



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Malvína Benešová

**NÁVRH INFORMAČNÍHO SYSTÉMU PRO**  
**OPTIMALIZACI PROVOZU A ÚDRŽBY V TUNELU**

**Diplomová práce**

**2024**



**K620..... Ústav dopravní telematiky**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Malvína Benešová**

Studijní program (obor/specializace) studenta:

**navazující magisterský – IS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **NÁVRH INFORMAČNÍHO SYSTÉMU PRO  
OPTIMALIZACI PROVOZU A ÚDRŽBY V TUNELU**

Název tématu (anglicky): DESIGN OF AN INFORMATION SYSTEM FOR OPTIMIZING  
OPERATION AND MAINTENCE IN TUNNEL

### **Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- Analýza současného stavu informačních systémů pro poruchy, provoz a správu tunelů
- Analýza možných dostupných dat a poruch technologické a stavební části tunelu
- Návrh architektury informačního systému pro správu a provoz tunelu
- Doporučení vhodných metod pro spolehlivý sběr dat a diagnostiku stavu technologické a stavební části tunelu
- Návrh soupisu potřebných dat na vybraných technologiích a popis rozhraní zajišťující správnou komunikaci a přenos dat do/z navrhovaného IS a využitelného pro BIM
- Procesní návrh toku dat včetně databáze a zobrazení potřebných výstupů pro provoz a správu tunelu využitelnou v praxi

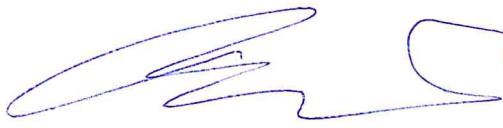




- Rozsah grafických prací: dle požadavků vedoucích diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Příbyl P., Janota A, Spalek J.: Analýza a řízení rizik v dopravě, Tunely na pozemních komunikacích a železnicích, BEN Praha 2008, ISBN 978-80-7300-2140-0  
TP 98 - Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací, MDČR 2010  
TP154 - Provoz, správa a údržba tunelu PK, MDČR 2009

Vedoucí diplomové práce: **Radomír Zelenka**  
**doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA**


Datum zadání diplomové práce: **22. června 2022**  
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **15. května 2024**  
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia  
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

  
.....  
**Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.**  
vedoucí  
Ústavu dopravní telematiky

  
  
.....  
**prof. Ing. Ondřej Příbyl, Ph.D.**  
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

  
.....  
**Bc. Malvína Benešová**  
jméno a podpis studenta

V Praze dne ..... 1. prosince 2023

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala svým vedoucím diplomové práce – panu doc. Ing. Tomášovi Tichému, Ph.D., MBA a panu Radomírovi Zelenkovi za jejich odborné vedení, podnětné rady a trpělivost v průběhu vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat firmě Metrostav a.s., SPEL, a.s. a ŘSD SP za podporu řešené práce a poskytnutí potřebných podkladů, a zejména pak jmenovitě mým kolegům ze střediska údržby a provozu tunelů ve firmě MTS TBR, a.s.: Ing. Branislavu Goldbergerovi, Petru Dolejšimu, Ing. Veronice Vernerové a Renatě Truxové za jejich podporu, za poskytnutí odborných znalostí z praxe a jejich trpělivost při tvorbě práce.

Poděkování patří také všem účastníkům projektu CK04000109 Prediktivní diagnostika technologických zařízení ITS s využitím přístupů AI, kteří mi poskytli kvalitní podklady k diplomové práci.

V neposlední řadě bych chtěla poděkovat svojí rodině, svým nejbližším a svým přátelům za to, že ve mě věřili a byli se mnou trpěliví i v těch těžkých chvílích.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto písemnou studii diplomové práce vypracovala samostatně, pouze za odborného vedení vedoucích práce doc. Ing. Tomáše Tichého, Ph.D., MBA a pana Radomíra Zelenky. Dále prohlašuji, že veškeré podklady a zdroje, ze kterých jsem čerpala, jsou uvedeny v seznamu použité literatury v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 21/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

podpis .....

Bc. Malvína Benešová

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

## FAKULTA DOPRAVNÍ

### NÁVRH INFORMAČNÍHO SYSTÉMU PRO OPTIMALIZACI PROVOZU A ÚDRŽBY V TUNELU

Diplomová práce

Květen 2024

Bc. Malvína Benešová

**Abstrakt** Diplomová práce „Návrh informačního systému pro optimalizaci provozu a údržby v tunelu,“ se zabývá analýzou současného stavu informačních systémů v tunelech. Byla zanalyzována aktuálně měřená data a navržen postup tvorby informačního systému, který pomůže s optimalizací provozu a údržby a umožní predikovat poruchy a snížit náklady na provoz a údržbu tunelu.

**Abstract** The thesis „Design of an information system for optimizing operation and maintenance in tunnel,“ contains an analysis of the current state of informational systems in tunnels. The currently measured data has been analyzed and an informational system creation process designed to help optimise operation and maintenance and to predict breakdowns and reduce tunnel operation and maintenance costs.

**Klíčová slova:** tunel, informační systém, analýza dat, architektura systému, databáze, bezpečnost, řídicí systémy, sběr dat, BIM, procesní návrhy, provoz tunelu, údržba tunelu

**Key words:** tunnel, information system, data analysis, system architecture, database, security, control systems, data collecting, BIM, tunnel operation, tunnel maintenance

## Obsah

Seznam použitých zkratk.....	10
ÚVOD.....	13
1 TUNELY .....	14
1.1 Analýza vybrané lokality .....	14
1.2 Technické podmínky .....	17
1.2.1 Dokumentace tunelu.....	18
1.2.2 Informační model tunelu .....	19
1.2.3 Správa, provoz a údržba tunelu.....	20
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ PRO SPRÁVU A ÚDRŽBU .....	22
2.1 Informační systémy .....	22
2.2 Životní cyklus Informačního systému.....	23
2.3 Vybrané metodiky tvorby IS.....	25
2.3.1 Vodopádový model.....	25
2.3.2 Spirálový model.....	26
2.3.3 Rational Unified Proces .....	27
2.4 Architektura informačních systémů.....	28
2.4.1 Třívrstvá architektura.....	28
2.4.2 Service Oriented Architecture.....	29
2.4.3 Model Driven Architecture .....	29
2.4.4 Architektura IS podle úrovně řízení.....	31
2.5 Databáze.....	33
2.5.1 Základní typy .....	33
2.5.2 Databázový jazyk .....	33
2.5.3 Bezpečnost dat.....	34
2.5.4 Transakční zpracování .....	35
2.5.5 Indexování a optimalizace dotazů.....	36
2.5.6 Datové modelování.....	36
2.6 Bezpečnost informačních systémů .....	38
2.6.1 Analýza rizik .....	39
2.7 Řídicí systémy v tunelu.....	40
2.7.1 Řídicí systémy společnosti SPEL, a.s.....	42
2.8 Shrnutí kapitoly.....	46
3 ANALÝZA DAT .....	47
3.1 Možné metody zpracování dat.....	47

3.1.1 Bayesovské sítě .....	47
3.3.2 Fuzzy modelování .....	48
3.3.3 Black-box metoda.....	49
3.2 Sběr dat a procesní návrhy.....	50
3.3 Komunikace a přenos dat.....	52
3.4 Realizace systému .....	53
3.5 Zkušební provoz systému.....	55
3.6 Vyhodnocení systému .....	56
3.7 Vyladění systému .....	56
3.8 Provoz a údržba systému .....	57
3.9 Ukončení systému.....	57
3.10 Využitelnost v BIM.....	58
3.11 Shrnutí.....	60
4 ZPRACOVÁNÍ DAT .....	61
4.1 Jazyk R a RStudio.....	61
4.2 Alarmy.....	62
4.3 Energetika .....	66
4.4 Fyzikální veličiny .....	68
4.5 Scénáře.....	72
4.6 Ostatní data a aktuální práce s daty .....	78
4.7 Vizualizace systému SPEL.....	80
4.8 Bayesovské sítě a alarmy.....	84
4.8.1 Inference .....	86
4.8.2 Závěr z Bayesovských sítí .....	91
4.9 Shrnutí kapitoly.....	92
5 NÁVRH INFORMAČNÍHO SYSTÉMU PRO SPRÁVCE .....	93
5.1 Návrh a cíle .....	95
5.1.1 Správce tunelu .....	95
5.1.2 Servisní organizace .....	95
5.1.3 Správce IS.....	95
5.2 Plán a příprava .....	96
5.2.1 Architektura .....	96
5.2.2 Data a doporučení.....	100
5.2.3 Databáze a vizualizace.....	107
5.3 Shrnutí kapitoly.....	109
6 CELKOVÉ SHRNUÍ A DOPORUČENÍ .....	110



ZÁVĚR.....	112
Seznam obrázků .....	113
Zdroje.....	115

## Seznam použitých zkratek

ACID	Atomicity, Consistency, Isolation, Durability (atomicita, konzistence, izolovanost, trvalost)
AI	Artificial Intelligence (umělá inteligence)
AS	Analyzátor Sítě
ASD	Automatický Sčítač Dopravy
ATS	Automatická Tlaková Stanice
BIM	Building Information Modelling (informační model budovy)
CCTV	Closed Circuit TeleVision (uzavřené televizní okruhy)
CIM	Computation Independant Model
DA	Dieselagregát
DCS	Distributed Control System (distribuovaný řídicí systém)
ECM	Enterprise Content Management (správa podnikového obsahu)
EDI	Electronic Data Interchange (elektronická výměna dat)
EPS	Elektrická Požární Signalizace
ETL	Extraction, Transformation, Loading (extrakce, transformace a nahrán)
EIS	Executive Information System (informační systémy pro podporu řízení)
EZS	Elektrická Zabezpečovací Signalizace
FM	Facility management
GNU	General Public License (obecná veřejná licence)
HMI	Human Machine Interaction (Interakce člověk-počítač)
HW	Hardware
IoT	Internet of Things (internet věcí)
IS	Informační Systém
IZS	Integrovaný Zásahový Systém

LJP	Levý Jízdní Pruh
LTT	Levá Tunelová Trouba
MDA	Model Driven Architecture (modelem řízená architektura)
MIS	Management Information System (Manažerský informační systém)
NDIC	Národní Dopravní Informační Centrum
OIS	Office Information System
OLTP	Online Transaction Processing (online zpracování transakcí)
OMG	Object Management Group (konsorcium pro standardy počítačového průmyslu)
PDZ	Proměnné Dopravní Značení
PIM	Provozní Informační Model
PLC	Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)
PK	Pozemní komunikace
PSM	Platform Specific Model
PTO	Provozně Technický Objekt
PTT	Pravá Tunelová Trouba
RUP	Rational Unified Proces (Racionální Jednotný Proces)
ŘJ	Řídicí Jednotka
ŘS	Řídicí systém
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (dispečerské řízení a sběr dat)
SOA	Service Oriented Architecture (architektura orientovaná na služby)
SP	Státní Podnik
SQL	Structured Query Language (strukturovaný dotazovací jazyk)
SSÚD	Středisko Správy a Údržby Dálnice
SW	Software
TP	Technická Podmínka

TPS	Transaction Information System (transakčně procesní systém)
TT	Tunelová Trouba
UML	Unified Modelling Language (grafický jazyk)
UPS	Uninterruptable Power Supply (záložní napájecí zdroje zajišťují nepřerušování toku elektrického proudu)
VPN	Virtual Private Network (virtuální privátní síť)
VZT	Vzduchotechnika
ZPI	Telematická zařízení zobrazují informace o aktuální dopravní situaci

# ÚVOD

Tato diplomová práce se bude zabývat návrhem informačního systému určeného pro tunelové stavby pro možnost optimalizace provozu a údržby tunelů. Práce volně navazuje na mou bakalářskou práci, ve které jsem řešila právě možnosti uplatnění prediktivní diagnostiky v tunelech. Z bakalářské práce vyšlo několik doporučení pro navrhování takového systému, které se pokusím také naplnit. Mezi ně patří například: kvalitní analýza rizik, detekce anomálií, plánování včasného servisu a údržby, kontrolovat spolehlivost systému, využívat simulace některých událostí, pracovat s aktualizovanými informacemi, využívat on-line systém, zakomponovat Digitální dvojče nebo sledovat a diagnostikovat jednotlivá zařízení v tunelu.

Byla mi poskytnuta naměřená data za 2 roky z dvou na sebe navazujících dálničních tunelu Prackovice a Radejčín pro možnou analýzu. Díky pozici Technologa ve firmě Metrostav TBR a.s. mi bylo umožněno využít veškerou dostupnou dokumentaci a zkušenosti z praxe při tvorbě této práce.

Dále tato práce využívala i znalostí z projektu od Technologické agentury České republiky CK04000109 – Prediktivní diagnostika technologických zařízení ITS s využitím přístupů AI.

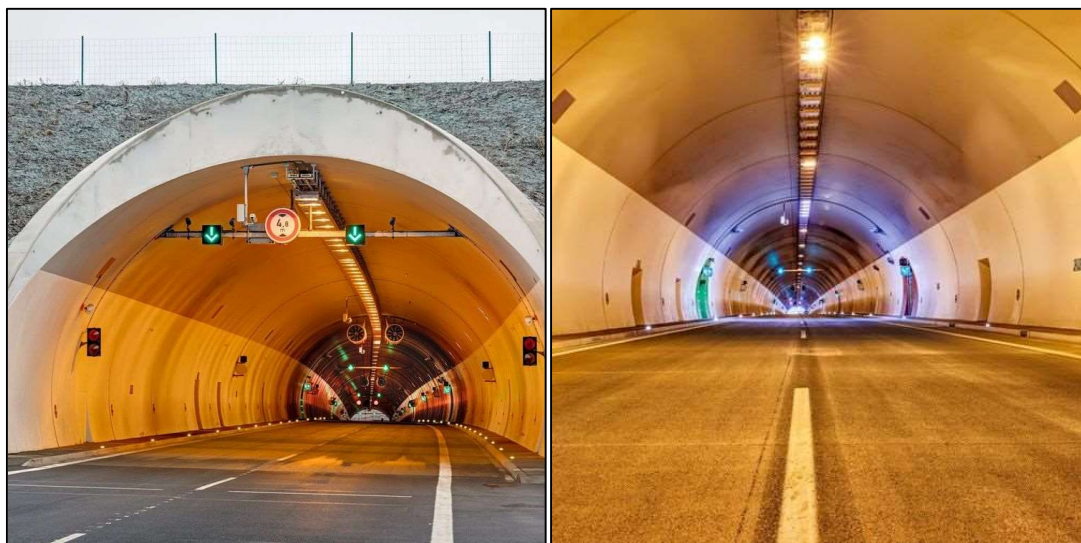
Digitalizace procesů a možná predikce výpadků a poruch jsou stěžejní pro zvýšení bezpečnosti, prodloužení životnosti, ale i snížení nákladů na provoz a údržbu v tunelech nebo jiných odvětvích.

# 1 TUNELY

## 1.1 Analýza vybrané lokality

K zpracování diplomové práce jsou využita skutečná data naměřená v rozmezí 01. 02. 2021 – 28. 02. 2023 v tunelech Radejčín a Prackovice. Tato data byla poskytnuta společností SPEL, a.s. a Metrostav, a.s. se souhlasem Ředitelství silnic a dálnic Státní podnik (dále jen SP). Měla jsem k dispozici celkem 7 balíčků dat - Energetika Prackovice, Energetika Radejčín, Automatický Sčítač dopravy (dále jen ASD), Dopravní scénáře, Fyzikální hodnoty, Alarmy a Aktivity.

Společnost Metrostav, a.s. byla zhotovitelem obou dálničních tunelů, a to v letech 2007 – 2018. Oba tunely se nachází na dálnici D8, která je situovaná z Prahy na hranice s Německem přes Lovosice a Ústí nad Labem. Tunel Radejčín podchází Radejčinský hřbet Českého středohoří. Každá tunelová trouba (dále jen TT) má dva jízdní pruhy. Pravá tunelová trouba (dále jen PTT) má 620 m a levá tunelová trouba (dále jen LTT) má 600 m.



