hry jsou tudíž k dispozici dvě kamery - jedna umístěná vně vlaku pro externí pohled a druhá se nachází uvnitř kabiny strojvůdce.



Obrázek 3.1: Importovaný model vlaku do Unity

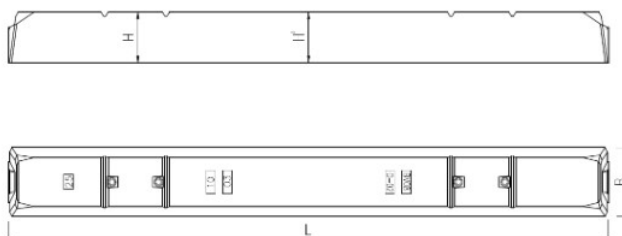
## 3.2 Koleje

Z důvodu použití českého vlaku EJ 471, jsem se pochopitelně rozhodl pro použití jednoho z v Česku používaných druhů kolejí. Všechny běžně používané mají standardní rozchod 1435 mm, ale liší se tvarem a velikostí kolejnice, ale mají také odlišné pražce. V Česku jsou nejčastěji využívány kolejnice S 49, které se používají na regionálních tratích a R 65, jejichž hlavním místem použití jsou celostátní tratě. Posledním a nejnovějším typem je UIC 60 3.2, který se používá na koridorech a postupně nahrazuje typ R 65.



Obrázek 3.2: Schéma kolejnice UIC 60

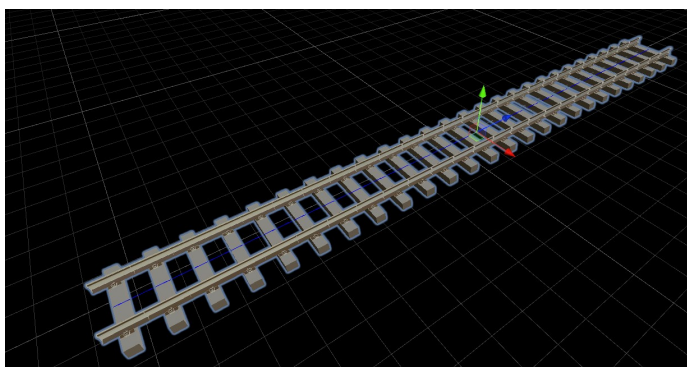
Jako předlohu pro model pražců jsem si vybral betonový pražec typu BV 08 3.3, který je určený pro použití s kolejnicí typu UIC 60[4].



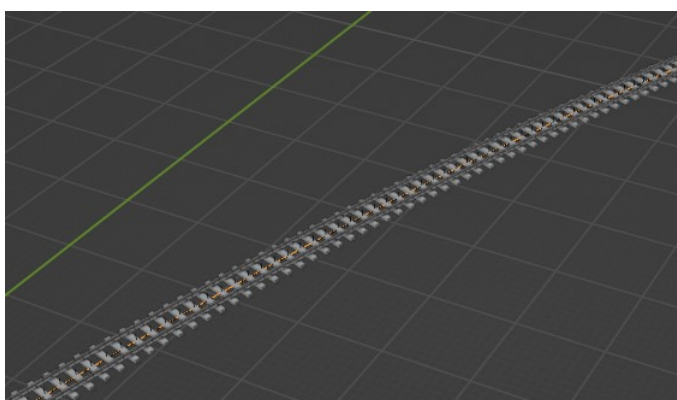
Obrázek 3.3: Schéma pražce BV 08

Pro modelování jsem si vybral program Blender, protože mám s ním největší zkušenosti. Při tvorbě jsem využil jak schématické nákresy, tak znalosti velikostí jednotlivých parametrů z technické dokumentace. Z jednotlivých dílů jsem vytvořil dva dále využitelné modely - jeden rovný 3.4 a jednu zatáčku 3.5. Při stavbě železničních tratí se zpravidla pracuje s těmito délkami kolejí: normální, dlouhé, zkrácené, přechodové a abnormální[5]. Pro svoji práci jsem si připravil koleje normální délky, což odpovídá délce 75 metrů.

