

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

# Umelá inteligencia v dopravných systémoch

Semestrálna práca

Štúdijný program: Informatika

Štúdijný odbor: Aplikovaná Informatika

Predmet: Písanie dokumentov a správa verzií

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>5</b>
1.1 Historický kontext a vývoj . . . . .	5
1.2 Klúčové oblasti aplikácie AI v doprave . . . . .	5
1.2.1 Manažment dopravných aktív . . . . .	5
1.2.2 Dopravná bezpečnosť . . . . .	6
1.2.3 Dopravné operácie . . . . .	6
1.2.4 Autonómne vozidlá . . . . .	6
1.2.5 Digitálne dvojčatá . . . . .	6
1.2.6 Generatívna AI . . . . .	7
<b>2 Technologické aspekty AI v doprave</b>	<b>8</b>
2.1 Klúčové technologické modely . . . . .	8
2.1.1 Symbolická vs. dátovo-riadená AI . . . . .	8
2.1.2 Techniky strojového a hlbokého učenia . . . . .	8
2.2 Generatívna AI a veľké jazykové modely . . . . .	8
2.2.1 Architektúra Transformers a LLM . . . . .	8
2.2.2 GAN a difúzne modely . . . . .	9
2.3 Integrácia AI do subsystémov ITS . . . . .	9
2.3.1 Dialóg a uvažovanie . . . . .	9
2.3.2 Predikcia a rozhodovanie . . . . .	9
2.3.3 Multimodálna generácia . . . . .	9
2.4 Technologická infraštruktúra . . . . .	9
2.4.1 Senzory . . . . .	9
2.4.2 Edge a cloud computing . . . . .	10
2.4.3 Komunikačné technológie . . . . .	10
<b>3 Aplikácie AI v dopravných systémoch</b>	<b>11</b>
3.1 Cestná doprava . . . . .	11
3.1.1 Autonómne vozidlá . . . . .	11
3.1.2 Riadenie premávky . . . . .	11
3.2 Železničná doprava . . . . .	11
3.2.1 Automatizácia prevádzky vlakov (ATO) . . . . .	12
3.2.2 Európsky systém riadenia železničnej premávky (ERTMS) . . . . .	12
3.2.3 Prediktívna údržba . . . . .	12
3.3 Letecká doprava . . . . .	12
3.3.1 Riadenie letovej prevádzky (ATM) . . . . .	12
3.3.2 Letiskové operácie a bezpečnosť . . . . .	12
3.3.3 Výskumné projekty EÚ . . . . .	12

3.4	Námorná doprava, plavba a prístavy . . . . .	13
3.4.1	Autonómna plavba . . . . .	13
3.4.2	Inteligentné prístavy . . . . .	13
3.4.3	Optimalizácia prístavných operácií . . . . .	13
3.4.4	Výzvy v námornej doprave . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Výzvy a etické aspekty implementácie AI v doprave</b>	<b>14</b>
4.1	Technické a bezpečnostné výzvy . . . . .	14
4.2	Legislatívne a regulačné výzvy . . . . .	14
4.3	Etické problémy . . . . .	14
4.4	Sociálno-ekonomicke dopady . . . . .	15
4.5	Budúce smerovanie a riešenia . . . . .	15
<b>Záver</b>		<b>16</b>

# Zoznam obrázkov

1.1 Schéma digitálneho dvojčaťa mostu. Zobrazený je proces prepojenia fy- zického mostu s jeho virtuálnym modelom, vrátane monitorovania záťaže, identifikácie poškodenia, vyhodnocovania výkonu a systémov včasného va- rovania.(Zdroj:[7]) . . . . .	7
2.1 Ilustrácia senzorového systému autonómneho vozidla. Zobrazené sú typické senzory: dlhodosahový radar vpredu, dlhodosahový LiDAR vpredu, predná kamera, okolité kamery, 360° otočný LiDAR, bočné radary a LiDARy so širokým zorným poľom, ako aj riadiaca jednotka ADAS/AD. (Zdroj: ID- TechEx Research) . . . . .	10

# Abstrakt

Táto práca skúma integráciu umelej inteligencie (AI) do moderných dopravných systémov. Cieľom práce je analýza technologických aspektov, praktických aplikácií a výziev spojených s implementáciou AI v doprave. Práca vychádza z rozsiahleho výskumného reportu Wisconsinského ministerstva dopravy a ďalších akademických zdrojov.

Práca je štruktúrovaná do piatich hlavných kapitol. V úvode sú definované kľúčové oblasti pôsobenia AI v doprave: manažment, bezpečnosť, operácie, autonómne vozidlá, digitálne dvojčatá a generatívna AI. Technologická časť detailne kľúčové architektúry a modely, vrátane strojového a hlbokého učenia, transformer architektúry a veľkých jazykových modelov. Kapitola o aplikáciách poskytuje prehľad implementácií vo všetkých druhoch dopravy s konkrétnymi príkladmi z praxe.