Obrázek 1: Tunel Radejčín [30]

Tunel Prackovice prochází kopcem Debus. PTT je dlouhá 260 m a LTT 270 m. Mezi nimi vede most přes Uhelnou strouhu, který je součástí této rozsáhlé stavby. Oba tunely, most a přilehlé komunikace jsou součástí jednoho celku a řídí se společně jako jeden komplexní systém.

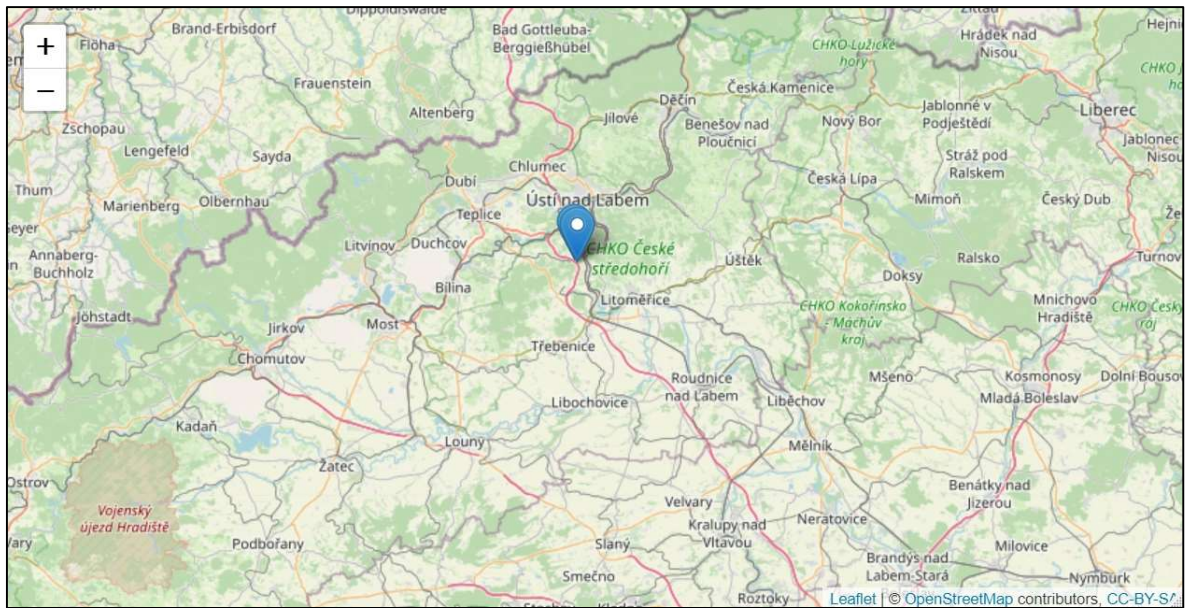


Obrázek 2: Tunel Prackovice [30]

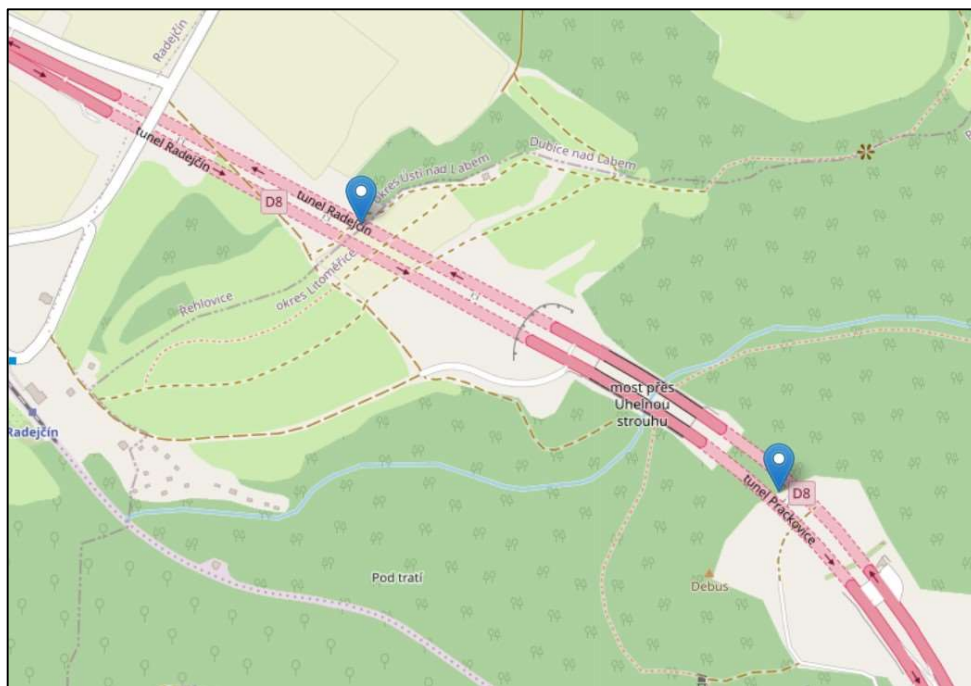
Na vjezdech do tunelu na přilehlých úsecích najdeme zpomalovací portály, které upravují rychlost na nejvyšší povolenou, to je aktuálně 80km/h. V Radejčíně nalezneme 6ks proudových ventilátorů v každé trubě, které zajišťují, že se koncentrace škodlivin pohybují v rámci zákonem daných limit. Ventilátory jsou řízeny automaticky či ručně přes řídicí systém, který pravidelně vyhodnocuje naměřená data z čidel v tunelu pro zajištění bezpečnosti pro účastníky provozu a pracovníky v tunelu. Čidla měří oxidy dusíku (NOx), oxid uhelnatý (CO) a opacitu (viditelnost). Vzhledem délce tunelu Prackovice nebylo nutné vybavovat ho proudovými ventilátory a větrání tunelu zajišťuje komínový efekt, který v tunelu samovolně vzniká průjezdem vozidel. Oba tunely mají propojky do druhé TT, ve kterých se nachází axiální ventilátory pro garantování provětrané únikové cesty v případě požáru v jedné TT. Veškeré ventilátory a klapky jsou řízeny většinou automaticky systémem Elektrická Požární Signalizace (dále jen EPS) s umístěné v provozně technickém objektu (dále jen PTO) a na EPS je napojena na požární čidla, tlačítka, teplotní hlásiče, apod. Osvětlení je regulováno změřenými daty z jasoměrů umístěných na portálech tunelu. Typy osvětlení dělíme na adaptační, průjezdné, náhradní, nouzové a vodící. Dále se zde nachází SOS skříně umístěné max. 100m od sebe, které jsou vybaveny tlačítky pro přivolání Integrovaného Záchraného Systému (dále jen IZS) a spojením s dispečinkem. Najdeme v nich i základní vyprošťovací nástroje a hasicí přístroje. V tunelu jsou veškeré vedené kabely k těmto technologiím v provedení se sníženou hořlavostí, pro zajištění funkčnosti. Komplex je pod kamerovým dohledem přes uzavřený televizní okruh (dále jen CCTV), který sbírá obraz u 67 kamer, které jsou rozmístěny po celém tunelu, v propojkách, na portálech před nimi apod. Systém umí detekovat, vyhodnocovat a reagovat na vzniklé mimořádné události a spouštět příslušné scénáře pro zajištění bezpečnosti.



Níže vidíme umístění tunelů na dálniční infrastruktuře.



Obrázek 3: Poloha tunelů Prackovice a Radejčín [vlastní zpracování]



Obrázek 4: Detailní mapa tunelů i s mostem [vlastní zpracování]

Výstavba tunelů značně urychlila jízdní dobu a zlepšila komfort směrem do Německa. Dálnice D8 je také součástí IV. evropského multimodálního dopravního koridoru Berlín – Istanbul.



## 1.2 Technické podmínky

Tunelové stavby představují klíčové řešení pro komplexní dopravní a ekologické výzvy. Při návrhu tunelů pro pozemní komunikace jsou využívány dva hlavní dokumenty: ČSN 73 7501: "Projektování a návrh tunelů pozemních komunikací" a technické podmínky (dále jen TP) 98: "Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací". Kromě samotného návrhu je klíčový i následující efektivní provoz tunelu, který ovlivňuje dopravní charakteristiky, provozní náklady a hlavně bezpečnost účastníků silničního provozu. Cílem těchto technických podmínek je stanovit principy pro provozování, správu a údržbu tunelů.

Klíčovým podkladem je poté TP 154: Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací, která byla k březnu 2024 aktualizována. Byly definovány nové pojmy, které je třeba uvést, prvním je odolnost, která je definovaná jako schopnost včas a účinně se připravit, naplánovat, odolat, absorbovat a zotavit se ze skutečných nebo potenciálních negativních dopadů událostí nebo vývoje, které ovlivňují dostupnost tunelu, a úspěšně se jim přizpůsobit. Odolnost tunelového systému se zajišťuje souborem opatření, metod jednání a forem konání v oblastech konstrukčního řešení, technologické vybavenosti, organizace dopravy, organizačního a materiálního zajištění správy, provozu, údržby včetně procesu řešení mimořádných událostí a odstraňování jejich následků. [8]

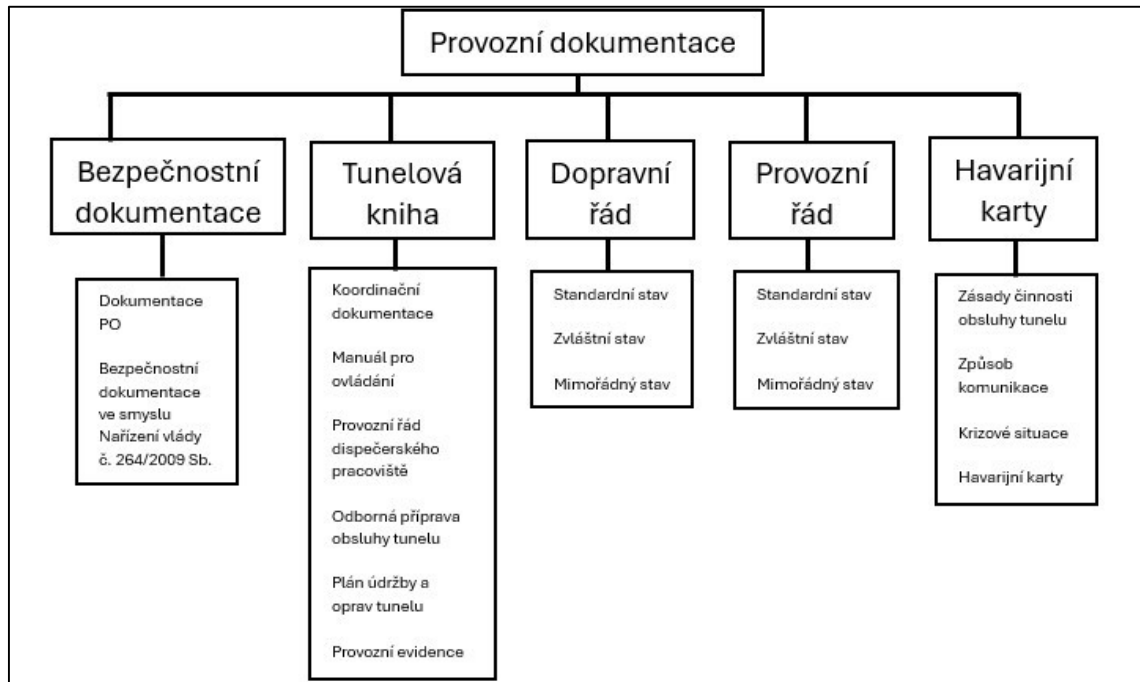
Dalším pojmem je dostupnost tunelu definovaná jako schopnost tunelu poskytovat podmínky pro bezpečné vedení silničního provozu. Dále pak bezpečnost tunelu, kterou lze definovat jako neexistenci nepřijatelného rizika při provozování tunelu pozemní komunikace. Bezpečný stav tunelu je takový stav, kdy je tunel pozemní komunikace schopen odolávat známým a předvídatelným vnějším a vnitřním hrozbám, které mohou negativně působit proti jednotlivým prvkům (případně celému systému) tak, aby byla zachována struktura systému, jeho stabilita, spolehlivost a chování v souladu se stanovenými cíli. [8]

V rámci provozních stavů tunelu může docházet k 3 odlišným stavům: standardní stav, zvláštní stav a mimořádný stav. Standardní stav je základním stavem a není při něm omezená doprava, bezpečnost je na přijatelné úrovni a činnost technologií je bez problémů. Při zvláštním stavu může docházet k omezení dopravy a/nebo bezpečnosti, avšak provoz je stále zachován. U mimořádných stavů je úsek uzavřen a bezpečnost nedosahuje přijatelné míry. [8]

## 1.2.1 Dokumentace tunelu

Veškerá dokumentace tunelu, důležitá pro jeho správu, provoz a údržbu, se uchovává v tunelovém archivu. Tato dokumentace je rozdělena do dvou hlavních kategorií:

- Správní dokumentace – tunelová list, archiv, tunelová mapa
- Provozní dokumentace – viz schéma níže



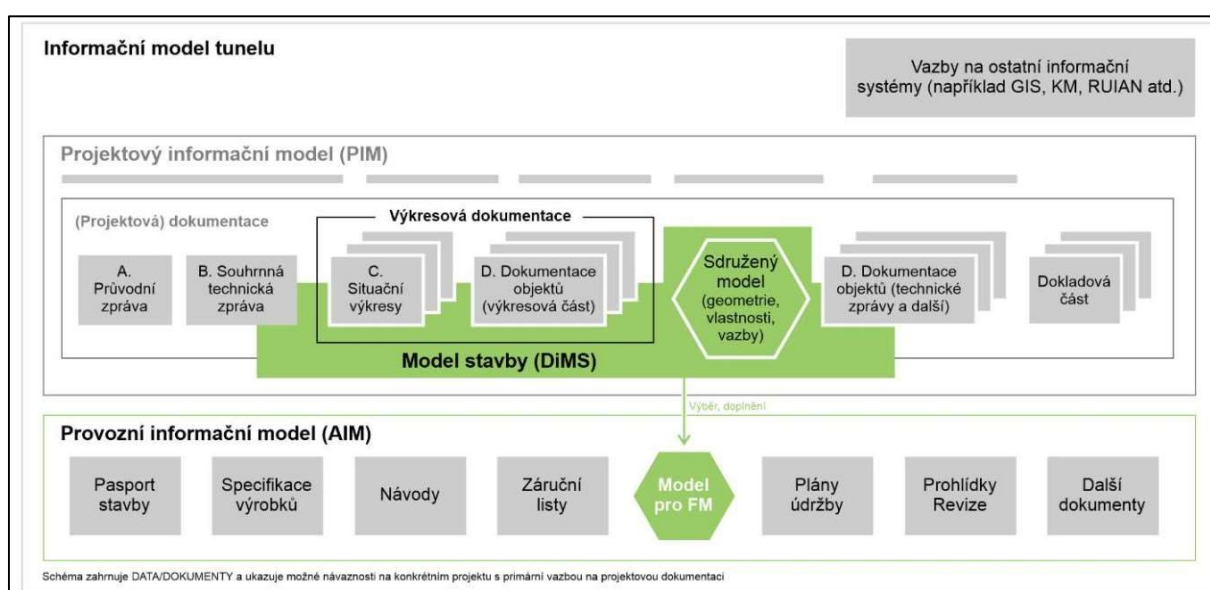
Obrázek 5: Provozní dokumentace tunelu, vlastní zpracování dle TP [8]

Dokumenty mohou být uloženy v tištěné nebo digitální formě - v souladu s implementací Building Information Modeling (dále jen BIM) do české legislativy se vytváří Informační model tunelu, který poskytuje kompletní informace o stavu tunelu a jeho provozu a údržbě během celého životního cyklu. Tento model slouží jako základ pro vytvoření pasportu zařízení v tunelu. [8]

## 1.2.2 Informační model tunelu

Informační model tunelu je digitální reprezentací fyzických a funkčních vlastností tunelu, sloužící k popisu a analýze jeho charakteristik. Jedná se o Provozní informační model (dále jen PIM) pro správu a provoz tunelu, který zahrnuje:

- Sdružený model tunelu obsahující geometrii, vlastnosti a vazby.
- Grafickou a textovou dokumentaci tunelu, včetně situačních výkresů, dokumentace objektů a dispečerského pracoviště.
- Ostatní data a dokumenty, jako je správní a provozní dokumentace, výstupy z revizí a kontrolních prohlídek, a další relevantní dokumenty a data. [8]