Jelikož jsem pro modelování kolejnice vybral typ standardně používaný na koridorech, tak i při tvorbě kolejového oblouku 3.6 jsem použil minimální

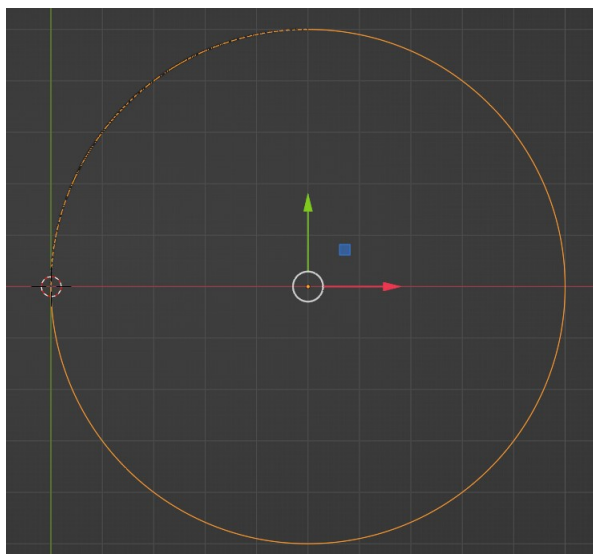


**Obrázek 3.4:** Model rovné koleje



**Obrázek 3.5:** Model zatáčky - detail

poloměr zatáček pro tyto významné tratě, tedy 500 metrů[5]. Při modelování jsem si pro lepší vizuální kontrolu vytvořil kontrolní křivku.



**Obrázek 3.6:** Model zatáčky - přehled

Jelikož koleje u reálných tratích neleží přímo na podloží bylo nutné, pro zvýšení realističnosti přidat ještě železniční spodek. Ten se skládá ze dvou vrstev - svrchní štěrkopískové části a spodní nepropustné zeminy. Při modelování v Blenderu jsem postupoval tak, že jsem si nejprve vytvořil model malého kamene. Poté jsem si vytvořil mnohostěn, který slouží coby podklad koleje a následně jsem na něj aplikoval modifikátor "ParticleSystem", což mi po vyladění parametrů modifikátoru vytvořilo poměrně realistický model štěrkopískové vrstvy.

Taky získané a upravené, či vytvořené modely mi již stačily pro vytvoření implementace vlakového simulátoru v Unity.

## Kapitola 4

### Implementace

Vzhledem k zadání práce jsem měl pro implementaci na výběr mezi použitím enginu Unity a Unreal 5. Pro výběr Unity jsem se rozhodl ze 2 důvodů. Prvním důvodem bylo to, že jsem dosud s Unreal enginem neměl žádné zkušenosti a nepřišlo mi vhodné se s ním u takového projektu učit. Druhým důvodem byla snadnější potenciální propojitelnost s prací Petra Nahodila, který vytvářel dynamicky generované okolní prostředí pro vlakový simulátor.

Pro ukázkou funkce simulace vlaku jsem připravil celkem dvě scény. První z nich představuje jednoduchou oválnou trať, ale druhá je již komplexnější a obsahuje i výhybky a převýšení trati.

#### 4.1 Pohyb vlaku

Pro simulaci pohybu vlaku jsem na počátku uvažoval čtyři základní postupy. Jako první jsem uvažoval nad možností simulovat pohyb vlaku pomocí využití RigidBody a Collider Component a následné aplikaci působících sil v Unity, čímž bych mohl dosáhnout realistické interakce mezi vlakem (především jeho koly) a kolejemi. Tuto metodu jsme zavrhl pro přílišnou složitost pro dosažení realistického pohybu, zejména u složitějších prvků jako jsou výhybky. Další možností, podobnou výše zmíněné, je použití Wheel Component v Unity, který simuluje pohyb jednotlivých kol. Použití této metody by přineslo vysokou míru věrnosti reálnému pohybu vlaku, ale z podobných důvodů jako u výše zmíněného způsobu, tedy poměrně vysoké složitosti správného nastavení interakce mezi koly a kolejemi jsem se rozhodl ani tuto metodu nepoužít. Nakonec jsem se rozhodl simulovat jízdu vlaku jako pohyb po křivce. Aby vlak mohl po trati jezdit bylo nutné k modelům kolejí přidat i křivky, které fungují jako vodící čáry pro jedoucí vlak. Pro tento účel jsem si vybral Catmull–Rom křivku. Každý díl má kolejí má definovanou svou vlastní, která se poté propojí do celku, a po výsledné křivce se vlak pohybuje. Catmull–Rom křivka je definována čtyřmi kontrolními body, přičemž každý bod na křivce můžeme vypočítat ze vzorce