Štvrtá kapitola venuje výzvam a etickým aspektom, analyzujúc problémy kvality dát, kybernetickej bezpečnosti, regulačného rámca, transparentnosti algoritmov a sociálno-ekonomickej dopadov. Záver sumarizuje hlavné zistenia a navrhuje smerovanie budúceho vývoja.

Hlavným prínosom práce je komplexný prehľad interdisciplinárnej problematiky AI v doprave, ktorý spája technické aspekty s etickými a regulačnými úvahami. Práca dokladuje, že AI má potenciál revolučne zmeniť dopravné systémy, no jej úspešná integrácia si vyžaduje vyvážený prístup k technologickému pokroku a riadeniu súvisiacich rizík.

**Kľúčové slová:** umelá inteligencia, inteligentné dopravné systémy, autonómna doprava, generatívna AI, etika umelnej inteligencie, dopravné technológie

# Kapitola 1

## Úvod

Umelá inteligencia (AI) sa v poslednom desaťročí stala jednou z najviac ovplyvňujúcich technológií 21. storočia, ktorá prináša revolúciu v mnohých priemyselných odvetviach vrátane dopravy. „Schopnosť AI analyzovať rozsiahle dátové súbory, rozpoznávať vzory, učiť sa z historických údajov a robiť prediktívne rozhodnutia otvára nové možnosti pre optimalizáciu dopravných systémov“ [6]. Integrácia AI do dopravy nie je len technologickou inováciou, ale nevyhnutnosťou pre riešenie dlhodobých výziev, ako sú dopravné preťaženia, bezpečnostné problémy a neefektívne využívanie infraštruktúry.

Dopravné systémy po celom svete sa potýkajú s rastúcou komplexitou, zvyšujúcim sa počtom vozidiel a meniacimi sa potrebami mobility. „Tradičné metódy manažmentu dopravných sietí, ako je manuálne monitorovanie premávky a údržba infraštruktúry, už nestačia na efektívne zvládanie týchto požiadaviek“ [6]. Práve v tomto kontexte ponúka AI nové možnosti na optimalizáciu dopravy prostredníctvom pokročilých algoritmov strojového učenia, spracovania obrazu a analýzy veľkých dát.

### 1.1 Historický kontext a vývoj

Využitie AI v doprave má svoje korene v jednoduchších algoritnoch na riadenie dopravy v 70. a 80. rokoch minulého storočia. S rozvojom výpočtového výkonu a dostupnosťou dát v 21. storočí však došlo k významnému zrýchleniu implementácie AI riešení. „Ministerstvo dopravy USA (USDOT) v spolupráci s Federálnou správou diaľnic (FHWA), Federálnou železničnou správou (FRA) a Federálnou leteckou správou (FAA) začalo aktívne pre-skúmať potenciál AI v dopravnom ekosystéme“ [6]. Tieto snahy svedčia o systémovom prístupe k integrácii AI do dopravnej infraštruktúry.

### 1.2 Kľúčové oblasti aplikácie AI v doprave

V súčasnosti sa výskum a implementácia AI v doprave sústredí na šesť hlavných domén, ktoré sú identifikované ako kľúčové pre transformáciu dopravných systémov:

#### 1.2.1 Manažment dopravných aktív

AI významne zlepšuje efektivitu monitorovania a údržby dopravnej infraštruktúry. „Aplikácie zahŕňajú automatizované vyhodnocovanie stavu vozoviek a mostov, prediktívnu

údržbu a optimalizáciu zdrojov” [6]. „Štúdie ukazujú, že AI techniky ako počítačové videenie a hlboké učenie môžu detektovať defekty ako trhliny alebo koróziu s vysokou presnosťou, čím sa znižuje potreba manuálnych inšpekcií a zvyšuje sa bezpečnosť” [6].

### **1.2.2 Dopravná bezpečnosť**

AI aplikácie v dopravnej bezpečnosti zahŕňajú systémy na predikciu nehôd, monitorovanie zraniteľných účastníkov premávky a hodnotenie nebezpečenstiev na cestách. „Techniky počítačového videnia a strojového učenia umožňujú spracovanie dát v reálnom čase a neustále zlepšovanie bezpečnostných systémov” [6]. „Hawaii Department of Transportation (HDOT) sa napríklad zapojil do Intersection Safety Challenge implementáciou systémov na báze AI pre detekciu zraniteľných účastníkov premávky a vylepšenie systémov včasného varovania” [6].