Obrázek 6: Informační model tunelu [8]

Obsahem PIM tunelu jsou pouze aktuální dokumenty, překonané či zrušené materiály jsou přesunuty do historického archivu. Většina dokumentace je zpracována v digitální podobě, ale pokud některé části nejsou k dispozici elektronicky, jsou v databázové struktuře modelu odkazovány na fyzické umístění dokumentů. [8]

Procesy správy a údržby se většinou týkají staveb dokončených před implementací BIM do životního cyklu staveb. Je proto důležité respektovat doporučení České agentury pro standardizaci, zejména Pravidla pro pasportizaci dokončených staveb v majetku veřejné správy, při zpracování Informačního modelu. Pro existující stavby je nezbytné zajistit sdružený model v potřebném rozsahu, který bude stanoven na základě potřeb správce/provozovatele. Podrobnosti o sdruženém modelu a ostatních částech dokumentace vycházejí z obecně platných standardů pro objekty pozemních komunikací. [8]

### 1.2.3 Správa, provoz a údržba tunelu

Podmínky a pravidla pro správu, provoz a údržbu tunelu jsou vypracovány individuálně pro každý provozovaný tunel s důrazem na efektivitu a účelnost v příslušné Provozní dokumentaci. Správce tunelu je zodpovědný za udržení aktuálnosti dokumentace, ideálně s aktualizací minimálně každé 4 roky, provázanou se závěry pravidelné hlavní prohlídky. [8]

Správa, provoz a údržba tunelu jsou nastaveny tak, aby náklady byly vynakládány co nejeefektivněji a nejehospodárněji. K dosažení účelnosti a efektivitu využívá správce tunelu vhodné nástroje, včetně Plánu údržby a oprav tunelu, který stanovuje postupy pro zabezpečení plánovaných údržbářských prací, oprav, prohlídek a kontrol. [8]

Plán údržby a oprav určuje, kdo nařizuje opravy, kdo je přebírá a zajišťuje průběh oprav organizačně a bezpečnost práce. Dále stanovuje periodu provádění revizních prací a kontrol na jednotlivých zařízeních. Před plánovanými činnostmi, které ovlivňují dopravní provoz nebo bezpečnost, musí být vypracován návrh průběhu prací, který je projednán s příslušnými orgány státní správy odpovědnými za dopravu. Výsledky těchto činností jsou zaznamenávány do provozní evidence. [8]

Provozní údržba tunelu probíhá nepřetržitě po celou dobu provozování tunelu v souladu s Plánem údržby a oprav, který respektuje:

- Požadavky výrobců a dodavatelů technologických zařízení
- Stáří a provozní opotřebení instalovaných zařízení
- Intenzitu dopravy a zátěž tunelu
- Četnost dopravních událostí a incidentů
- Konstrukci a příslušenství tunelu [8]

Plán údržby a oprav je nepřetržitě aktualizován a obsahuje informace nutné pro bezpečnou a efektivní údržbu a provoz tunelu. Zahrnuje harmonogram údržby, rozsah a četnost údržby, plán oprav, revizí, kontrol a prohlídek. Za plánování údržby je zodpovědný správce tunelu, zatímco za konkrétní provádění údržby je odpovědný pověřený pracovník. [8]

Plán je vypracován na základě poslední Běžné prohlídky tunelu a zohledňuje stav a potřeby jednotlivých zařízení. Pro jednotlivé zařízení je doporučeno využívat prediktivní údržbu za účelem optimalizace plánovaných oprav a snížení mimořádných zásahů. [8]

Údržba tunelu zahrnuje péči o stavebně-technické části, technologická zařízení a systémy vnějších vazeb. Pro efektivní plánování údržby se sbírají provozní data ze všech zařízení tunelu a jsou pravidelně reportována správci tunelu. Tato data umožňují identifikovat četnost poruch a přerušení provozu, což je klíčové pro optimalizaci údržby a provozu tunelu. [8]

Posuzování stavu tunelu se provádí hlavní nebo mimořádnou prohlídkou. Stav je klasifikován podle kritérií uvedených v tabulce v TP 154, která zahrnuje stavy od bezvadného až po havarijní. Po prohlídce se doporučují opatření pro zachování provozu, včetně naléhavých, zabezpečovacích a sanačních prací. Záznamy a doporučení jsou důležitou součástí dokumentace. [8]

Mimořádné prohlídky tunelu jsou prováděny osobou s Oprávněním k výkonu prohlídek tunelů. Tyto prohlídky jsou zaměřeny na okamžitý stav tunelu a zahrnují jak stavebně-technickou, tak i technologickou část. Provádění a rozsah mimořádných prohlídek odpovídá úrovni hlavní prohlídky a zaměřuje se na konkrétní celky. [8]

Stavebně-technické prohlídky se provádějí zejména po živelných pohromách, dopravních nehodách, nebo před uplynutím záruční doby na stavební práce. Technologické prohlídky jsou zaměřeny na problémy s technologickým celkem, živelné pohromy nebo před uplynutím záruční doby na dodávku technologických zařízení. Z každé mimořádné prohlídky se vytváří záznam obsahující popis závad, jejich lokalizaci, rozsah, posouzení stavu a návrh opatření k odstranění závad. [8]

## 2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU INFORMAČNÍCH SYSTÉMŮ PRO SPRÁVU A ÚDRŽBU

Na úvod kapitoly je třeba definovat pojem Facility management (dále jen FM). FM je disciplína, která se zabývá správou fyzických pracovišť a zařízení v organizaci s cílem optimalizovat prostředí pro efektivní podnikání. Zahrnuje širokou škálu aktivit, jako je správa budov, údržba zařízení, správa služeb, bezpečnost a ochrana, správa pracovního prostředí a správa majetku. Cílem FM je zajistit, aby pracoviště bylo vhodné pro potřeby zaměstnanců a podporovalo firemní cíle a strategii. [32]

Jednou z hlavních výhod FM je optimalizace nákladů a zlepšení efektivity. Efektivní správa budov a zařízení může vést k úspoře nákladů na provoz a údržbu, stejně jako k vylepšení využití prostoru a zdrojů. FM také hraje důležitou roli při zajištění bezpečnosti a pohodlí zaměstnanců a uživatelů pracovišť. Dalším důležitým prvkem je udržitelnost a environmentální odpovědnost. Správná správa budov a zařízení může pomoci organizaci snížit svůj ekologický dopad a splnit environmentální cíle, například snížením spotřeby energie, vody a materiálů, a podporou recyklace a obnovitelných zdrojů. [32]

V dnešní době FM čelí výzvám spojeným s rostoucí globalizací, technologickými inovacemi a změnami v pracovních modelech. Organizace se musí přizpůsobit novým trendům a hledat inovativní přístupy k řízení svých pracovišť a zařízení, aby zůstaly konkurenceschopné a udržitelné v dlouhodobém horizontu. [32]

### 2.1 Informační systémy

Informační systém (dále jen IS) můžeme definovat jako systém, který je určen pro sběr, přenos, udržování, zpracování a poskytování informací o určitém systému. Další definicí je, že to je soubor lidí, technických prostředků a metod, které zajišťují sběr, přenos, uschování a zpracování dat s cílem tvorby a prezentace potřebných informací pro skupiny uživatelů, který k nim mají mít přístup. Poskytované informace by měly být aktuální, relevantní, přesné (bezchybné, a to včetně ošetření možné chybné interpretace) a ověřitelné (systém bude vybaven kontrolními mechanismy). Z hlediska programového vybavení těchto systému je potřeba zajistit hardware, databázi a lidské zdroje a jasně definovat organizační uspořádání, zasazení systému do reálného světa a proces předávání informací.

V rámci vytváření a navrhování těchto systému se setkáváme s pojmem efektivnost, ta je definována jako účinnost prostředků vložených do činnosti. Ty jsou pak hodnoceny vzhledem k míře užitečnosti výsledku. [9,10]

Optimální IS je ten, který vyváží poměr mezi užitekem a náklady na systém, avšak je nutné počítat s tím, že efektivní užitek se může dostavit až po nějaké době od zapojení IS. Je také možné, že aplikovaný IS bude mít nepřímé přínosy, kdy bude docházet k lepším rozhodnutím, díky získaným informacím a znalostem z IS. [9,10]

S IS přichází do styku 4 kategorie lidí – majitelé, manažeři, kterým systém pomáhá dosáhnout požadovaných výsledků s minimem spotřeby nákladů, zaměstnanci, kterým IS zjednoduší práci a zlepší pracovní prostředí a zákazníci, kteří získají informace či produkty za přijatelnou cenu. Nejdůležitějšími požadavky na IS je spolehlivost, efektivnost, schopnost rozvoje, udržitelnost, bezpečnost a snadná údržba. S danými požadavky na informace vypsané výše, by tedy IS měl poskytovat jednoduché a přehledné informace a zbytečně nezahlcovat systém či lidské zdroje pracující s ním. [9,10]

IS pro poruchy, údržbu a správu v tunelu se zatím příliš neuplatňují, neboť některá data a informace (alarm management) jsou součástí řídicího systému (dále jen ŘS) tunelu.

## 2.2 Životní cyklus Informačního systému

Životnost IS se odhaduje na cca 10 let kvůli změnám v technologiích a rychlému pokroku v rámci těchto služeb. Životní cyklus IS dělíme na tyto základní fáze:

- Plánování – zjistit náklady na Hardware (dále jen HW), Software (dále jen SW) a implementaci a porovnat je s možnými přínosy a efektivnosti.
- Pořízení – zde se pracuje s otázkou, zda je výhodnější koupit již hotový IS nebo ho vyvíjet vlastními silami, či za pomoci outsourcingu zajistit externího dodavatele jako službu.
- Zavádění – je nutné předem zanalyzovat aktuální stav a připravit zaměstnance na aplikování IS.
- Provoz a údržba – po nasazení systému je nutné sledovat vlivy, které na systém působí a zajistit pravidelnou údržbu a servis (aktuální HW a SW, nové požadavky, noví uživatelé, náhradní díly, dostatek paměti a kapacity, zálohování, zabezpečení apod.). Cena údržby se odhaduje na 10-20% ceny IS.
- Likvidace

V rámci plánování je nutné počítat s výdaji na vytvoření IS. Mezi tyto výdaje počítáme mimo HW a SW ještě: pracovníky, údržbu HW a SW, budoucí vývoj SW, komunikační služby, chod IS a řízení IS. U výdajů je většinou předem definovaná pouze spodní hranice. Nejdůležitějšími kritérii při vývoji IS jsou tedy snadná ovladatelnost a rychlost uvedení do provozu, kdy je zároveň nutné dbát na možnosti rozšíření systému do budoucna. [9,11]

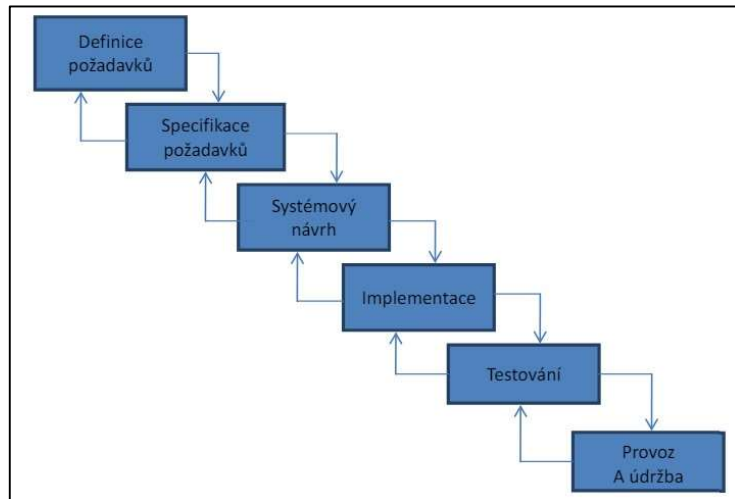


## 2.3 Vybrané metodiky tvorby IS

### 2.3.1 Vodopádový model

Jedná se o přístup k vývoji nebo řízení, který má předem jasně stanovený plán, kdy jednotlivé fáze jsou v posloupnosti a přirovnávají se k protékání vody. S metodou přišel Winston W. Royce v roce 1970 a definoval jí pomocí základních fází vypsanych níže.

- Požadavky na systém a software
- Analýza a specifikace požadavků
- Návrh
- Implementace
- Testování
- Provoz a údržba

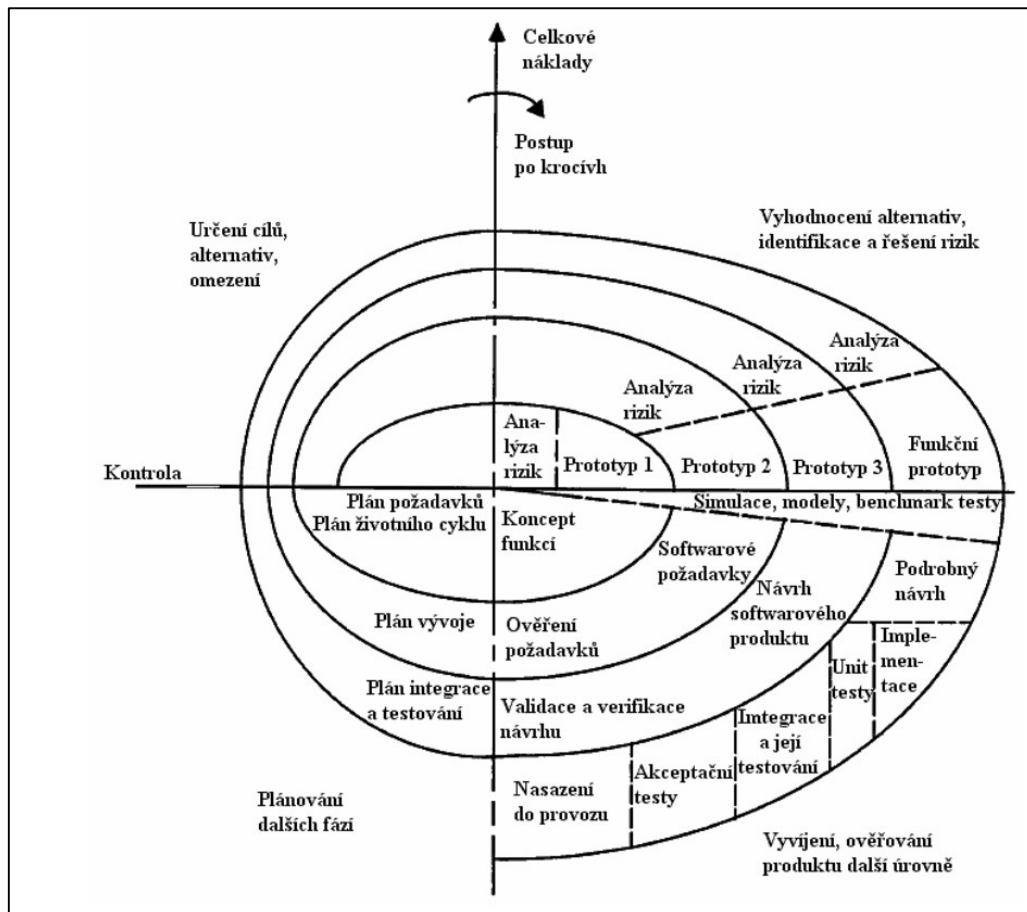


Obrázek 7: Schéma Vodopádového modelu [12]

Tento model klade důraz zejména na plánování a časová rozvrh práce, kdy se tyto kritéria nastaví před zahájením samotného projektu a je stěžejní dodržet předem naplánované kroky a postupy při vývoji a realizaci. Počítá se s minimálními odchylkami od plánu a není zde velký prostor na změny v průběhu realizace. Na konci každé fáze se vyhodnocuje a případně přepracovává či opravuje postup realizace s možností vrátit se zpět do předchozí fáze. Pokud se rozhodne, že je fáze úspěšně dokončena, přechází se do následující fáze s možností návratu už jen do předchozí fáze vzdálené jeden krok, jak vyplývá ze schématu výše. Výhodou tohoto modelu je jednoduchost a přehlednost. Mezi nevýhody pak musíme zařadit nedostatečnou flexibilitu během návrhu systému nebo nemožnost pracovat se změnami či požadavky navíc během vytváření systému. [9,12]

### 2.3.2 Spirálový model

Jako další model si uvedeme spirálový model definovaný Barry Boehmem z roku 1986, kdy tento model pokrývá nedostatky vodopádového modelu z předchozí kapitoly. Na samém začátku model pracuje s tím, že není možné 100% definovat a specifikovat všechny funkce systému a zavádí opakované a velice důsledné analýzy. Na počátku se tedy stanoví pouze obecný rámec systému, vyvine se část systému, který se poté konzultuje se zákazníkem a pokračuje se novým cyklem. Vývoj tedy prochází stále stejným cyklem a zákazník vždy vidí výsledek jednoho cyklu. V rámci jednotlivých fází dochází na konci vždy k testování a hodnocení výsledků, k tomu se využívají zpravidla automatizované testy, které zavčasu odhalí možné chyby v systému. Cykly se opakují dokud není systém vyladěn a vytvořen dle požadavků zákazníka.