$$P(t) = 0.5 \times ((2P_1) + (-P_0 + P_2) \times t + (2P_0 - 5P_1 + 4P_2 - P_3) \times t^2 + (-P_0 + 3P_1 - 3P_2 + P_3) \times t^3)$$

V tomto vzorci představují  $P_0, P_1, P_2, P_3$  jednotlivé kontrolní body a  $t$  je parametr, který se pohybuje od 0 do 1. Testoval jsem také použití Beziérovky křivky, ale její vlastnosti způsobovaly, že v zatáčkách se vlak odchyloval od středu trati a dělal "skoky".

Pro praktickou implementaci zvolené křivky jsem se rozhodl použít v Unity dostupnou komponentu Spline, která umožňuje definovat křivky a manipulovat s jejich kontrolními body.

Vzniklá trať je tedy reprezentovaná komponentou Spline - křivkou, která vede středem kolejí a vlak se po ní pohybuje. Každá jedna souprava vlaku EJ 471 má dva podvozky, každý po dvou dvojkolích, přičemž tyto podvozky jsou vůči samotné soupravě otočné. Pro samotný pohyb jsem vytvořil třídu GearMover, která je coby komponenta vždy připravena ke každému podvozku. Tato třída na základě rychlosti vlaku a uplynulého času od posledního přepočtu ( $\text{Time.deltaTime}$ ) vypočítává správnou pozici podvozku na křivce, s čehož lze zjistit správné natočení podvozku i správnou polohu celého vlaku.

Vlak se, jak již bylo uvedeno výše, pohybuje po jedné velké Catmull-Rom křivce. Rychlost vlaku je daná jednak omezovačem, který pro EJ 471 stanovuje jako maximální povolenou rychlost 140 km/h, přičemž tuto rychlost nelze překročit. Uživatel může vlak urychlovat zvýšením příkonu elektromotoru (stisknutím klávesy N, snížení je realizováno stisknutím M), který má v případě EJ 471 výkon 2000 kilowatt. Na vlak však kromě motoru působí i odporové síly. Jednak jde o odpor vzduchu daný hustotou vzduchu, rychlostí vlaku, tvarem předku vlaku a jeho plochou. Kromě toho může uživatel aplikovat brzdy, které jsou u vlaků tlakové a mají specifické chování. Ovládání brzdových čelistí je zajišťováno vzduchovými tlakovými rozvody, které je svým tlakem drží otevřené. V případě standardního chování je zapínání brzd postupné a pouze v nouzovém režimu okamžité. Snížení tlaku v rozvodech (a tedy sevření čelistí brzd) může uživatel dosáhnout stisknutím klávesy Y a zvýšení stisknutím klávesy X. Pro simulaci jízdy celého vlaku jsem implementoval třídu Train, která na základě uvedených vlastností vypočítává aktuální rychlost vlaku.

Aktuální rychlost vlaku získáme tak, že nejprve spočítám maximální sílu, kterou motor může působit na vlak pomocí vzorce  $\text{maxForce} = \text{Power} / \text{Speed}$ , následně tuto sílu vynásobíme aktuálním podílem příkonu elektromotoru, čímž získáme sílu, která vlak zrychluje. Od ní však musíme odečíst sílu, kterou na vlak působí brzdy, což zjistíme vynásobením maximální brzdné síly a podílu aplikace brzdy (tedy nakolik jsou brzdy sevřené). Dále musíme odečíst sílu, kterou na vlak působí odpor vzduchu. Tu zjistíme vynásobením poloviny hodnoty hustoty vzduchu činitelem odporu, velikostí čelní plochy vlaku a druhou mocninou rychlosti vlaku. Po odečtení získáme celkovou sílu, která na vlak působí. Tu vydělíme hmotností vlaku, čímž získáme aktuální zrychlení. To poté vynásobíme změnou času, tudíž nakonec máme změnu rychlosti.