### **1.2.3 Dopravné operácie**

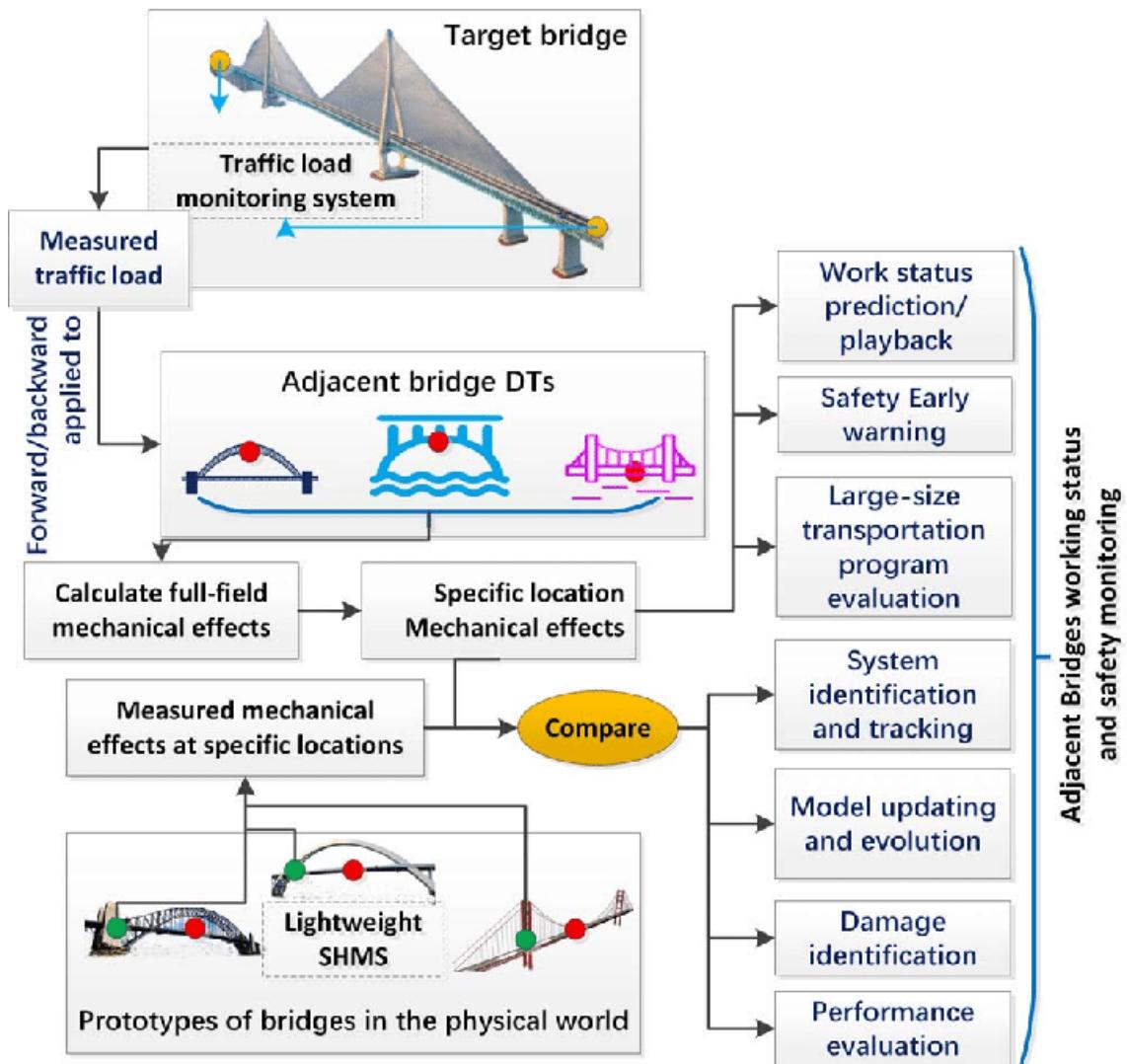
„AI optimalizuje dopravné operácie prostredníctvom aplikácií ako ramp metering, predikcia toku premávky, optimalizácia časovania semaforov a variabilné obmedzenia rýchlosťí” [6]. „Florida Department of Transportation (FDOT) implementoval nástroje na riadenie premávky využívajúce AI na optimalizáciu časovania semaforov pozdĺž mestských tepien s cieľom znížiť kongescie v špičke” [6].

### **1.2.4 Autonómne vozidlá**

Autonómne vozidlá predstavujú jednu z najtransformujúcejších aplikácií AI v doprave. „Illinois Department of Transportation (IDOT) spustil iniciatívu Äutonomous Illinois”, ktorá vytvára pilotné zóny pre testovanie autonómnych vozidiel v reálnom prostredí prostredníctvom spolupráce verejného a súkromného sektora a akademickej obce” [6].

### **1.2.5 Digitálne dvojčata**

„Digitálne dvojčata sú virtuálnymi replikami fyzických aktív alebo systémov, ktoré využívajú údaje v reálnom čase na simuláciu, analýzu a optimalizáciu operácií” [6]. Ako je znázornené na obrázku 1.1, táto technológia umožňuje vytvorenie komplexného prepojenia medzi fyzickou infraštruktúrou a jej digitálnym modelom.



Obr. 1.1: Schéma digitálneho dvojčaťa mostu. Zobrazený je proces prepojenia fyzického mostu s jeho virtuálnym modelom, vrátane monitorovania záťaže, identifikácie poškodenia, vyhodnocovania výkonu a systémov včasného varovania.(Zdroj:[7])

### 1.2.6 Generatívna AI

Generatívna AI nachádza uplatnenie v doprave najmä v autonómnej jazde, predikcií premávky a tvorbe realistických simulačných scenárov. „California Department of Transportation (Caltrans) testuje využitie generatívnej AI na sumarizáciu dokumentov a generovanie interných správ, čím zefektívňuje pracovné postupy a zlepšuje správu znalostí“ [6].