Obrázek 8: Schéma Spirálového modelu [13]

Výhodami tohoto modelu je komplexnost a možnost implementace složitějších systémů po částech, možnost odhalovat a napravovat chyby a případná možnost vyloučit nevhodné přístupy. Nevýhodou může být postup tvorby systému, který může působit složitě. Jakékoliv další změny je možné implementovat až po dokončení probíhajícího cyklu a pro některé systémy nemusí být model dostatečně pružný. [9,13]

### 2.3.3 Rational Unified Proces

Rational Unified Proces (dále jen RUP) je objektově orientovaný iterativní přístup, kterou vytvořila IBM a náleží do skupiny use-case driven approach, nebo-li přístup řízení za použití případů. Částečně vychází právě ze spirálového modelu a zároveň pracuje s průběžnou detekcí možných rizik. Systém za pomoci jazyka Unified Modeling Language (dále jen UML) modeluje procesy, které vychází z definovaných posloupných akcí prováděných systémem a z objektového přístupu modeluje statický i dynamický pohled na systém.

Fáze dělíme na: zahájení, projektování, realizace a předání. Zahájení definuje samotný účel systému, rozsah projektu a případně jeho kontext. Projektování řeší požadavky definované klientem a definují se základy architektury systému. Realizace je pak tvorba kódů a je to nejdelší fáze tohoto modelu.

Model dokáže pracovat se změnami v rámci požadavků v procesu realizace a v rané fázi umí odhalit rizika a chyby, které by mohly zvýšit náklady v případě pozdějšího odhalení. Výhodami této metody jsou tedy včasná odhalení rizik, snazší zpracování změn, průběžné zlepšování přístupu, možnost využití doplňkových nástrojů přímo od „výrobce“ metody. K nevýhodám řadíme skutečnost, že model je placený, je využitelný zejména pro velké a složité systémy a jeho používání vyžaduje rozsáhlá školení pro lidské zdroje pro zajištění správného fungování. [9,14]

## 2.4 Architektura informačních systémů

Architektura je důležitým pojmem v rámci budování koncepčního rámce u IS. Samotné budování dostává jasný směr a jsou vytvořené vhodné komunikační prostředky mezi zákazníkem a projektantem IS. Ta musí být jednoduchá a srozumitelná pro obě strany. Pro úspěšný návrh IS musíme mít jasně definované cíle systému řízení a musí dojít k vzájemnému porozumění mezi 3 subjekty: investor, řešitel a uživatel. [9]

Součástí návrhu IS je celkový pohled, jedná se o základní schéma vyjadřující obecnou podobu budoucího systému, říkáme ji globální architektura. Tu můžeme dále rozdělit na dílčí architekturu a konkrétně na:

- Informační
- Systémová
- Procesní
- Komunikační
- Technologická

### 2.4.1 Třívrstvá architektura

Jedná se o další typ architektury IS. Jak již z názvu vyplývá skládá se z 3 vrstev:

- Prezentační
- Aplikační
- Datová

Prezentační vrstva je ta část, se kterou se setkávají uživatelé na přímo. Slouží jako možnost vkládat vstupní požadavky a stručně a jednoduše prezentovat dosažené výsledky. Jedná se tedy o určitý druh uživatelského rozhraní, které může být prezentováno jako aplikace, webové stránky či celé programy. [9]

Aplikační nebo-li funkční vrstva provádí veškerou práci s daty jako jsou výpočty či jiné potřebné operace mezi vstupem a výstupem. V této vrstvě je schovaná celková funkcionální (logika) celého systému. Poslední vrstvou je datová nebo-li databázová vrstva, která je nejnižší vrstvou této třívrstvé architektury a dodává do našeho modelu potřebná data. Nad těmito daty provádí jednoduché operace jako ukládání, filtrace dat, předzpracování, kontrola integrity apod. Tyto 3 vrstvy jsou na sobě nezávislé a mohou fungovat jedna bez druhé. Tento jednoduchý model zvládne zpracovat i robustnější systémy, které potřebují dostatečnou flexibilitu IS. [9,15]

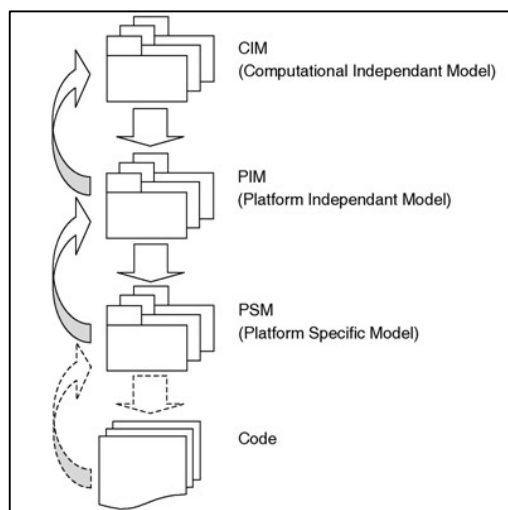
## 2.4.2 Service Oriented Architecture

Jako další typ zde uvedu Service Oriented Architecture (dále jen SOA) českým názvem architektura orientovaná na služby nebo servisně orientovaná architektura. Službu můžeme definovat jako cíl IS. Je to tedy sada principů a metodologií, která funguje na bázi nezávislého fungování jednotlivých komponent systému, které při složení dohromady dávají komplexní systém či aplikaci poskytující služby apod. Díky nezávislosti jednotlivých komponent a částí systému není fungování systému závislé na konkrétních technologiích a je v rámci pokroku velice flexibilní z hlediska nahrazování zastaralých částí systému. [9,16]

U SOA systému uživatelé neznají vnitřek systému a známé je jim pouze rozhraní, se kterým pracují. Klíčovými vlastnostmi je tedy modularita, možnost opakovaného využití částí systému, volné a snadno upravitelné vazby v systému nebo např. interoperabilita, která zajišťuje možnost napojení na další systémy. [9,16]

## 2.4.3 Model Driven Architecture

Architektura je modelem řízená (dále jen MDA) a vychází ze standardů, které navrhují systémy na základě modelů. Byla definována mezinárodní organizací Object Management Group (dále jen OMG), která zpracovává softwarové standardy. Samotný model už neslouží pouze při návrhu, ale implementuje se do všech fází tvorby IS. I tato architektura má za cíl interoperabilitu, znovupoužitelnost, produktivitu apod. Hlavní myšlenka je v tom, že se odděluje popis procesů od popisu aplikační logiky a popisu implementace na konkrétní platformě. Přichází s přístupem tvorby systému nehladě na platformě, na které bude používán a po konečném výběru platformy transformovat systém, aby byla pro danou platformu vhodná. [9,17]



Obrázek 9: MDA [17]

MDA stojí na třech hlavních pilířích: Computational Independent Model (dále jen CIM), Platform Independent Model a Platform Specific Model (dále jen PSM).

CIM je nejvyšší abstraktní model v MDA. Tento model se zabývá obchodními požadavky a funkcionalitou aplikace nezávisle na technologii nebo platformě, na které bude aplikace spuštěna. CIM popisuje koncepty, procesy a vztahy v oblasti problému, který se řeší, bez ohledu na to, jak budou tyto koncepty implementovány.

Platform Independent Model je model odvozený z CIM a reprezentuje návrh aplikace na úrovni konceptuální architektury, ale již s ohledem na technologické aspekty. To znamená, že zachycuje obchodní požadavky a funkcionalitu aplikace v abstraktní formě, která je nezávislá na konkrétní platformě nebo technologii. Identifikují se zde objekty, jejich vztahy a operace, ale nejsou specifikovány konkrétní implementační detaily. [9,17]

PSM je konkrétní model odvozený z Platform Independent Modelu a je zaměřený na technické detaily a konkrétní platformu nebo technologii, na které bude aplikace implementována. PSM popisuje detaily implementace, jako jsou programovací jazyk, použité knihovny, databázová schémata a další technické aspekty. PSM se vytváří s cílem transformovat abstraktní návrh z Platform Independent Model na konkrétní kód, který je přímo spustitelný na daném technologickém prostředí.

Celkový proces v MDA zahrnuje transformaci modelů mezi jednotlivými úrovněmi abstrakce, přičemž se postupně posouvají od obchodních požadavků a funkcionality (CIM), přes abstraktní návrh nezávislý na platformě, až po konkrétní implementaci na určité platformě (PSM). Tento přístup umožňuje oddělit konceptuální návrh aplikace od její technické implementace, což může zjednodušit vývoj softwaru a zlepšit jeho znovupoužitelnost a údržbu. [9,17]

## 2.4.4 Architektura IS podle úrovně řízení

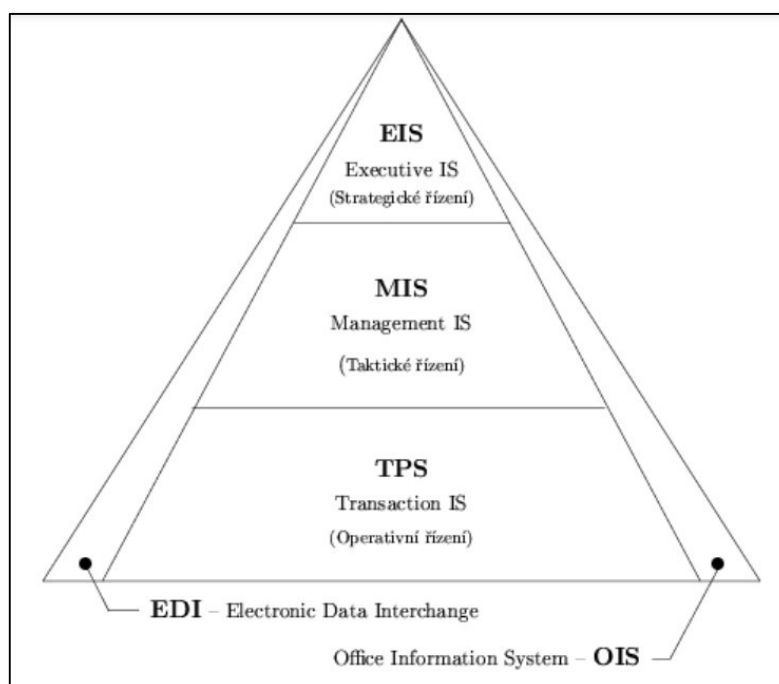
Podle úrovně řízení, na které IS funguje, můžeme tyto systémy rozdělit do 3 skupin, které jsem níže obecně popsala.

Na operativní úrovni jsou IS navrženy pro podporu každodenních operací a transakcí v organizaci. Zaměřují se na rutinní úkoly a operace a jejich cílem je zpravidla krátkodobá efektivita.

Na taktické úrovni se IS soustředí na plánování, kontrolu a rozhodování v rámci organizace. Tyto systémy poskytují data a analýzy, které pomáhají při střednědobém plánování a řízení.

Na strategické úrovni jsou IS zaměřeny na dlouhodobé strategické plánování a rozhodování. Poskytují informace a analýzy potřebné pro formulaci a implementaci dlouhodobých strategií organizace. [9]

Jednotlivé úrovně vidíme na schématu níže.



Obrázek 10: Schéma informačních systémů [9]

Subsystém Office Information System (dále jen OIS) vytváří systém pomocí běžných kancelářských a komunikačních nástrojů, jako jsou editory, tabulkové procesory, Access, pošta, a tento systém prostupuje všemi úrovněmi řízení. Stejně tak systém Electronic Data Interchange (dále jen EDI), což je v podstatě standard pro elektronickou výměnu formulářově orientovaných dat, může být použit na všech úrovních řízení. Klíčové je to, že zaměření je hodně specifické a řeší se na konkrétní činnost podniku. [9]

Executive Information System (dále jen EIS) je tedy IS navržený pro vedení a vyšší řídicí pracovníky organizace, jako jsou generální ředitelé, manažeři a další vedoucí pracovníci. Jejím cílem je poskytnout strategické informace a analýzy, které podporují strategické rozhodování na nejvyšší úrovni. EIS často zahrnuje přehledné vizualizace dat a klíčových výkonných ukazatelů (dále jen KPI), které umožňují rychlý přístup k důležitým informacím a sledování výkonnosti organizace.

Management Information System (dále jen MIS) je pak IS navržený pro střední management a manažery na úrovni oddělení nebo oblastí podnikání. Jeho hlavním cílem je poskytovat interní informace a reporty potřebné pro plánování, řízení a kontrolu operací v organizaci. Shromažďuje, zpracovává a prezentuje data z různých interních zdrojů a obvykle zahrnuje standardizované reporty, dotazy a analytické nástroje pro podporu rozhodovacích procesů na úrovni managementu.

Transaction Processing System (dále jen TPS) je IS navržený pro operativní úroveň organizace a je zodpovědný za zpracování denních transakcí a operací. Zaměřuje se na sběr, zpracování a ukládání transakčních dat souvisejících s rutinními operacemi, jako jsou prodeje, fakturace, skladové operace atd. Cílem TPS je zajištění efektivního a spolehlivého zpracování transakcí v reálném čase, což umožňuje plynulý chod denních operací organizace.

Tyto tři popsané typy IS se tedy liší podle svého zaměření, uživatelské základny a úrovně řízení, kterou podporují. Každý z těchto systémů hraje klíčovou roli v podpoře informačních potřeb organizace na různých úrovních řízení. [9]



## 2.5 Databáze

Databáze pro IS představují základní a nezbytnou součást každého moderního informačního systému. Tyto systémy poskytují prostředí pro efektivní ukládání, organizaci, manipulaci a získávání dat, což umožňuje informačním systémům efektivně pracovat s informacemi, které jsou klíčové pro podnikání a rozhodování. [9]

### 2.5.1 Základní typy

Relační databáze jsou založeny na relačním modelu dat a využívají tabulkovou strukturu pro ukládání dat. Data jsou organizována do tabulek, které obsahují řádky (záznamy) a sloupce (atributy). Vztahy mezi tabulkami jsou definovány pomocí klíčů. Structured query language (dále jen SQL) je běžně používaným jazykem pro práci s relačními databázemi. [9]

NoSQL jsou databáze, které se liší od relačních databází svým přístupem k ukládání a manipulaci s daty. Tyto databáze jsou často používány pro velké objemy dat, nestrukturovaná data apod. Typy NoSQL databází zahrnují dokumentové databáze, klíč-hodnota úložiště, grafy a sloupcové úložiště. Dokumentové databáze ukládají data ve formátu dokumentů, obvykle ve formátu JSON nebo XML. Klíč-hodnota úložiště ukládají data ve formě klíčů a hodnot. Každý klíč je jedinečný identifikátor a hodnota může být libovolný datový typ. Grafové databáze modelují data pomocí grafu, kde jsou uzly reprezentovány entitami a hrany reprezentují vztahy mezi entitami.

### 2.5.2 Databázový jazyk

Databázový jazyk je klíčovým prvkem pro manipulaci s daty v databázových systémech. Nejběžněji používaným a standardizovaným databázovým jazykem je již výše zmíněný SQL, který umožňuje definovat, manipulovat a dotazovat data v relačních databázích – nejrozšířenějších databázových modelech dnes.

SQL se skládá z různých příkazů a klauzulí, které umožňují provádět různé operace s daty. Mezi základní příkazy SQL patří SELECT (pro dotazování dat), INSERT (pro vkládání nových dat), UPDATE (pro aktualizaci existujících dat) a DELETE (pro odstraňování dat). SQL umožňuje definovat dotazy, které slouží k získávání dat z databáze. Dotazy mohou být jednoduché (např. výběr všech záznamů z tabulky) nebo složené (např. výběr dat s použitím podmínek a spojování různých tabulek).