V reálném světě sice vlak může být tvořen pouze jediným vozem, ve většině případů tomu však tak není. Z toho důvodu jsem přidal do mého simulátoru možnost přidat do soupravy další vozy coby vagóny. Jelikož jsem neměl k dispozici modely žádných vagónů, využil jsem pro ukázkou této funkcionality

opět model EJ 471. Pohyb vagonu je velmi podobný jako u samotné lokomotivy. Opět je použita třída GearMover, která ovšem aktuální rychlosti pochopitelně musí převzít od třídy Train, jenž je pouze jediná pro celý vlak. Třída Train je naopak ovlivněna připojenými vagony, které zvyšují celkovou hmotnost celé soupravy.

Pohyb vnější kamery lze ovládat pomocí kláves W, S, A, D a natáčení se ovládá pohybem myši. Kamera se ale zároveň pohybuje spolu s vlakem.

## 4.2 Vnitřek vlaku

Ve scéně je možno přepnout mezi dvěma kamerami (stisknutím klávesy C). Jedna poskytuje vnější a druhá vnitřní pohled. Model vnitřní část vlaku se, spolu se svou vnitřní kamerou, ve skutečnosti nachází pod scénou. Model vlaku, který se reálně pohybuje po trati má svém čumáku kameru, která snímá dění před vlakem a výsledek se následně promítá na plátno před modelem vnitřní části vlaku a tím vytváří dojem jízdy. Tento způsob jsem zvolil z toho důvodu, že od kolegy Chaloupka jsem získal dva modely, přičemž jeden z nich představuje detailní model vnějšku vlaku se zjednodušenou kabinou a druhý naopak zjednodušený vnějškem vozu a detailní kabinou. Další mnou uvažovanou možností bylo pohybovat oběma modely po trati s tím, že pouze aktuálně potřebný by byl viditelný, ale toto jsem nakonec nepoužil, protože by to mohlo znesnadnit případné budoucí rozšíření simulátoru o možnost více hráčů. Poslední možností bylo spojit oba modely do jednoho. Toto jsem neuskutečnil z důvodu časové náročnosti, jelikož oba modely jsou poměrně detailní.

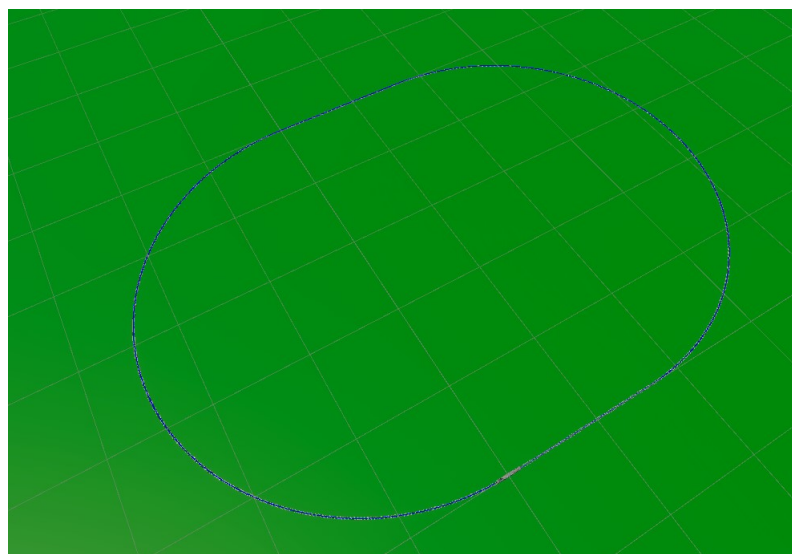
## 4.3 Jednoduchá trať

V souladu se zadáním jsem vytvořil scéna pro testování jízdních vlastností simulovaného vlaku. Základem je jednoduchá plochá zem, na které je vytvořena kolejová trať ve tvaru oválu 4.1. Při tvorbě tohoto oválu jsem využil již připravené modely rovných úseků trati i zatáček o poloměru 500 metrů. Tato trať neobsahuje žádné výhybky a zvýšení terénu a slouží tedy pouze k základnímu otestování jízdních vlastností vlaku, který je zde tvořen pouze jediným vozem.