# Kapitola 2

## Technologické aspekty AI v doprave

Umelá inteligencia predstavuje komplexný ekosystém technológií, ktorých úspešná integrácia do dopravy vyžaduje pochopenie základných komponentov. Táto kapitola poskytuje prehľad kľúčových technológií poháňajúcich moderné inteligentné dopravné systémy (ITS), s dôrazom na generatívnu AI.

### 2.1 Kľúčové technologické modely

#### 2.1.1 Symbolická vs. dátovo-riadená AI

Historický vývoj AI sa delí na dva modely. „Symbolická AI, založená na manuálne vytvorených pravidlách, bola obmedzená v komplexných prostrediach ako doprava“ [10]. „Dátovo-riadená AI, využívajúca strojové učenie a analýzu veľkých dát, umožňuje objavovať vzory a robiť predikcie, čo z nej urobilo jadro moderných ITS“ [10].

#### 2.1.2 Techniky strojového a hlbokého učenia

Hlboké učenie, ako podmnožina strojového učenia, umožňuje spracovanie komplexných dát. „Konvolučné neurónové siete (CNN) sú nevyhnutné pre spracovanie obrazu z kamier, zatiaľ čo rekurentné siete (RNN) sú vhodné na analýzu časových radov pre predikciu dopravnej záťaže“ [12].

### 2.2 Generatívna AI a veľké jazykové modely

Generatívna AI prináša kvalitatívny skok tým, že dokáže generovať nový obsah namiesto len analýzy existujúcich dát.

#### 2.2.1 Architektúra Transformers a LLM

„Model Transformer (2017) revolucionalizoval spracovanie sekvenčných dát pomocou attention mechanizmu“ [13]. „Stal sa základom pre veľké jazykové modely (LLM) ako GPT-3, ktoré dokážu komplexne uvažovať a sú použiteľné na interpretáciu dopravných scenárov a analýzu nehôd“ [2, 12, 16].

## **2.2.2 GAN a difúzne modely**

„Generatívne adversariálne siete (GAN) vytvárajú realistické obrazy prostredníctvom súboja generátora a diskriminátora“ [3]. „Difúzne modely generujú obsah postupným odstraňovaním šumu, čo je ideálne pre tvorbu simulácií pre testovanie autonómnych vozidiel“ [4, 12].

## **2.3 Integrácia AI do subsystémov ITS**

„ITS pozostáva zo štyroch subsystémov: cestného, vozidlového, cestovateľského a riadiaceho“ [9, 1]. „AIGC sa do nich integruje cez tri oblasti: dialóg a uvažovanie, predikcia a rozhodovanie, a multimodálna generácia“ [12].

### **2.3.1 Dialóg a uvažovanie**

„LLM vylepšujú komunikáciu v ITS. Inteligentní virtuálni asistenti vo vozidlách poskytujú personalizované navigačné pokyny“ [12]. „Zatiaľ čo automatická analýza nehôd urýchľuje určovanie príčin a zodpovednosti“ [5, 17].

### **2.3.2 Predikcia a rozhodovanie**

„AI modely optimalizujú časovanie semaforov a dynamické smerovanie premávky“ [11]. „Pokročilé modely ako ST-LLM predpovedajú dopyt po prepravných prostriedkoch s vysokou presnosťou“ [8].

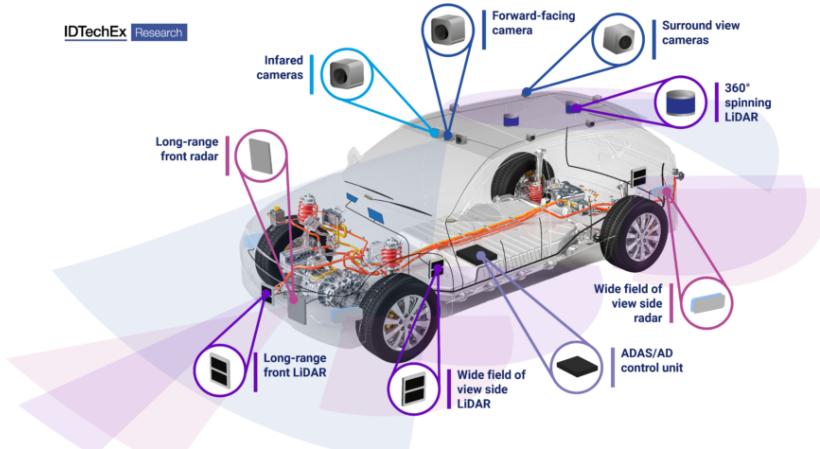
### **2.3.3 Multimodálna generácia**

„AIGC generuje fotorealistické scenáre pre testovanie autonómnych vozidiel, čím zvyšuje bezpečnosť a efektivitu testovania“ [15, 14]. „Kombinácia s digitálnymi dvojčatami umožňuje simulovať vplyv dopravných opatrení“ [14].