### 2.5.3 Bezpečnost dat

Bezpečnost dat v databázích je kritickým aspektem v dnešní digitální době, zejména s ohledem na rostoucí množství dat a hrozby kybernetických útoků. Bezpečnost s ohledem na databáze představuje základní pilíř ochrany citlivých informací a zajištění integrity, dostupnosti a důvěryhodnosti dat. Zabezpečení databází zahrnuje různá opatření a postupy, které mají chránit data před neoprávněným přístupem, manipulací a ztrátou.

Databázový systém by měl poskytovat mechanismy pro správu uživatelských účtů a přidělování oprávnění k jednotlivým částem databáze. To zahrnuje definování uživatelských rolí, přístupových práv a auditování přístupu k datům. Citlivá data by měla být šifrována, aby byla chráněna právě před neoprávněným přístupem nebo odposlechem. Šifrování může být aplikováno na úrovni úložiště (například celé databáze nebo konkrétní sloupce) nebo při přenosu dat mezi klientem a serverem. Pravidelné zálohování dat je důležitým opatřením pro zajištění dostupnosti a obnovitelnosti dat v případě havárie, poškození nebo útoku. Zálohovaná data by měla být uložena na bezpečném místě mimo provozní prostředí. Databázový systém by měl poskytovat možnosti pro auditování přístupu k datům a sledování aktivit uživatelů. Tímto způsobem je možné detekovat podezřelé aktivity a záznamy o přístupech k datům lze použít pro vyšetřování incidentů a dodržování předpisů. Systémy a software by měly být pravidelně aktualizovány, aby byly odstraněny známé bezpečnostní chyby a zranitelnosti. To pomáhá minimalizovat riziko úspěšných útoků a zajišťuje, že databázový systém je chráněn proti nejnovějším hrozbám.

## 2.5.4 Transakční zpracování

Transakční zpracování představuje způsob, jakým databázové systémy spravují a zajišťují konzistenci dat při provádění operací v databázi. Jedná se o klíčový prvek moderních databázových systémů, který umožňuje zajištění konzistence a spolehlivosti operací provedených v databázi.

Každá transakce v databázi musí splňovat vlastnosti ACID:

- Atomicita (Atomicity): musí být atomická, což znamená, že všechny operace provedené v rámci transakce musí být provedeny úspěšně a kompletně, nebo vůbec. Pokud dojde k chybě nebo selhání během transakce, musí být vrácena do původního stavu (rollback), aby se zachovala konzistence dat.
- Konzistence (Consistency): musí zachovávat konzistenci dat. To znamená, že jakékoli změny provedené v rámci transakce musí respektovat všechny integritní omezení a pravidla definovaná v databázovém schématu.
- Izolace (Isolation): musí být izolované, což znamená, že jejich provedení by nemělo být ovlivněno jinými současnými transakcemi prováděnými v databázi. Databázový systém by měl zajistit, že každá transakce pracuje s konzistentními a aktuálními daty, a to i v případě souběžného přístupu více uživatelů k databázi.
- Trvalost (Durability): provedené změny v databázi způsobené úspěšně dokončenou transakcí musí být trvale uloženy a zachovány, i v případě výpadku systému nebo restartu databázového serveru.

Systémy, využívající transakční zpracování označujeme jako On-line Transaction Processing (dále jen OLTP), ve kterých uživatelé čtou i zapisují data a většinou se jedná o běžné systémy s relační databází. Jedná se technologie používanou pro zpracování operací v reálném čase, které se provádějí v běžném provozu podnikových systémů. Tyto operace zahrnují transakce, jako jsou vytváření, aktualizace a odstraňování záznamů v databázi nebo pro indexování a optimalizace dotazů. [9,11]

### 2.5.5 Indexování a optimalizace dotazů

Indexování a optimalizace dotazů jsou klíčovými technikami pro zlepšení výkonu databázových systémů a zajištění efektivního zpracování dotazů. Je to tedy proces vytváření indexů nad daty, které jsou uloženy v databázi, což umožňuje rychlý přístup k datům na základě vyhledávacích podmínek. Indexy můžeme také definovat jako struktury dat, které uchovávají odkazy na záznamy v databázi a usnadňují vyhledávání a filtrování dat. Při vytváření indexů je důležité zvolit vhodné sloupce pro indexování. K vhodným řadíme sloupce často používané ve vyhledávacích dotazech a je vhodné také zvážit dopady na výkon databáze a nároky na úložiště.

Optimalizace dotazů je proces optimalizace struktury a provádění dotazů v databázovém systému s cílem zlepšit výkon a snížit čas odezvy dotazů. To zahrnuje analýzu a úpravy dotazů, vytváření vhodných indexů, správu statistik a profilování dotazů pro identifikaci možných slabin databáze. Optimalizace může zahrnovat také použití různých technik, jako je spojování tabulek, použití poddotazů, agregací nebo filtrů, a také optimalizaci použití paměti a úložiště. Správná optimalizace může mít pozitivní dopad na uživatelskou zkušenost a efektivitu aplikací pracujících s danou databází. Tento proces však vyžaduje neustálou pozornost a údržbu, zejména při změnách datového modelu, zvětšení datového objemu nebo změnách v prováděných dotazech. [9,11]

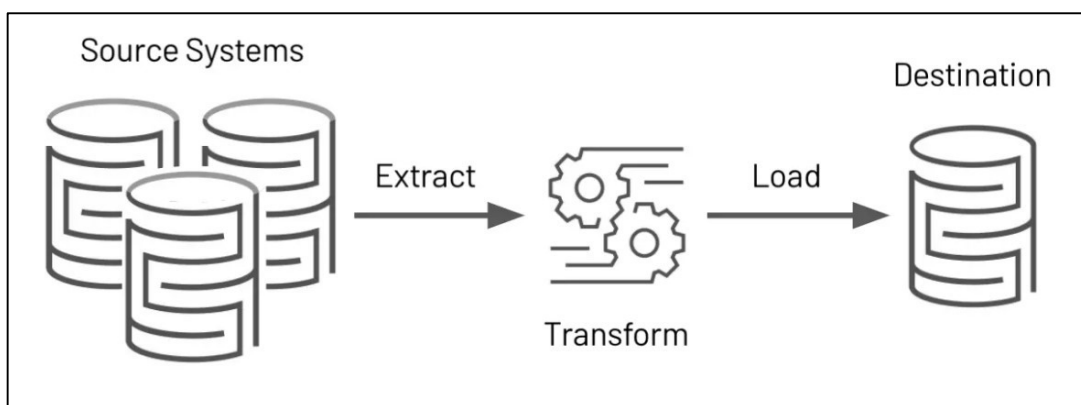
### 2.5.6 Datové modelování

Datové modelování je proces navrhování struktury a organizace dat v IS. Jedná se o klíčový prvek při návrhu IS, protože definuje samotnou strukturu a organizaci dat, která bude použita k ukládání, manipulaci a získávání informací v rámci systému. Modely usnadňují porozumění datovým potřebám systému a komunikaci mezi vývojáři a ostatními zúčastněnými stranami. Můžeme se setkat s několika různými obecnými typy modelů:

- Konceptuální datový model – zaměřuje se na vysokou úroveň abstrakce a popisuje obecnou strukturu dat a vztahy mezi entitami v rámci IS. Tento typ modelu je často používán v počáteční fázi návrhu systému.
- Logický datový model – poskytuje detailnější popis struktury dat a definuje konkrétní entity, atributy a vztahy mezi nimi.
- Fyzický datový model – popisuje implementaci datového modelu v konkrétním databázovém systému a definuje detaily, jako jsou datové typy, indexy, optimalizace uložení dat apod. [9,11]

## Datový sklad

Vychází z anglického Data Warehouse a jedná se speciální typ databáze, která pracuje s historickými daty, která jsou využívána pro podporu rozhodování. Tento uložený typ dat nepodléhá žádným změnám a nepůsobí na ně již žádné časové proměnné. Práce s daty z datového skladu je snazší než při pokusech zpracování dat v relačních tabulkách jelikož jsou data ukládána ve vhodnější tvaru pro další analytické operace. Data se do skladu dostávají za pomoci datových pump – Extraction, Transformation, Loading (dále jen ETL). Schéma vidíme níže.



Obrázek 11: Schéma ETL

Během extrakce vybíráme data z naší provozní databáze. Během transformace probíhá nad daty několik operací pro zajištění možné budoucí práce s nimi: doplňují se chybějící hodnoty, odstraňují se nesmyslné hodnoty, upravuje se formát apod. Ve fázi načítání dat ukládáme data do datového skladu. [9]

## Datové tržiště

Vychází z anglického Data Mart a jedná se o prostředí, kde se data kupují, prodávají nebo vyměňují mezi různými subjekty. Tato tržiště mohou být veřejná nebo soukromá a umožňují organizacím a jednotlivcům nakupovat, prodávat nebo poskytovat přístup k různým typům dat. [9]

## 2.6 Bezpečnost informačních systémů

Na bezpečnost IS se klade v dnešní době velký důraz, jelikož se do zpracovávají i citlivá data. O zabezpečení dat jsem se již zmínila v předchozích kapitolách a proto se zaměříme na zabezpečení konkrétně IS.

V rámci IS musí být zabezpečena síť a komunikace, to je klíčové pro ochranu před útoky typu odposlech, úprava dat nebo vstupů do systému. Metody zahrnují např. šifrování dat, firewall, detekci a prevenci útoků, virtuální privátní síť (dále jen VPN) apod. Dále se musí zajistit kvalitní antivirový program a pravidelná aktualizace softwaru pro zajištění plné ochrany systému i informací.

Bezpečnost zahrnuje i jasně stanovený plán postupu při napadení nebo výpadků systému pro zajištění provozu systému a všech důležitých dat. Případně by systém měl umožnit obnovu dat, díky zajištěnému zálohování na externích místech.

Dalším důležitým aspektem je školení pracovníků pracujících se systémem a zaručit tak, že systém nebude napaden nebo ovlivněn kvůli chybě z řad lidských zdrojů. Organizace by tedy měly mít vytvořené a pravidelně aktualizované bezpečnostní postupy, aby ochránily své IS a data před většinou možných hrozeb. [7]

## 2.6.1 Analýza rizik

Nedílnou součástí této kapitoly je analýza rizik, kterou zde stručně vysvětlím. Podrobnější analýza rizik a spolehlivostních modelů byla součástí rešerše v mé bakalářské práci, na kterou tato diplomová práce volně navazuje.

Analýza rizik je proces identifikace, hodnocení a řízení rizik, které mohou ohrozit úspěšnost nebo bezpečnost IS. Cílem analýzy rizik je identifikovat potenciální hrozby a jejich dopady a vyvinout strategie pro minimalizaci rizik a jejich dopadů v případě, že se vyskytnou. [7]

Analýza je klíčovým prvkem při vytváření nových projektů, aplikací nových technologií a provádění projektů. Kvalitní analýza rizik vyžaduje dostatečné množství vstupních dat a správný výběr metody analýzy. Identifikace a hodnocení rizik jsou klíčovými fázemi v procesu managementu rizik, kde se určují přijatelná a nepřijatelná rizika a navrhují se opatření k jejich zmírnění. Riziko je definováno jako možnost ztráty nebo nebezpečí negativních odchylek od stanovených cílů a je spojeno s konkrétními projekty či akcemi. [7]

Kritérium přijatelnosti je základním kritériem při hodnocení rizik, které určuje, zda je hodnota rizika přijatelná. Pokud riziko překračuje přijatelnou hodnotu, je nutné přijmout opatření ke snížení rizika, buď eliminací jeho příčin, snížením negativních dopadů nebo přenesením rizika na jiné subjekty. [7]

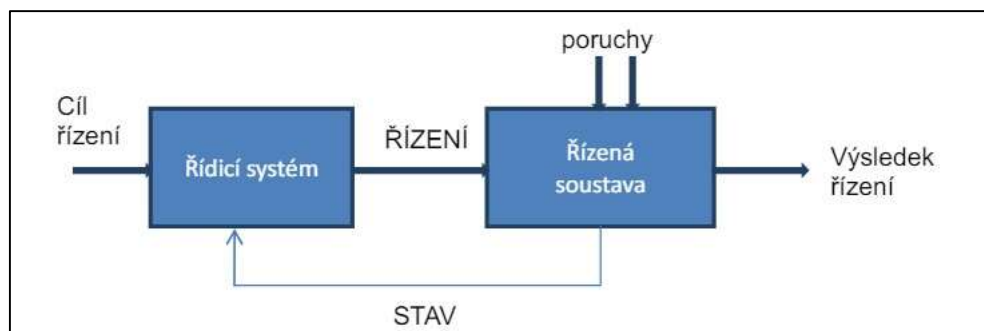
Klasifikace a identifikace rizik jsou nezbytným krokem při analýze rizik, který zahrnuje rozdělení rizik podle fází, ve kterých vznikají, a identifikaci faktorů, které mohou mít vliv na projekt. Hodnocení rizik je prováděno na základě pravděpodobnosti a dopadů, přičemž je důležité porovnávat různé varianty řešení a modely. [7]

Analýza následků je důležitou součástí analýzy rizik, která zahrnuje posouzení sociálních, ekonomických a ekologických následků. Proces řízení rizik se skládá z analýzy, hodnocení a plánování bezpečnostních opatření, a jeho cílem je odhadnout možná rizika a navrhnout opatření k jejich zmírnění. [7]

## 2.7 Řídicí systémy v tunelu

Jak již z názvu vyplývá, jedná se o systémy, které kromě poskytování informací dokážou i řídit. Řízení dělíme na 3 úrovně:

- operativní řízení – řídí technologie, procesy v reálném čase rozhoduje v krátkém časovém úseku, pracuje tedy pouze s krátkodobými daty;
- taktické řízení – pracuje s trendy, bilančními hodnotami či historickými daty a rozhoduje na základě získaných dat ve větším časovém úseku (směny, dny apod);
- strategické řízení – řeší strategické plány a dlouhodobé rozhodování a vychází tedy z dat s velkého časového úseku, které mohou být i předzpracované a vytváří se z nich statistické metody. [9]



Obrázek 12: Řídicí systémy [9]

Ze schématu výše tedy vyplývá, že na začátku musí být jasně stanoven cíl řízení a ŘS. Ten poté ovládá řídicí soustavu s cílem dosáhnout či se maximálně přiblížit požadovanému cíli řízení. Na řízenou soustavu mohou působit poruchy, ty je třeba za pomoci nastaveného správného řízení, v maximální možné míře eliminovat. Stav se poté vrací zpět do řídicího systému a dochází k porovnání s požadovaným cílem. Po dosažení cíle a maximální eliminaci poruch je vytvořen výsledek řízení. Je důležité zajistit, že se dosahování cíle provádí nejlepším možným způsobem a samotné řízení je definováno jako cílevědomé působení řídicího systému na řízenou soustavu k dosažení cíle stanoveného na začátku procesu. [9]



ŘS jsou klíčovými komponentami v mnoha odvětvích, které slouží k řízení a monitorování různých procesů a zařízení. Tyto systémy umožňují automatizaci operací, sledování výkonu, detekci a řešení problémů a zlepšení efektivity a spolehlivosti systémů. Dále také systémy integrují hardware, software a senzory k monitorování a řízení provozu a zajišťují spolehlivé a efektivní fungování systémů. ŘS se skládá z těchto komponent:

- HW – fyzické zařízení, které zahrnuje senzory, akční prvky, řídicí jednotky (dále jen ŘJ) a další komponenty potřebné k monitorování a řízení procesů.
- SW – aplikace a algoritmy, které řídí chování systému, zpracovávají data získaná ze senzorů a provádějí rozhodnutí na základě nastavených parametrů.
- Komunikační rozhraní – zajišťuje komunikace s ostatními systémy a zařízeními pomocí rozhraní, jako jsou protokoly komunikace, sítě a rozhraní pro vzdálený přístup.
- Uživatelské rozhraní – umožňuje práci se systémem (zobrazovat data, nastavení, jednoduché operace, ovládání apod.).