Scéna byla koncipována jako základ pro ukázkou schopností simulátoru s tím, že bude možné místo tohoto základního oválu použít dynamicky generované prostředí, na kterém pracuje kolega Petr Nahodil.

## 4.4 Komplexní trať

Pro ukázkou pokročilejších prvků simulace jsem připravil další scénu v podobě komplexnější trati obsahující kromě základního oválu také výhybky a převýšení.



**Obrázek 4.1:** Oválná trať

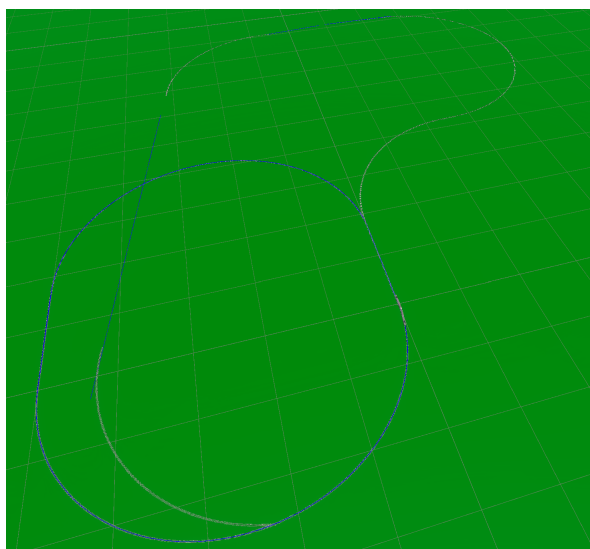
Podobně jako u jednoduché trati jsem využil základního stejného základu, tudíž jsem opět použil jednoduchou plochou zem, představující travinu, na které jsem vytvořil kolejovou trať ve tvaru oválu. Tentokrát má však trať hned na začátku odbočku, která umožňuje vlaku odbočit na vedlejší trať, která vede stáčí od původní trati, poté původní ovál křížuje ve výšce, čímž je ukázána možnost svažování trati. Zde se nachází určitý nedostatek mé scény - není zde připraven žádný most, který by dodával realističnosti, koleje jednoduše visí ve vzduchu, nicméně možnost převýšení trati je zde demonstrována. Následně se trať opět dostává na úroveň terénu a napojuje se na původní ovál.

Oproti jednoduché trati zde není v soupravě pouze jeden vůz, ale lokomotiva je doplněna i o jeden vagón. Teoreticky je možno přidat více vagónů, ale jelikož jsem neměl k dispozici model vagónu, tak by souprava o více vozech vypadal velmi nerealisticky.

## 4.5 Nástroj na tvorbu trati

Kromě předpřipravených tratí je možné vytvořit i vlastní trať. Toho je možno dosáhnou buď použitím základních modelů kolejí, které se poté napojí do výsledného celku, nebo lze využít mého nástroje na tvorbu tratí. Tento nástroj je přidán to Unity pod názvem "Railway Editor". Při zvolení možnosti "Create/Extend Railway Line" uživatel následně klikne do scény, čímž vytvoří první bod nové trati. Druhým kliknutím se přidá druhý bod, čímž vznikne první úsek nové trati, která je ve scéně reprezentována jednoduchou čarou. Pokud již nějaká trať ve scéně existuje, může uživatel kliknutím poblíž jejího konce aktivovat režim prodloužení trati, což způsobí, že nová trať nevznikne a namísto toho uživatel druhým kliknutím do scény přidá další bod k již existující trati, tak že tento nový bod navazuje na původní koncový. Pokud uživatel nechce žádné body přidávat, je možno vytváření zrušit kliknutím





**Obrázek 4.2:** Komplexní trať - doplnit lepší popisek

na tlačítko "Stop Railway Creation". Již přidané body lze rovněž v Unity posouvat, čímž může uživatel změnit tvar trati.