## **2.4 Technologická infraštruktúra**

### **2.4.1 Senzory**

„Dopravné systémy sú nasýtené senzormi (kamery, radary, GPS), ktoré tvoria internet vecí a produkujú dáta pre AI analýzy“ [10]. Typickú konfiguráciu takýchto senzorov v autonómnom vozidle ilustruje obrázok 2.1.



Obr. 2.1: Ilustrácia senzorového systému autonómneho vozidla. Zobrazené sú typické senzory: dlhodosahový radar vpredu, dlhodosahový LiDAR vpredu, predná kamera, okolité kamery, 360° otočný LiDAR, bočné radary a LiDARy so širokým zorným poľom, ako aj riadiaca jednotka ADAS/AD. (Zdroj: IDTechEx Research)

#### Vysvetlenie jednotlivých komponentov:

- **Radar:** Vhodný na meranie rýchlosťi a vzdialenosťi, funguje za akéhokoľvek počasia
- **LiDAR:** Poskytuje presné 3D mapovanie prostredia, citlivý na poveternostné podmienky
- **Kamery:** Rozpoznávajú farby, texty a detaily, vyžadujú dobré osvetlenie
- **ADAS/AD jednotka:** Spája dátu zo všetkých senzorov a rozhoduje o ďalšej trase

#### 2.4.2 Edge a cloud computing

„Edge computing umožňuje okamžitú analýzu priamo v zariadení, zatiaľ čo cloud computing poskytuje výkon pre trénovanie veľkých AI modelov“ [12].

#### 2.4.3 Komunikačné technológie

„Komunikácia vozidlo so všetkým (V2X) a 5G siete sú nevyhnutné pre prenos dát v reálnom čase pre kooperatívne autonómne vozidlá“ [10].

# Kapitola 3

## Aplikácie AI v dopravných systémoch

Umelá inteligencia nachádza praktické využitie vo všetkých druhoch dopravy, pričom každý systém má svoje špecifické výzvy. Táto kapitola analyzuje kľúčové aplikácie AI v cestnej, železničnej, leteckej a námornej doprave, s dôrazom na reálne implementácie a ich vplyv.

### 3.1 Cestná doprava

V cestnej doprave sa AI aplikuje najviditeľnejšie. „Cestná doprava je jedným z odvetví, kde sa AI najúspešnejšie uplatňuje, otvárajúc úplne novú úroveň spolupráce medzi rôznymi účastníkmi premávky“ [10].

#### 3.1.1 Autonómne vozidlá

Vývoj autonómnych vozidiel je jednou z najprelomovejších aplikácií AI. „Autonómne vozidlá sú založené na rôznych senzoroch, ako sú GPS, kamery a radary, v kombinácii s aktuátormi, riadiacimi jednotkami a softvérom“ [10]. Typickú konfiguráciu takýchto senzorov ilustruje obrázok 2.1 v kapitole 2. Niektoré technológie preberajú iba určité funkcie vodiča (ako parkovanie), zatiaľ čo iné sú určené na úplné nahradenie vodiča [10].

#### 3.1.2 Riadenie premávky

„AI technológie sa tiež uplatňujú pri riadení cestnej premávky, pomáhajúc analyzovať vzory premávky, jej objem a ďalšie faktory“ [10]. Tieto systémy poskytujú vodičom informácie o najrýchlejšej trase, čím zmierňujú dopravné zápchy. „AI technológie tiež pomáhajú udržiavať plynulosť premávky prostredníctvom dopravných signálov a semaforov, ktoré sa v reálnom čase prispôsobujú aktuálnym dopravným podmienkam“ [10].

### 3.2 Železničná doprava

Železničná doprava využíva AI predovšetkým na automatizáciu, údržbu a bezpečnosť. „AI môže zlepšiť výrobu, prevádzku a údržbu pre železničných operátorov a manažérov infraštruktúry“ [10].

### **3.2.1 Automatizácia prevádzky vlakov (ATO)**

„Jedným z najvýrečnejších príkladov využitia AI v železničnej technike je jej prínos k automatizácii prevádzky vlakov“ [10]. Medzinárodná elektrotechnická komisia stanovila štyri štandardné stupne automatizácie vlakov, pričom tretí stupeň zodpovedá bezvodičovej prevádzke a štvrtý autonómnej a neobsluhovanej prevádzke vlakov [10].

### **3.2.2 Európsky systém riadenia železničnej premávky (ERTMS)**

„V EU je prvým kľúčovým krokom k zavedeniu ATO a riešení AI v železničnej doprave nasadenie európskeho systému riadenia železničnej premávky“ [10]. Okrem zabezpečenia technickej kompatibility medzi národnými železničnými systémami môže ERTMS v kombinácii s ATO znížiť náklady železničných operátorov a spotrebú energie, ako aj zvýšiť rýchlosť, dochvíľnosť, bezpečnosť a kapacitu tratí [10].