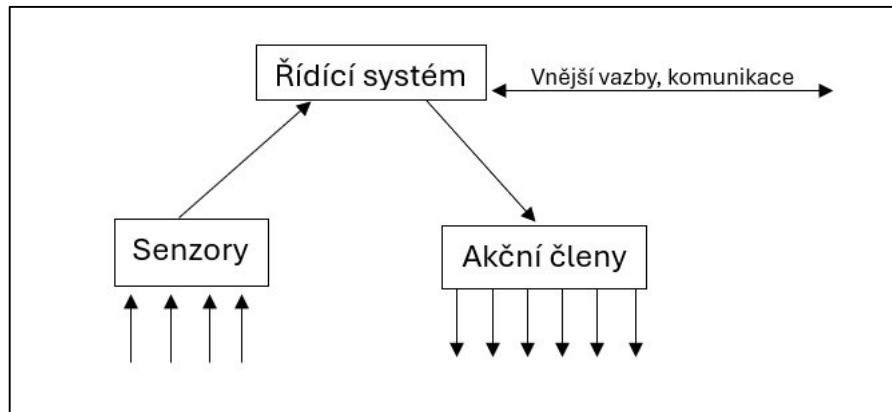
Dále systémy dělíme podle použití a úrovně automatizace na:

- Programmable Logic Controller (dále jen PLC) – specializované řídicí systémy používané v průmyslových aplikacích pro řízení strojů a zařízení v reálném čase.
- Distributed Control System (dále jen DCS) – systémy pro distribuované řízení a monitorování procesů, které se často používají v průmyslových zařízeních.
- Supervisory Control and Data Acquisition (dále jen SCADA) – systémy pro dohled a sběr dat, které umožňují monitorování a řízení rozsáhlých a komplexních systémů, jako jsou vodní hospodářství, energetika a doprava.

Dle TP 98 – Technologické vybavení tunelů a pozemní komunikace je ŘS technologie tunelu specifikován takto: „Integrovaný systém řízení tunelu zajišťuje, že veškeré vstupní a výstupní proměnné jsou k dispozici v libovolném čase a v libovolném řezu systému. Pro komunikaci mezi jednotlivými funkčními celky jsou používány jednotlivé nástroje. Filosofie návrhu tohoto systému integruje sestavu různých zařízení, která řídí jednotlivé procesy (doprava, napájení, ventilace, osvětlení atd.) do jednoho celku s jednotným přístupem a řízených a monitorovaných jedním řídicím systémem.“ Řídicí systém je tedy technické zařízení, které zpracovává informace ze vstupních senzorů (např. měření opacity – průzračnosti vzduchu, jas, koncové spínače na požárních klapkách, stav vodovodu apod.) a na základě těchto hodnot, dle předem stanoveného programu aktivně ovlivňuje funkci akčních členů (ventilátory, osvětlení, PDZ apod.). [18]

### 2.7.1 Řídicí systémy společnosti SPEL, a.s.

V této kapitole si popíšeme ŘS na tunelech na dálnici D8. Schéma níže je vytvořené pro lepší pochopení obecného fungování systému, který vychází z obecných norem a požadavků správců tunelů. [18]



Obrázek 13: Stručné schéma řídicích systémů [18]

Zjištěné provozní informace o vstupních hodnotách a provedených akcích se předávají pomocí komunikační sítě do centra řízení, kde jsou prezentovány prostřednictvím programového vybavení tzv. Vizualizace dispečerovi nebo operátorovi, který má možnost děj nejen sledovat, ale i aktivně do děje zasahovat. Obsluha má tedy přístup k aktuálním datům v reálném čase o stavu technologií a dopravě v tunelu a provádí dohled nad systémem a jeho ovládání. [18]

## *Technický popis*

Základem ŘS je progresivní systém ControlLogix od firmy Allen Bradley. Jedná se o nejvýkonnější modulární ŘS z řady Logix, pro kterou je charakteristické velmi výkonné procesorové jádro umožňující on-line programování jednotným vývojovým softwarem RSLogix5000. Modulární architektura tohoto systému umožňuje např. výměnu všech jednotek pod napětím, osadit více procesorů do jednoho rámu nebo konfiguraci všech modulů s HW a SW diagnostikou. Základem celého ŘS je jedna hlavní procesorová stanice v redundantním zapojení určená pro vlastní řízení tunelů. Hlavní řídicí stanice zpracovávají informace z podstanic, které jsou řešeny pomocí vzdálených rámu osazených vstupními a výstupními moduly pro výměnu informací s navazujícími zařízeními. Tyto podstanice komunikují s hlavní řídicí stanicí přes průmyslovou redundantní komunikaci Ethernet/IP DLR a jsou umístěny v PTO. Přes Ethernet/IP je napojen i vizualizační server, na kterém běží aplikace FactoryTalk View SE, která zpracovává informace z hlavní řídicí stanice a distribuuje je dál do klientské stanice. Tyto klientské stanice zobrazí dispečerovi/operátorovi stavy zařízení v tunelu a předává zpět informace o povelích. [18]

Sestava hlavní řídicí stanice se skládá ze dvou identických hlavních procesních stanic v redundantní konfiguraci. To znamená, že hlavní procesní stanice jsou zdvojené a obsahují dva nezávislé napájecí zdroje, dva procesory, zdvojené komunikační jednotky a systémové redundantní moduly zajišťující vysokou stabilitu a odolnost systému proti výpadkům a poruchám. V redundantním řešení je aplikace vykonávána v primárním systému, včetně veškeré komunikace. V sekundárním systému běží identická úloha a přes 2 optické vlákna pomocí modulu RM jsou veškerá data synchronizována s primárním řídicím systémem. Pokud dojde k výpadku primárního ŘS přebírá řízení aplikace sekundární systém, toto probíhá beznázově a ostatní zařízení mohou bez přerušení pokračovat komunikovat s ŘS. Sběrnice Ethernet zajišťuje napojení procesní stanice na nadřazený systém (SCADA) a na další technologicky navazující procesní stanice. Navazující provozní soubory jsou do podstanic vzdálených vstupů a výstupů připojeny dvěma způsoby. První je za pomoci HW I/O vazeb, tedy analogových nebo binárních signálů do vstupně výstupných modulů ve vzdálených rámech. Druhou možností je pomocí komunikačního rozhraní standardizovaného typu nebo Ethernet s definovaným protokolem, ten musí být standardní a jeho popis volně dostupný (zařízení s uzavřeným protokolem nelze implementovat). Pro napojení těchto komunikačních linek slouží speciální komunikační moduly umístěné ve vzdálených rámech ControlLogix nebo komunikační moduly PointIO. Napojení se poté týká jednotlivých provozních souborů. [18]

## Konfigurace a popis komunikační sítě

- Technologická úroveň – RS232/485 a Ethernet. Na této úrovni jsou připojeny vzdálené rámy s I/O moduly a ostatní subsystémy.
- Procesní úroveň – tvořena sítí Ethernet/IP 100Mbit a slouží pro propojení programovatelných automatů, panelů operátora a datových serverů vizualizačního systému. V této úrovni se předávají i data mezi PLC.
- Informační úroveň – využívá Ethernet 1Gbit a data do této úrovně poskytují redundantní páry serverů pro HMI. Zde se počítá s možným propojením do další nadřazené úrovně. Servery jsou opatřeny dvěma síťovými kartami Ethernet, kdy druhá karta je připojena na procesní úroveň. Toto oddělení procesní a informační úrovně je klíčové pro zajištění vysoké datové propustnosti.
- Nejvyšší úroveň – ta propojuje Středisko Správy a Údržby Dálnice (dále jen SSÚD) Nová Ves, Řehlovice a Petrovice a je napojená na informační úroveň.

Aplikace pro řízení a monitorování tunelu jsou tedy propojeny přes platformu Factory Talk, která zajišťuje jednotné aplikační a vývojové prostředí pro všechny 4 tunely na dálnici D8 (Panenská, Libouchec, Radejčín a Prackovice). [18]

Vizualizace monitoruje veškerou technologii a umožňuje je ovládat. Konkrétně se jedná o tyto technologie:

- Monitorování a ovládání PDZ v tunelu a jeho okolí
- Monitorování a ovládání vzduchotechniky v tunelu
- Monitorování a ovládání osvětlení v tunelu
- Monitorování a ovládání rozvodů elektrické energie v tunelu
- Monitorování a ovládání kamerového systému v tunelu a okolí
- Monitorování a ovládání evakuačního rozhlasu v tunelu
- Monitorování fyzikálních veličin měřených v tunelu
- Monitorování EPS a EZS
- Monitorování hodnot sčítačů dopravy
- Monitorování stavu SOS hlásek

Vizualizace je nainstalována na dvou serverech, z nich jeden je záložní, a dvou klientských stanicích. Aplikace je typu client-server, což znamená, že aplikace fyzicky poběží na serveru a klientská stanice pouze bude zobrazovat obrazovky generované serverem. Pro účely údržby a diagnostiky jsou v prostorách PTO umístěny operátorské panely, které umožňují ovládání v servisním módu. [18]

Veškerá data jsou archivována do centralizované SQL databáze, ze kterých je možné zpracovávat reporty ohledně historie zásahů do systému, historie poruch apod. [18]

Factory Talk View je tedy nástroj pro dohled a řízení – SCADA. Má snadno rozšiřitelnou architekturu, která podporuje aplikace s distribuovanými servery a s mnoha uživateli a současně umožňuje udržet informace za všech okolností zcela pod kontrolou. Aplikace na vizualizaci (Factory Talk View) komunikující přes Factory Talk získává informace přímo z datového serveru, které jsou součástí ŘS. Informační bezpečnost je zajištěna bezpečnostními službami firmy Rockwell Software společně s integrovanými bezpečnostními službami operačních systémů Microsoft Windows. Klíčovými vlastnostmi pak jsou:

- Trending okamžitých a historických dat
- Záznam dat
- Záznam aktivit operátora
- Grafická knihovna objektů s možností importu
- Alarming pro rychlé upozornění
- Možnost otestování editované obrazovky apod. [18]

## 2.8 Shrnutí kapitoly

V této kapitole jsem si vytvořila teoretický základ pro diplomovou práci. Analyzovala jsem současný stav informačních systémů, které jsem zde popisovala z obecného hlediska. Dále jsem zkoumala možné metodiky tvorby IS a životní cyklus takových systému a vytvořila si tak v hlavě možný postup návrhu svého systému, ke kterému bych ráda využila kombinaci více přístupů a proto bude nutné navrhnout a vytvořit vlastní schéma postupu tvorby IS.

Definovala jsem si obecně architekturu systému včetně všech potřebných podkapitol ohledně typů a konkrétních příkladů, abych mohla zvolit nejvhodnější a pro můj systém neoptimálnější přístup. Jako nejvhodnější se zatím jeví třívrstvá architektura díky vcelku jednoduchému principu uplatnění na můj IS.

Dále jsem zkoumala databáze a vše k nim potřebné – databázový jazyk, transakční zpracování, optimalizace dotazů nebo způsoby datového modelování. U této problematiky je zásadní správně napojit databázi na celkový systém a již na samém počátku definovat data, se kterými bude systém pracovat pro zamezení chybovosti. Je tedy nutné jasně definovat jakou strukturu bude mít databáze, a jaké dokumenty a informace bude databáze využívat, a jak s nimi bude dále nakládat. I zde se tedy nabízí vytvořit přehledové seznamy dat, se kterými se bude pracovat. Napojení by mělo být známo již z architektury systému. Dále jsem se krátce věnovala i bezpečnosti dat a analýze rizik. Kapitoly jsou stručné, jelikož volně navazují na již zpracovanou analýzu rizik v mé bakalářské práci.

V poslední části jsem se věnovala ŘS využívaných přímo na tunelech obecně, a dále jsem podrobněji popsala systém z mojí vybrané lokality, ze které mi byla poskytnuta data pro následující analýzu.

IS a ŘS jsou oba důležitými nástroji, ale mají různé účely a funkce. IS se zaměřují na shromažďování, ukládání, zpracování a distribuci informací v rámci organizace. Tyto systémy pomáhají spravovat a analyzovat data, aby mohly efektivně rozhodovat a plánovat. Na druhou stranu, řídicí systémy jsou navrženy k tomu, aby umožnily organizaci monitorovat a řídit své operace v reálném čase. Tyto systémy zahrnují senzory, ŘJ a automatizované procesy, které umožňují organizacím provádět operativní rozhodnutí a řídit své procesy a zařízení s minimálním lidským zásahem. Zatímco IS se zaměřují na poskytování informací pro strategické a analytické účely, ŘS se zaměřují na řízení a monitorování provozu a procesů v reálném čase

## 3 ANALÝZA DAT

### 3.1 Možné metody zpracování dat

Zde si uvedeme 3 možné přístupy zpracování dat: Bayesovské sítě, Fuzzy modelování, metoda Black-box nebo jiné běžné statistické metody. Nejprve si uvedeme teorii ohledně jednotlivých metod, kdy u všechny byly mnou vyhodnoceny jako vhodné pro použití. Podrobněji se zaměříme na Bayesovské sítě a jejich využití na svých datech v kapitole 4 v rámci vlastního zpracování dat.

#### 3.1.1 Bayesovské sítě

Bayesovské sítě jsou statistické modely, které umožňují reprezentovat a analyzovat pravděpodobnostní vztahy mezi proměnnými. Tyto sítě se využívají k modelování nejistoty a rozhodování v prostředí s nejistými informacemi. Zpracování dat za použití Bayesovských sítí se skládá ze tří hlavních kroků: modelování, učení a inferenční analýzy. [32]

V prvním kroku, modelování, se vytvoří grafická reprezentace vztahů mezi proměnnými prostřednictvím uzlů a hran. Uzly reprezentují proměnné a hrany reprezentují závislosti mezi nimi. Tento model se často vytváří na základě znalostí o doméně problému a dostupných dat. Druhým krokem je učení, které spočívá v odhadu parametrů modelu na základě pozorovaných dat. To zahrnuje určení pravděpodobností vztahů mezi proměnnými a aktualizaci modelu s ohledem na nové informace. Posledním krokem je inferenční analýza, během které se využívá model pro odhad pravděpodobností neznámých proměnných na základě pozorovaných dat. To může zahrnovat predikci budoucích událostí, klasifikaci, klasifikaci nebo odhad rizika. V kontextu tunelových technologií mohou být Bayesovské sítě využity k predikci poruch a k posouzení rizik spojených s provozem a údržbou tunelů. Sítě mohou integrovat různé typy dat, včetně geologických, geotechnických, hydrologických, provozních a údržbových informací, aby identifikovaly potenciální rizika a poruchy. Konkrétně mohou:

- predikovat pravděpodobnost vzniku poruch na základě historických dat
- analyzovat vliv různých faktorů, jako jsou geologické podmínky, fyzikální veličiny nebo provozní zatížení, na pravděpodobnost vzniku poruch
- identifikovat klíčové faktory a proměnné, které mají vliv na bezpečnost
- poskytnout doporučení pro prioritizaci údržby a oprav
- monitorovat stav tunelu v reálném čase a detekovat anomálie a změny

### 3.3.2 Fuzzy modelování

Fuzzy modelování je matematická metoda, která se zabývá zpracováním neurčitosti a nejistoty v datech a informacích. Tato technika vychází z fuzzy logiky, která umožňuje pracovat s nejednoznačnými termíny a koncepty, které nelze přesně definovat jako v případě tradiční logiky. Fuzzy modely jsou často využívány v situacích, kdy není k dispozici dostatek přesných dat nebo kdy je potřeba zachytit expertní znalosti a subjektivní hodnocení. [7]

Jedním z klíčových prvků fuzzy modelování pro predikci poruch je vytvoření fuzzy pravidel, která mapují vstupní podmínky (např. provozní parametry tunelu, stav infrastruktury, meteorologické podmínky) na výstupní hodnoty (pravděpodobnost výskytu poruchy). Tato pravidla mohou být definována na základě expertních znalostí o provozu tunelu a historických dat o poruchách.