Po dokončení úprav nové křivky, je dalším krokem tvorba modelu kolejí pro příslušnou trať. Toho lze docílit přidáním dané trati do "Current Railway" a požadovaného základního modelu kolejnice do "Prefab to Add". Následně již stačí pouze kliknout na tlačítko "Add Prefab", čímž se vygeneruje model nové trati.

doplnit omezení trati



## Kapitola 5

### Výsledky a testování

Můj vlakový simulátor umožňuje jízdu soupravy EJ 471 po připravených tratích, ale také tvorbu tratí nových jednak ručním modelováním za pomoci předpřipravených základních tvarů kolejí, tak díky použití nástroje "Railway Editor".

Pohyb soupravy správně sleduje svou trať, a to tak, že kola se správně pohybují po kolejnicích a podvozky se otáčejí vzhledem ke tvaru sledované trati. Připojený vagón následuje lokomotivu a rovněž je ve spoji pohyblivý, tak aby se přizpůsobil případným zatáčkám. Samotný vlak se chová realisticky, kdy jeho reakce na požadované změny rychlosti uživatelem není, což je správně s ohledem k vlastní hmotnosti. Vysoká hybnost vlaku rovněž způsobuje jeho poměrně malou změnu rychlosti způsobenou vnějšími vlivy.

Samotný pohyb je plynulý a vzhledem k malému počtu objektů ve scéně a efektivnímu způsobu simulace pohybu vlaku, jsem nezaznamenal žádné výkonnostní problémy.

Nástroj na tvorbu kolejí "Railway Editor" vytváří korektní trati v podobě křivek složených z kontrolních bodů, ke kterým následně umožňuje přidat správně umístěné a orientované koleje. U této metody tvorby kolejí však existuje problém v podobě nekontrované podoby nových tratí, takže uživatel může vytvořit nerealistické trati s příliš ostrými zatáčkami, kterými vlak nemůže realisticky projet, což může způsobit nekorektní pohyb vlaku těmito úseky.

#### 5.1 Možný další rozvoj simulátoru

V následující části popisují návrhy, jak by bylo možné projekt dále rozvinout a vylepšit.

##### 5.1.1 Vnitřek vlaku

V projektu je implementována kamera uvnitř kabiny strojvůdce, ze které lze pozorovat pohyb vlaku. Zde by bylo vhodné implementovat pohyb/animace ovládacích prvků vlaku. Model interiéru má detailně vymodelované veškeré ovládací prvky, soustředit se je tedy potřeba na propojení hlavních ovládacích prvků s chováním vlaku. Zejména se jedná o ovládání tahu motoru a tlakování

brzd. Ovládací prvky by měly interaktivní, takže po kliknutí na zařízení myši dojde k jeho aktivaci.

Dále je potřeba propojit informace o aktuálním stavu vlaku, které jsou navázány na přístroje v kabině strojvůdce. V rámci poskytnutého modelu jsou již některé animace předpřipraveny, takže jejich použití by již mělo být poměrně snadné.

Již zmíněná kabinová kamera je v současnosti statická a ačkoliv je umístěná tak, aby byly všechny hlavní ovládací prvky vidět za současného výhledu z čelního okna vlaku, tak je ale žádoucí ji upravit tak, aby byl možný pohyb kamery po kabině tak, bylo možné si celý interiér prohlédnout.

### 5.1.2 Prostředí

Současné prostředí, ve kterém se vlak pohybuje je pouze zelená planina za slunečného počasí. Prostředí by bylo vhodné upravit tak, aby bylo možné nastavit různé denní doby. Implementovat změny počasí a jejich vliv na jízdní vlastnosti vlaku, tedy zejména změna odporových sil by bylo jistě zajímavé. Co se týče vylepšení vzhledu prostředí, tak zde by mělo být možné využít projektu kolegy Nahodila, který pracuje na dynamickém generátoru prostředí.