### **3.2.3 Prediktívna údržba**

„Pre železničných operátorov a manažérov infraštruktúry je schopnosť predvídať možné poruchy predtým, ako k nim dôjde, veľmi cenná“ [10]. „Dnes môže AI využiť silu údajov poskytovaných senzormi umiestnenými na kritických komponentoch vlakov alebo infraštruktúry na extrahovanie informácií v správnom čase a odporúčanie opatrení na údržbu“ [10].

## **3.3 Letecká doprava**

Letecký priemysel využíva AI už desaťročia, no vstupujeme do novej éry s pokročilými možnosťami. „Použitie AI v prevádzke leteckej dopravy je ešte v počiatkoch“ [10].

### **3.3.1 Riadenie letovej prevádzky (ATM)**

„Pokroky v automatizácii a výpočtovej sile, využívajúce technológie spojené s strojovým učením a modelmi analýzy údajov, sa používajú na zlepšenie riadenia rastúcich objektov leteckej dopravy“ [10]. Vývoj systémov bezpilotných leteckých systémov a systémov riadenia premávky bezpilotných systémov pomocou vylepšených výpočtových schopností vytvorí nové príležitosti na zlepšenie existujúcich systémov riadenia premávky, noriem odstupu a návrhu priestoru [10].

### **3.3.2 Letiskové operácie a bezpečnosť**

„AI môže uľahčiť prechod k bezproblémovej bezpečnosti letísk, pretože je schopná spracovať veľké množstvo údajov, a to historických aj v reálnom čase, a detegovať anomálie“ [10]. Použitie AI a veľkých dát sa pre letiská stáva čoraz dôležitejšie a používa sa na lepšiu analýzu dopytu na trhu, zlepšenie bezpečnostnej kontroly a prispôsobenie skúsenosti cestujúcich [10].

### **3.3.3 Výskumné projekty EÚ**

„Spoločný podnik SESAR podporil množstvo výskumných projektov týkajúcich sa AI a riadenia leteckej dopravy“ [10]. Projekt INTUIT skúmal potenciál strojového učenia a

vizuálnej analytiky, zatiaľ čo projekt COPTRA sa zameral na predpovedanie trajektórií bližšie ku štartu alebo počas letu [10].

## 3.4 Námorná doprava, plavba a prístavy

Vodná doprava prechádza významnou digitálnou transformáciou s AI. „V priebehu posledných dvadsiatich rokov prešli námorná a vnútrozemská vodná doprava dôležitým vývojom” [10].

### 3.4.1 Autonómna plavba

„Hoci medzera medzi súčasnou situáciou a plne autonómnymi loďami je veľká, výskum a pilotné projekty autonómnej plavby pokračujú” [10]. Projekt MUNIN financovaný EÚ vyvinul a otestoval koncept autonómnej obchodnej lode, ktorou primárne riadia automatizované palubné rozhodovacie systémy, ale kontroluje ju vzdialený operátor na pevnine [10]. „Existuje tiež potenciál pre použitie autonómnych lodí v pobrežnej plavbe a na vnútrozemských vodných cestách” [10].

### 3.4.2 Inteligentné prístavy

„Použitie pokročilých digitálnych technológií v celom prostredí prístavu je známe ako koncept „inteligentného” alebo „smart” prístavu” [10]. „Medzi prístavy považované za najpokročilejšie v premenení na inteligentný prístav patria Singapore, Rotterdam, Tianjin a Dubaj” [10].

### 3.4.3 Optimalizácia prístavných operácií

„AI je len jednou z niekoľkých kľúčových technológií používaných v inteligentnom prístave” [10]. „V prístavných prevádzkových systémoch sa používa napríklad na plánovanie vybavenia prístavu (na optimalizáciu použitia žeriavov a vozidiel) a plánovanie dostupnosti kotvišť” [10]. „Prístav Rotterdam aplikuje AI na údaje na určenie odhadovaného času príchodu a odchodu lode, čo pomohlo znížiť čakaciu dobu pre plavidlá v prístave o 20%” [10].

### 3.4.4 Výzvy v námornej doprave

„Pre akékoľvek použitie AI sú zber, kvalita, konzistentnosť a objem dostupných údajov prvoradé” [10]. „Niektoré problémy s kvalitou a množstvom údajov vznikajú pri údajoch o výkone a navigácii lodí zhromažďovaných senzormi a systémami na získavanie údajov” [10]. „Údaje môžu byť chybné kvôli poruchám senzorov alebo ľudskej intervencii” [10].

# Kapitola 4

## Výzvy a etické aspekty implementácie AI v doprave

Integrácia umelej inteligencie do dopravy prináša okrem príležitostí aj zložité výzvy. Táto kapitola analyzuje problémy technického a etického charakteru.

### 4.1 Technické a bezpečnostné výzvy

Kvalita dát je základným predpokladom úspechu AI systémov. „Pre akékoľvek použitie AI sú zber, kvalita, konzistentnosť a objem dostupných údajov prvoradé“ [10]. V praxi sa často stretávame s neúplnými alebo nekonzistentnými dátami z rôznych zdrojov.