Dalším důležitým aspektem je vytvoření fuzzy inferenčního systému, který kombinuje fuzzy pravidla a vstupní data k určení pravděpodobnosti výskytu poruchy. Tento systém může být implementován jako fuzzy neuronová síť, která je schopna adaptivně se učit a upravovat své parametry na základě nových dat. Jedná se o sofistikovaný model, který kombinuje sílu neuronových sítí s flexibilitou fuzzy logiky, což umožňuje řešit složité problémy. [7]

Výhody této metody jsou:

- schopnost zachytit neurčitost a nejistotu v datech a informacích
- flexibilitu při zachycování komplexních vztahů mezi vstupními a výstupními proměnnými
- možnost využít expertní znalosti a subjektivní hodnocení při tvorbě pravidel a modelů
- schopnost přizpůsobit se novým podmínkám a datům prostřednictvím učení
- může vést k lepšímu plánování údržby, prevenci havárií a zvýšení spolehlivosti a bezpečnosti tunelových systémů



### 3.3.3 Black-box metoda

Black-box metoda je přístup k modelování systémů, který se zaměřuje na získávání informací o chování systému pouze na základě jeho vstupů a výstupů, aniž bychom znali interní strukturu systému. U tunelových technologií se nezkoumá interní fungování tunelu, ale spíše se analyzují data získaná z různých senzorů a monitorovacích zařízení umístěných v tunelu. Data z těchto senzorů jsou poté analyzována a zpracována pomocí různých metod, jako jsou statistické analýzy, strojové učení nebo prediktivní modelování.

Black-box metody mohou být využity pro predikci poruch u tunelových technologií následujícím způsobem:

- Analýza dat: Data získaná ze senzorů v tunelu jsou sbírána a analyzována, aby byly identifikovány vzory a anomálie, které mohou naznačovat možné poruchy.
- Strojové učení: Metody strojového učení, jako jsou klasifikační algoritmy nebo regresní modely, mohou být trénovány na historických datech o poruchách a provozních podmínkách tunelů. Tyto modely mohou poté být použity k predikci budoucích poruch na základě nových dat.
- Prediktivní analýza: Na základě statistických analýz a prediktivního modelování mohou být odhadnuty pravděpodobnosti výskytu různých typů poruch v tunelu v určitém časovém období. Tato informace může být použita k plánování údržby a preventivních opatření.
- Monitoring a detekce: Black-box metody mohou být také použity k monitorování provozu tunelu a detekci nepředvídaných změn nebo anomálií, které by mohly naznačovat případné poruchy nebo problémy.

Mezi výhody této metody patří:

- metoda není závislá na detailní znalosti interní struktury tunelu nebo složitých fyzikálních procesech
- umožňuje zachytit tuto komplexnost a identifikovat vzory a anomálie v datech, které by jinak mohly být přehlédnuty
- strojové učení a prediktivní modelování se umí přizpůsobit změnám v provozních podmínkách, a to umožňuje dynamické aktualizace predikcí a reakce na nové informace
- analytické nástroje a algoritmy mohou být automatizovány, což umožňuje kontinuální monitorování a detekci poruch bez potřeby manuálního dohledu nebo zásahu

## 3.2 Sběr dat a procesní návrhy

Tunely spadají do kritické infrastruktury, a proto je zapotřebí udržovat bezpečnost těchto staveb v maximální možné míře, k tomu nám pomáhají data, které na tunelu měříme.

Na Diagnostický Systém (dále jen DS by měly být napojeny kromě technologií i samostatné senzory a ve spolupráci s dodavatelem zajistit možnost předpovídat poruchy některých částí senzorů pro zamezení dob nefunkčnosti některých technologií.

Mělo by být definováno, že se data budou do databáze odesílat po určitých časových intervalech a zpracovávat DS, který bude fungovat na principu jednoho z dříve zmíněných modelů (Bayesovské sítě, Fuzzy modelování nebo metoda Black-box). Systém bude již naučený z dostupných historických dat a bude se průběžně učit na stále nových datech. Tímto způsobem budeme moci naučit systém zautomatizovat některé opakované scénáře bez nutnosti zásahu dispečera/operátora dopravy. Už nyní je systém vybaven některými standardizovanými postupy, kterými se řídí u určitých scénářů právě obsluha tunelu.

Vstupy tedy budou veškerá data naměřená v tunelu a bude nutné zajistit jednotné formáty dat, pro co nejjednodušší zpracování. Data budou mít definované „cesty“ a způsoby zpracování a ukládání. Dalším vstupem budou servisní karty, které vykazují záznam o provedení údržby na dané technologii či části tunelu. Karty se budou vyplňovat elektronicky, aby byly dodrženy správné a schválené formáty, díky nutnosti přihlašování při vkládání karet nebude nutné podepisovat karty ručně při odesílání karet ke schválení správci tunelu. Součástí bude možnost vkládat zprávy z revizí a jiných měření, pro ulehčení sběru kompletní dokumentace z každého servisu.

Za výstupy pak považujeme požadavky na servis pro zjištění anomálií či poruchy, reporty o servisu, reporty z jednotlivých provozních souborů nebo jednotlivé změny v ŘS, které provedl DS po pravidelném vyhodnocení naměřených dat.

Informace přímo od sčítače a o případných uzavírkách tunelu budou předávány přímo na Národní Dopravní Informační Centrum (dále jen NDIC), kde budou poskytovány dále dle jejich procesů. Součástí bude i systém hlášení poruch, kdy systém bude vybaven kontakty na servisní organizace a informacemi z tabulky ze smlouvy – stupeň závažnosti, lhůta pro odpověď, dojezdové doby, časy odstranění poruchy a časy nutné pro informovanost o průběhu opravy.

Systém bude sám tyto připomínky o informovanosti poskytovat ve formě emailu s odkazem na vyplnění dotazníku o průběhu postupu prací na odstranění poruchy.

Při zjištění poruchy tak rozsáhlé, že nebude možné opravu zafinancovat v rámci servisu a bude nutné vypsát výběrové řízení nebo větší opravu nechat soutěžit, bude systém napojen na stávající systém vypisování soutěží a nabídek od správce tunelu. Systém sám bude umět po schválení od správce kalkulovat přibližné ceny za větší opravy díky přístupu k archivu oprav i s cenami. Finální znění nabídky nebo soutěže bude nutné schválit příslušným orgánem před jeho vložením do veřejné části systému pro potencionální zájemce o nabídky.

Zmíněné procesy budou implementovány nejprve v DD pro řádné otestování správného toku dat a kvalitních a spolehlivých výstupů. Nedílnou součástí databáze bude také evidence o proškolených zaměstnancích – dispečeri, operátoři dopravy, zástupci servisních organizací, tunelový technici apod. Systém bude schopen upozorňovat a plánovat pravidelná školení jednotlivých zaměstnanců díky provázanosti s DD určeným i pro trénink obsluhy tunelu.

### 3.3 Komunikace a přenos dat

Internet věcí (dále jen IoT) představuje revoluční koncept propojení fyzických zařízení s internetem, což umožňuje vzájemnou komunikaci a výměnu dat mezi nimi. Tento fenomén přináší řadu inovativních možností a potenciálů v mnoha odvětvích.

IoT zařízení mohou být různorodá, patří k nim například senzory sbírající data o okolním prostředí, stavu zařízení nebo provádějí měření různých veličin. Zařízení IoT jsou propojena s internetem prostřednictvím různých technologií, včetně bezdrátových sítí (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee), mobilních sítí (3G, 4G, 5G) a specializovaných IoT sítí (LoRaWAN, NB-IoT).

Data ze senzorů jsou přenášena do cloudových datových center (naše Databáze), kde jsou ukládána, zpracovávána a analyzována. To umožňuje generovat užitečné informace a znalosti pro uživatele. Na základě analyzovaných dat lze vyvíjet aplikace a poskytovat služby, které využívají inteligentní automatizaci, prediktivní analýzy, umělou inteligenci a strojové učení.

Výhody IoT:

- Zvýšená efektivita: Automatizace procesů a vzdálené monitorování umožňují zlepšení efektivity a optimalizaci využití zdrojů.
- Lepší rozhodování: Data a analýzy poskytují informace, které umožňují lépe informovaná a přesná rozhodnutí.
- Inovace a konkurenceschopnost: IoT umožňuje vytváření nových produktů a služeb a posiluje konkurenceschopnost firem na trhu.

### 3.4 Realizace systému

Nejprve je nutné před započítím samotné realizace definovat jaké subjekty se tohoto procesu zúčastní. Zde je potřeba podotknout, že jedna firma může zaštitit více těchto pozic.

- Správce tunelu
- Správce aktuálního systému
- Servisní organizace
- Tvůrce nového systému

Dále je nutné předem definovat způsob udělení oprávnění při práci na systémech, aby se zamezilo možným výpadkům, a v případě nutných výpadků plánovat tyto změny na systému v rámci uzavírek v tunelu. Z důvodu, že tunely spadají pod kritickou infrastrukturu je zapotřebí zajistit u všech zúčastněných stran smlouvy o mlčenlivosti a splnit veškeré náležitosti o ochraně osobních údajů.

Před zahájením prací na systému budou veškerá data zálohována na dalším nezúčastněném uložišti v případě jakýchkoliv problémů při realizaci a možné ztrátě dat. Jasně se stanoví pravidelnost schůzek ohledně prodiskutování postupu prací a případných požadavků na změny. Schůzky by měly být vedeny každé 2 týdny přes MS Teams videokonference či u jedné ze zúčastněných stran.

Následně se přistoupí k samotné realizaci. Prvním krokem bude zajištění přidání monitoringu potřebných senzorů z technologické i stavební části. Následně se přejde k tvorbě DD, systému pro urychlení procesu realizace systému a vytvoření nástroje pro simulaci procesů do budoucnosti. Dále pak přijde na řadu revize stávající databáze, její úpravy a stanoví se pravidla pro zálohu dat. Společně s tím dojde k revizi řídicího systému, způsobu řízení a ovládání technologií pro maximální automatizaci procesů.

Po dohodnutí, který ze statistických modelů bude využit pro DS (Bayesovské sítě/Fuzzy modelování/metoda Black-box) se tento DS vytvoří a napojí se pouze na Digitální Dvojče (dále jen DD) a databázi, kde bude přicházet na řadu učení modelu na historických datech pro zajištění maximální spolehlivosti výstupů systému. Pro tvorbu reportu bude statistický model spolupracovat s AI, jako příklad jsem uvedla Bayesovské sítě.

Kombinace Bayesovských sítí s Artificial Intelligence (dále jen AI) umožňuje automatickou analýzu dat a generování informací a závěrů z velkého množství informací. Nejprve Bayesovská síť zanalyzuje historická data a identifikuje faktory, které ovlivňují určité události či stavy a poté použije tuto znalost na predikci budoucích událostí a poskytne doporučení na základě současných podmínek a trendů. Využití AI systému jako nástroje pro generování reportů zajistíme lepší přesnost a spolehlivost těchto výstupů a umožníme všem zúčastněným lépe porozumět datům a informacím.

Po naučení diagnostického systému na historických datech za pomoci DD a databáze dojde k otestování vkládání vstupů do databáze a využití těchto nových dat k predikci budoucích stavů a událostí. Otestuje se kromě vytváření reportů i tvorba požadavků na servis a rozesílka servisních karet. To vše za pomoci simulace v digitálním dvojčeti pro maximální otestování našeho diagnostického systému.

V posledním kroku dojde ke schválení celkové realizace a odsouhlasení napojení DS a DD na ŘS tunelu. Zrealizuje se kontrola těchto vazeb a přechází se na zkušební provoz.

### 3.5 Zkušební provoz systému

Jedná se tedy o provoz, který má celý systém připravit na skutečný provoz a slouží také k zachycení možných chyb a nepřesností v systému. Přestože nám velkou část zkoušek systému může zajistit DD je potřeba IS otestovat na skutečném systému.

Po celou dobu zkušebního provozu, který může trvat i přes 2 roky, je třeba sledovat a vyhodnocovat veškeré kroky, které systém podniká, protože je zapotřebí udržet požadovanou úroveň řízení tunelu a predikce poruch. Reporty budou ve zkušebním provozu tvořeny v rádech týdnů, pro zajištění maximální kontroly.

Stále budou probíhat pravidelné schůzky všech zúčastněných organizací pro zajištění případně dalších požadavků na systému nebo pro optimalizaci stávajících procesů. Může se jednat o malé či větší zásahy (přidání kolonky pro další spolupracovníky či kompletní změna procesů s daty). Dále bude probíhat pravidelná kontrola aktuality dokumentace tunelu pro zajištění, co nejnovějších zpráv apod.

Kromě sledování poruch na tunelových technologiích bude sledován i samotný IS z hlediska analýzy rizik, spolehlivosti a poruchovosti pro zajištění maximální bezpečnosti a funkce IS. Samotný IS bude pravidelně aktualizován na nejnovější software a firewall.

Po Zkušebním provozu přijde na řadu vyhodnocení IS.

## 3.6 Vyhodnocení systému

V rámci vyhodnocení se dostáváme ke zpracování dlouhodobější statistiky z několika hledisek:

- Spolehlivost predikce
- Práce se systémem (user-friendly)
- Srozumitelnost reportů a výstupů
- Včasných a správných upozornění
- Správnosti řízení
- Zpracování dat
- Rychlost vyhodnocení
- Správné vazby mezi prvky systému

Dále by se mělo zodpovědět několik otázek z řad všech zúčastněných stran pro kvalitní vyhodnocení vytvořeného IS po zkušebním provozu. Mezi tyto otázky patří:

- Splňuje IS stanovené cíle?
- Jsou rizika v přijatelné míře?
- Vyplatí se provoz a správa IS?
- Jsou nutné další změny a investice?
- Jaká je návratnost IS?

Po vyhodnocení odpovědí se přechází do 3 možných variant postupu: Vyladění, Ukončení nebo Provoz a servis.

## 3.7 Vyladění systému

V případě dohody, že bude systém dále upravován a testován, přecházíme do fáze Vyladění, kde dle vzniklých požadavků zpracujeme změny a požadavky.

Systém následně musí opět projít procesem schvalování, realizace, kratším zkušebním provozem a vyhodnocením. Pokud systém naplní očekávání může se pokračovat dále na Provoz a údržbu.



## 3.8 Provoz a údržba systému

Nejdelší částí v životním cyklu systému, pokud se vyhodnotí jako potřebný, je provoz. Pro zajištění maximální životnosti systému je třeba mít předem stanovený plán údržby, který se bude dodržovat. Bude stanovena jedna firma (ideálně zhotovitel IS), která bude zodpovídat za veškerý provoz, údržbu a kontrolu systému.

Na systému se pravidelně bude kontrolovat kvalita výstupních reportů a budou se využívat nejaktuálnější verze všech využívaných programů pro zajištění maximálního výkonu a nejvyšší možné bezpečnosti IS. Je také třeba dbát na řádně proškolený personál, který bude se systémem pracovat, aby se předešlo možným fatálním chybám ze stran lidských zdrojů. Je nutné, aby byl systém i připravený a dostatečně flexibilní na možné rozšíření v případě, že investor bude chtít zlepšit či přidat nové funkce za provozu systému. Je tedy vhodné, aby správce IS byl připraven i na průběžně nové ladění za pomoci DD, které značně ulehčí některé procesy.

## 3.9 Ukončení systému

Již při návrhu IS je třeba být připraven na možné budoucí ukončení fungování IS. Důvody mohou být různé. Mezi častější můžeme řadit:

- Morální důvody – neposkytuje uživatelům dostatečnou hodnotu nebo kvalitní služby, systém způsobuje škodu nebo se neslučuje s etickými principy organizace apod.
- Finanční důvody – návratnost není dostatečná nebo náklady přesáhly snesitelné hranice, které firma stanovila a dále
- Smluvní důvody – došlo k vypršení licencí, správce IS/správce tunelu se neshodly na podmínkách apod.
- Změny v hlavních cílech – systém již nesplňuje požadované cíle a nelze ho upravit
- Zastaralost IS – nutnost přechodu na úplně nový systém a nemožnost aktualizace
- Nesoulad s legislativou – došlo ke změnám v právní oblasti, které již neumožňují chod systému

Součástí návrhu musí být smlouva o poskytnutí veškerých naměřených dat správci tunelu v případě možnosti zániku systému. Je důležité zanalyzovat celý, ale i jednotlivé části IS a posoudit, zda není vhodné využít alespoň jeho části pro vybudování nového IS.