Se změnou denní doby souvisí i potřeba přidat vnitřní osvětlení interiéru kabiny, ale také přidání vnějších reflektorů. S tím samozřejmě souvisí i přidání dalších ovládacích prvků.

### 5.1.3 Pravidla

Dalším možným okruhem rozšíření simulace, je kromě hlídání maximální rychlosti i její snížení v různých úsecích a upozornění na případné nedodržení maximální povolené rychlosti. Jako další důležitou funkcionalitou, která by zvýšila úroveň realističnosti simulace jsou návěstidla, která budou vlaku udělovat povolení k pokračování v jízdě.

Neméně důležitou součástí železnice jsou rovněž nádraží, která vyžadují aplikování dalších pravidel jako je maximální povolená rychlost a možnost naložit náklad.

### 5.1.4 Více hráčů

V úvodní analýze jsem se zmínil o několika hrách, které rovněž nabízejí vyzkoušet si ovládání vlaku. U tohoto bodu bych však zejména zmínil Open Rails, které nabízejí hru pro více hráčů. Přidání tohoto prvku funkcionality by jistě vedlo ke zvýšení realističnosti, ale i zábavnosti mého projektu, zde by však bylo nutné přidat vícero úprav, aby to bylo možné. Určitou alternativou by mohlo být přidání vlaků řízených počítačem, které by oživovali jízdu po tratích.

### ■ 5.1.5 Nové trati

V současnosti jsou v mém simulátoru k dispozici pouze 2 trati, která však jsou spíše demonstrativní. Přidáním více realistické trati s různými krajinnými prvky a složitější topografií by jistě vedlo ke zvýšení uživatelského zážitku.





## Kapitola 6

### Závěr

V rámci tohoto projektu vznikla implementace vlakového simulátoru, která umožňuje jezdit s modelem vlaku EJ řady 471 po jednoduchém i komplexnějším okruhu. Okruhy jsou tvořeny kolejemi vytvořenými z kolejnic typu UIC 60 a pražců BV 08. Pohyb vlaku je realisticky simulován pomocí fyzikálního modelu. K dispozici jsou dva různé pohledy z exteriéru a interiéru.







## Literatura

- [1] Thorslund, B., Rosberg, T., Lindström, A., Peters, B. *User-centered development of a train driving simulator for education and training*. In 8th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis (ICROMA), Norrköping, Sweden, June 17th–20th, 2019. Linköping University Electronic Press.
- [2] Chaloupka Dominik. *Rozšiřující 3D model pro hru zabývající se hromadnou dopravou*. Bakalářská práce, ČVUT FEL, 2021.
- [3] Starý Tomáš . *Návrh simulačních scénářů systému ETCS pro školení strojvedoucích*. Diplomová práce, ČVUT FD, 2022.
- [4] Bednář Miroslav . *Předpjaté betonové pražce, tramvajové panely*. ŽPSV a.s., 2012.
- [5] Krajčovič Marián . *Železniční stavitelství*. VŠB-Technická univerzita Ostrava.
- [6] Djundik Pavel. SteamDB. Online. [2023]. Dostupné z: <https://steamdb.info>. [cit. 2024-01-01].
- [7] Dovetail Games. *Train Simulator Classic*. Online. C2023. Dostupné z: <https://train-simulator.com>. [cit. 2024-01-01].
- [8] Dovetail Games. *Train Sim World*. Online. [2023]. Dostupné z: <https://trainsimworld.com>. [cit. 2024-01-01].
- [9] Microsoft Corporation. *Microsoft Train Simulator*. Internet Archive Wayback Machine. C2004. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20040615003023/http://www.microsoft.com/games/trainsimulator/>. [cit. 2024-01-01].
- [10] *Open Rails*. Online. C2023. Dostupné z: <https://www.openrails.org>. [cit. 2024-01-01].
- [11] Zelený, Jan. *Mashinky*. Online. C2023. Dostupné z: <https://www.mashinky.com>. [cit. 2024-01-01].