Kybernetická bezpečnosť predstavuje kritickú oblasť. „AI aplikácie v doprave vyvolávajú obavy týkajúce sa kybernetickej bezpečnosti, najmä v kontexte autonómnych vozidiel a systémov riadenia dopravy“ [10]. Úspešný útok môže mať katastrofálne následky.

Výskum generatívnej AI identifikuje ďalšie riziká. „AIGC je náchylné k problému „hallucinácií“, kde generovaný obsah nemusí zodpovedať skutočnosti“ [12]. V dopravnom prostredí môže nepresná detekcia alebo chybné rozhodovanie viesť k nehodám.

### 4.2 Legislatívne a regulačné výzvy

Určenie zodpovednosti pri nehodách autonómnych systémov je komplexnou otázkou. „V prípade nehody je ďalšou výzvou, ktorú je potrebné riešiť, zodpovednosť“ [10]. Súčasné pravidlá predokladajú ľudského vodiča, čo sa mení s autonómnymi systémami.

EÚ aktívne pracuje na prispôsobení regulačného rámca. „V decembri 2018 Komisia zverejnila návrh etických smerníc AI a posudzuje, či sú národné a európske bezpečnostné a zodpovednostné rámce vhodné“ [10]. Harmónia medzinárodných predpisov je kľúčová pre globálnu implementáciu.

### 4.3 Etické problémy

Trolley problém v autonómnych vozidlach rozdeľuje odbornú verejnosť. „Keď čelia situáciám život verus život, otázka, ako by sa mal rozhodovať algoritmus AI v plne automatizovanom vozidle, rozdeľuje názory“ [10]. Etické nastavenie algoritmov vyžaduje širokú diskusiu.

Transparentnosť rozhodovania je základom dôvery. „Princíp transparentnosti by mal byť dodržaný tým, že by malo byť vždy možné poskytnúť zdôvodnenie akéhokoľvek rozhodnutia prijatého s pomocou AI“ [10]. Problém „čiernej skrinky“ komplikuje pochopenie rozhodovacích procesov.

Generatívna AI prináša nové etické výzvy. „Aplikácia AIGC vyvoláva právne a etické obavy... modely nemusia plne dodržiavať existujúce predpisy a potenciálne zraniteľnosť alebo nepresné odpovede môžu viest k nehodám“ [12]. Ochrana duševného vlastníctva a ochrana súkromia sú ďalšie problémy.

## 4.4 Sociálno-ekonomicke dopady

AI mení štruktúru pracovného trhu v dopravnom sektore. „Predpokladá sa, že AI prispeje k vytvoreniu nových pracovných miest, zániku iných a zmene väčšiny“ [10]. Zatiaľ čo niektoré pozície môžu zaniknúť, vznikajú nové role vyžadujúce špecifické zručnosti.

Prijatie technológií verejnosťou je kľúčové pre ich úspech. „Nedávny prieskum Eurobarometer o autonómnych systémoch ukázal, že respondenti sú pohodlnejší s autonómnymi vozidlami prepravujúcimi tovar ako s cestovaním v takom vozidle sami“ [10]. Dôvera verejnosti sa buduje pomaly a vyžaduje transparentnosť.

Generatívna AI prináša výzvy v oblasti ľudsko-strojovej spolupráce. „S rozvojom AIGC sú tradičné pracovné trhy výrazne narušené... úlohy ľudí sa už neobmedzujú na vykonávanie opakujúcich sa úloh, ale teraz vyžadujú schopnosť efektívne spolupracovať s novými technológiami“ [12]. Táto transformácia si vyžaduje aktívne prispôsobenie vzdelávacích systémov.

## 4.5 Budúce smerovanie a riešenia

Medzinárodná spolupráca a štandardizácia sú nevyhnutné. „Európsky parlament vyzval na vytvorenie európskej agentúry pre robotiku a AI a požiadal Komisiu, aby predložila návrh legislatívneho nástroja o právnych otázkach súvisiacich s vývojom a používaním robotiky a AI“ [10]. Koordinovaný prístup znižuje fragmentáciu.

Vzdelávanie a rekvalifikácia sú kľúčové pre prispôsobenie sa zmene. „Títo vodiči budú potrebovať rekvalifikáciu, aby si našli inú prácu“ [10]. Transformácia pracovného trhu si vyžaduje aktívne opatrenia v oblasti vzdelávania a odbornej prípravy.

Budúci výskum by sa mal sústrediť na komplexné riešenia. „Existujúci výskum sa väčšinou zameriava na špecifické subsystémy a technológie... budúci výskum by sa mal zamerať na vývoj univerzálneho veľkého modelu, ktorý integruje tieto tri AIGC technológie a koordinuje štyri subsystémy ITS“ [12].

# Záver

Integrácia AI do dopravy predstavuje proces s možnosťami pre efektivitu, bezpečnosť a udržateľnosť, ale aj s výraznými výzvami. Táto práca poskytla prehľad stavu, technológií a aplikácií AI vo všetkých dopravných odvetviach.

Hlavný prínos AI spočíva v schopnosti spracovať veľké objemy dát v reálnom čase, čo umožňuje:

- **Optimalizáciu prevádzky** adaptívnym riadením premávky a inteligentným plánovaním
- **Zvýšenie bezpečnosti** systémami na predikciu nehôd a podporu autonómnych systémov
- **Zlepšenie komfortu** personalizovanými službami a znížením zápcch

Napriek potenciálu existujú kritické bariéry:

1. **Technologické:** Spoľahlivosť systémov, kvalita dát a kybernetická bezpečnosť
2. **Regulačné:** Chýbajúci legislatívny rámec pre autonómne systémy a problematika zodpovednosti
3. **Etické:** Ochrana súkromia, „problém čiernej skrinky“ a dôvera verejnosti

Budúci vývoj by sa mal zamierať na adaptívne AI modely, medzinárodnú spoluprácu pri tvorbe noriem, vzdelávanie pracovnej sily a výskum pokročilých technológií ako LLM.

AI už nie je víziou, ale reálnym nástrojom, ktorý mení dopravu. Úspešná integrácia si vyžaduje komplexný prístup zohľadňujúci technické, etické a sociálne aspekty.

# Zoznam referencií

- [1] Murad Alams, Joaquim Ferreira a José Fonseca. „Introduction to Intelligent Transportation Systems“. In: *Intelligent Transportation Systems: Dependable Vehicular Communications for Improved Road Safety* (2016), s. 1–17.
- [2] Tom B. Brown et al. „Language Models are Few-Shot Learners“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 33 (2020), s. 1877–1901.
- [3] Ian J. Goodfellow et al. „Generative Adversarial Nets“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 27 (2014), s. 2672–2680.
- [4] Jonathan Ho, Ajay Jain a Pieter Abbeel. „Denoising Diffusion Probabilistic Models“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 33 (2020), s. 6840–6851.
- [5] Jun Chen, Shuai Lu a Li Zhong. „An autonomous intelligent liability determination method for minor accidents based on collision detection and large language models“. In: *Applied Sciences* 14.17 (2024), s. 7716.
- [6] Sikai Chen et al. *Artificial Intelligence in Transportation*. Final Report 0092-24-14. WisDOT Research & Library Unit. University of Wisconsin-Madison a University of Wisconsin-Milwaukee, 2025.
- [7] J.-S. Kang, K. Chung a E. J. Hong. „Multimedia knowledge-based bridge health monitoring using digital twin“. In: *Multimedia Tools and Applications* 80.26–27 (2021), s. 34609–34624. DOI: [10.1007/s11042-021-10649-x](https://doi.org/10.1007/s11042-021-10649-x).
- [8] Chenxi Liu et al. „Spatial-temporal large language model for traffic prediction“. In: *arXiv preprint arXiv:2401.10134* (2024).
- [9] Rodolfo I. Meneguette, Robson E. De Grande a Antonio A. F. Loureiro. „Intelligent Transportation Systems“. In: *Intelligent Transport System in Smart Cities: Aspects and Challenges of Vehicular Networks and Cloud* (2018), s. 1–21.
- [10] Maria Niestadt et al. *Artificial intelligence in transport: Current and future developments, opportunities and challenges*. Briefing PE 635.609. European Parliamentary Research Service (EPRS), 2019.
- [11] Andrea Pompigna a Raffaele Mauro. „Smartroads: A state of the art of highways innovations in the Smart Age“. In: *Engineering Science and Technology, an International Journal* 25 (2022), s. 100986.
- [12] Rui Rong et al. „Generative artificial intelligence in intelligent transportation systems: A systematic review of applications“. In: *Frontiers of Engineering Management* 12.4 (2025), s. 1020–1036. DOI: [10.1007/s42524-025-4241-9](https://doi.org/10.1007/s42524-025-4241-9).
- [13] Ashish Vaswani et al. „Attention is All You Need“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 30 (2017), s. 5998–6008.

- [14] Xin Wang et al. „Parallel driving with big models and foundation intelligence in cyber-physical-social spaces“. In: *Research* 7 (2024), s. 0349.
- [15] Hao Xu et al. „Leveraging generative AI for urban digital twins: a scoping review on the autonomous generation of urban data, scenarios, designs, and 3D city models for smart city advancement“. In: *Urban Informatics* 3.1 (2024), s. 29.
- [16] Ou Zheng et al. „ChatGPT is on the horizon: Could a large language model be all we need for intelligent transportation?“ In: *arXiv preprint arXiv:2303.05382* (2023).
- [17] Xin Zhou a Alois C. Knoll. „GPT-4V as traffic assistant: An in-depth look at vision language model on complex traffic events“. In: *arXiv preprint arXiv:2402.02205* (2024).

## Upozornenie o používaní AI

V tejto práci boli vygenerované úvod, abstrakt a záverečná časť s pomocou veľkého jazykového modelu DeepSeek. Obsahová štruktúra, citácie a analytická časť práce (kapitoly 2-4) sú výsledkom vlastnej práce autora a analýzy zdrojov.