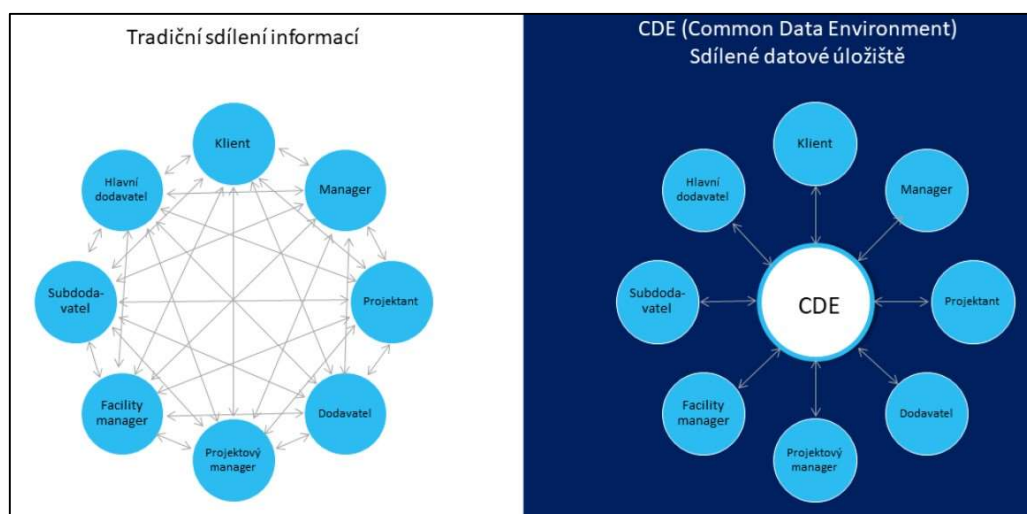
### 3.10 Využitelnost v BIM

BIM je revolučním přístupem k tvorbě a správě dat o stavbách po celou dobu jejich životnosti. Jedná se o vytváření digitálních modelů budov, které obsahují detailní informace o fyzické struktuře i funkcionalitě objektu. Tyto modely můžeme považovat za DD staveb, které slouží jako otevřená databáze informací a usnadňuje proces jejich realizace a následně i provozu. Avšak BIM není pouze statickým modelem – spíše se jedná o dynamický proces, který vyžaduje změnu pracovních postupů v celém stavebním odvětví. Přechod na BIM není jen o implementaci nového softwaru, ale o přijetí nové metodiky práce, která podporuje efektivní spolupráci mezi všemi účastníky stavebního procesu. [23,24]

Mezi výhody využití BIM patří:

- Úspora času
- Udržitelnost
- Snížení chybovosti
- Větší kontrola nad celým projektem
- Efektivita a produktivita
- Kvalita a spolehlivost

Jedním z klíčových prvků BIM je sdílení informací v reálném čase pomocí společného datového prostředí (CDE). Toto prostředí slouží jako centrální zdroj informací, které umožňuje jednoduchou správu a distribuci dat v rámci celého projektového týmu. Díky tomu se minimalizuje riziko chyb a nedorozumění a zajišťuje se jednotná a aktuální verze informací pro všechny účastníky projektu. [24,25]



Obrázek 14: Srovnání přístupů [25]

BIM může být velmi užitečný i v případě tunelových staveb. Zde je několik konkrétních způsobů, jak lze využít BIM v této oblasti:

- Dokumentace a digitální modely: BIM umožňuje vytvoření detailních digitálních modelů tunelů obsahujících veškeré relevantní informace o geometrii, struktuře, instalacích, zařízeních a dalších důležitých prvcích. Tyto modely pak mohou sloužit jako základ pro dokumentaci tunelu, což usnadňuje provoz údržbu.
- Plánování údržby a oprav: Na základě detailních digitálních modelů lze vytvořit plány údržby a oprav, které přesně určují, kde je potřeba provést údržbu, jaké práce je třeba provést a jaké materiály a zdroje budou potřeba. To pomáhá optimalizovat provozní procesy a minimalizovat časové a finanční náklady spojené s údržbou.
- Monitoring stavu a výkonnosti: BIM může být integrován s technologiemi monitorování stavu infrastruktury, jako jsou senzory pro sledování deformací, vibrací a jiných fyzikálních veličin. Tato data lze pak analyzovat a porovnávat s informacemi z digitálních modelů, což umožňuje průběžně monitorovat stav tunelu a identifikovat potenciální problémy nebo potřebu údržby.
- Simulace a řešení havarijních situací: BIM může být využit k vytvoření simulací havarijních situací, jako jsou požáry, záplavy nebo nehody. Simulace mohou být použity k plánování evakuačních postupů, optimalizaci záchranných operací a zlepšení celkové bezpečnosti tunelu.
- Historická data a analýzy: BIM může sloužit jako centrální úložiště historických dat o tunelu, včetně informací o provozu, údržbě, opravách a dalších událostech. Tato data lze pak analyzovat a použít k identifikaci dlouhodobých trendů, optimalizaci provozních postupů a plánování budoucí údržby a investic. [23,26,27]

Z praxe můžeme zmínit několik tunelových staveb v zahraničí, které pracovaly s metodikou BIM: Silvertown (Anglie), Rastatt (Německo), Hallandsas (Švédsko) nebo Rogfast (Norsko). [27]

BIM teda představuje mocný nástroj pro využití v rámci tunelových staveb, avšak je nejnvhodnější ho využít na tunelové stavby již v procesu návrhu tunelů z důvodu zajištění použitelnosti a správnosti veškeré potřebné dokumentace. Zkušenosti z aktuální praxe nám shrnul výrobně-technický ředitel Metrostavu Ing. Filip Křesťan na posledním ročníku programové konference TEK 2024, který očekával, že díky BIM se zvýší efektivita, ale v praxi se setkali s tím, že 80% dat, která jim byla poskytnuta byla nepoužitelná nebo se na ně v mnohých případech nedalo spolehnout.

### 3.11 Shrnutí

V první části jsem hledala vhodné metody pro statistické zpracování a predikci. Jako nejvhodnější z nich se mi jeví Bayesovské sítě – s nimi jsem se setkala již během studia a mají nejvíce výhod pro využití právě na dlouhodobá tunelová data. Využití metody na datech pak nalezneme dál.

Dále jsem se zaměřila na to, jak by měl probíhat sběr dat a navrhla procesy, které ulehčí práci s daty. Byla tedy definována vize sběru dat pro můj IS. V rámci komunikace je nejjednodušší využít IoT díky mnohým výhodám popsaných v kapitole o Komunikaci.

V následujících částech došlo k podrobnějším popisu práce nad systémem od realizace až po ukončení systému. Byly definovány subjekty, postupy prací a navržena spolupráce statistickým modelů s AI. Dále jsem popsala, jak probíhá následný zkušební provoz, vyhodnocení, vyladění a provoz a údržba systému.

V poslední teoretické části jsem se věnovala využitelnosti BIMu pro můj systém, kdy je třeba řádně zkontrolovat kvalitu dokumentace na tunelech před samotným zapojením BIMu. V praxi u nás se totiž BIM setkává i s nedostatečnými podklady pro využití.

## 4 ZPRACOVÁNÍ DAT

Každý balíček dat, byl před zahájením práce nad daty, upraven. Docházelo k odmazání pro nás nezajímavých sloupců či odmazání špatně naměřených dat. Dále se upravoval formát u datumu a času pro jednodušší zpracování a vyhodnocení. Data byla dodána ve formátu .xlsx a dále byl načítán do RStudia, kde se s data zpracovávala. Rstudio bylo zvoleno kvůli jeho dostupnosti a jednoduchosti v rámci nástrojů ke zpracování velkých objemů dat. V poslední části se pak budu věnovat využití Bayesovských sítí na jeden z balíčků dat.

### 4.1 Jazyk R a RStudio

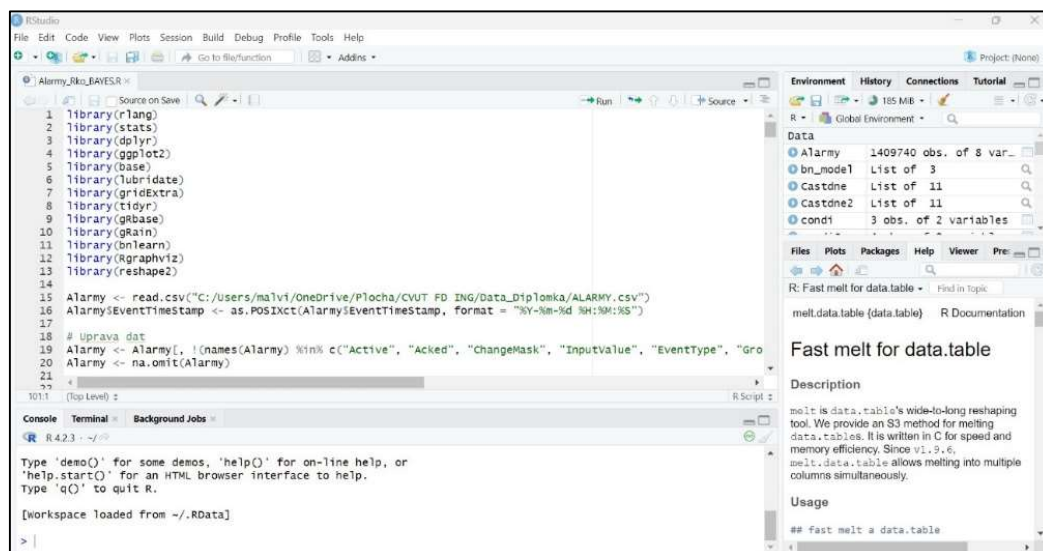
Data, která mi byla poskytnuta jsem zpracovávala v RStudiu. RStudio je software určený pro analýzu dat, vizualizaci a statistické programování. Jedná se o open-source software, což znamená, že jeho zdrojový kód je veřejně dostupný a může být upravován komunitou uživatelů.

Jazyk R slouží k statistickým výpočtům a grafickému zpracování dat a poskytuje široké spektrum statistických a grafických technik. Jedná se o open-source software distribuovaný pod licencí GNU (General Public License). R obsahuje nástroje pro manipulaci s daty, výpočty, grafické zobrazení a programování. Uživatelé mohou rozšířit funkčnost R pomocí balíčků (knihoven).

Hlavním důvodem zvolení tohoto softwaru bylo tedy kromě volně dostupné licence a představení v rámci předmětu Práce s daty na fakultě také:

- Velká komunita uživatelů – hodně dostupných příkladů zpracovaných dat
- Kvalitní dokumentace – software je vybaven online videoprůvodce a obsahuje velké množství testovacích dat
- Vše v jednom – R umí vše od načítání, úpravu, vizualizaci nebo strojové učení
- Jednoduchý nástroj – programovací jazyk je vhodný i pro úplné začátečníky

RStudio má obecné menu a čtyři hlavní panely: konzolu, editor, přehled prostředí R a soubory. Každý panel může obsahovat několik záložek, jako je zobrazení grafů, nápověda, balíky a historie. Tyto záložky umožňují různé funkce, jako je vyhodnocování kódu v konzoli, editace a ukládání skriptů v editoru, prohlížení objektů v prostředí R, prohlížení souborů a adresářů, vykreslování grafů, zobrazování dokumentace a správa balíčků. Software můžeme vidět na další straně. [28,29]



Obrázek 15: Prostředí RStudio

## 4.2 Alarmy

Prvním balíčkem dat jsou Alarmy, ty vznikají na základě nenadálých událostí – informace obsahují: Datum a čas, Závažnost události, Prioritu, samotnou zprávu a třídu události.

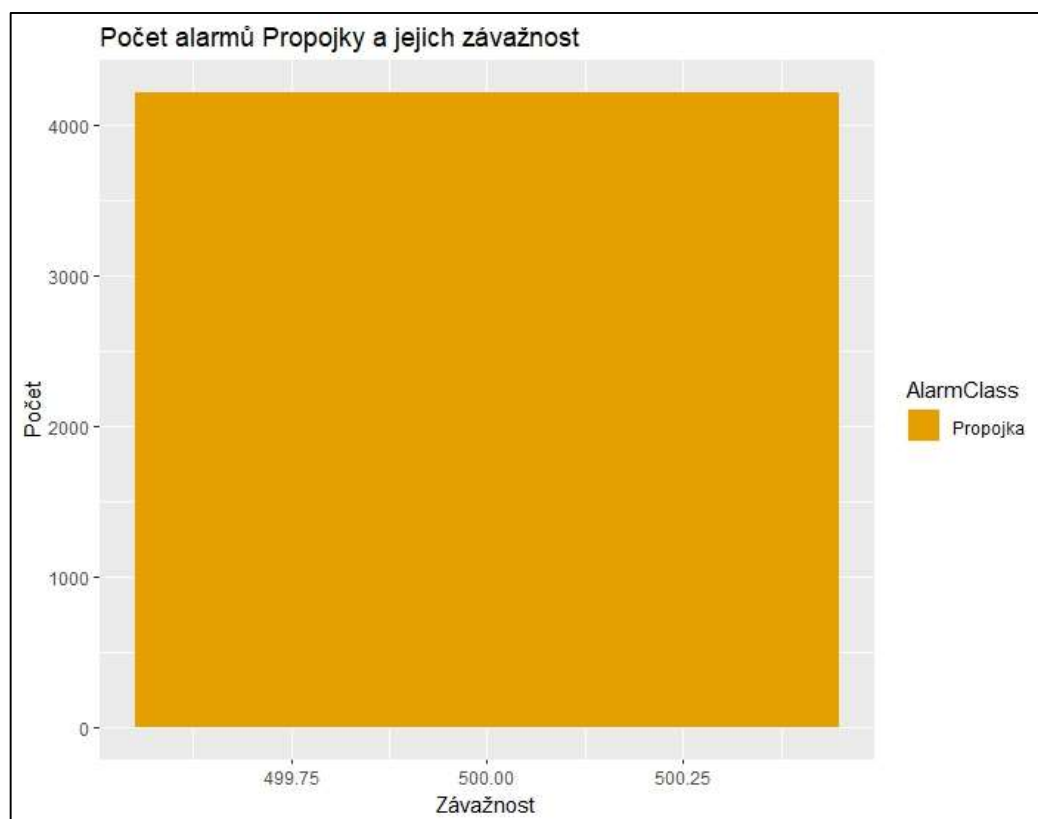
Data byla přijímána z různých technologických celků v tunelu a seznam alarmů rozdělených dle třídy události od jednotlivých PS můžeme vidět níže:

- Závory – porucha komunikace s ŘS, poruchy otevření/zavření
- VZT – blokace chodu, porucha zapnutí/vypnutí, porucha jističe, porucha soft startéru, porucha vibrací, porucha na vybavení
- Ohřev požárního vodovodu – porucha připravenosti, porucha zapnutí hydrantu, výhřev není v automatickém režimu
- Vrata – porucha komunikace s ŘS, porucha otevření/zavření
- Videodetekce – porucha komunikace s ŘS, porucha komunikace se serverem
- UPS – provoz na baterii, sumární porucha
- SOS hlásky – porucha komunikace s ŘS, porucha komunikace s ústřednou, odcizení výbavy, otevřené dveře, jistič SOS, přepětová ochrana SOS, sluchátko nesvití, blikáč neblinká
  - SOS na trase – dveřní kontakt, porucha komunikace s ŘS, nabíjení baterie, výpadek napájení, vybitá baterie
- Sčítač – porucha komunikace
- Propojka – dveře otevřeny
- Požární klapka – porucha komunikace, porucha otevření/zavření

- Osvětlení – porucha komunikace s ŘS, porucha jasoměru, obecná chyba, porucha zapnutí, porucha ŘJ
- MX – výpadek napájení, sumární porucha jištění, nabíjení baterie, porucha komunikace
- Meteostanice – porucha komunikace
- Měření výšky – dlouhodobé zastínění snímače, detekované vysoké vozidlo, detekováno vozidlo v opačném směru
- Rozhlas – porucha zóny, porucha mikrofonního pultu, globální porucha systému
- EZS – ztráta napájení, sumární porucha, neoprávněný vstup do PTO, PTO odbezpečeno, porucha komunikace, odkódováno, poplach (vniknutí osoby)
- Fyzikální veličiny – mimořádný stav od opacity, zvláštní stav od opacity, mimořádný stav od CO, zvláštní stav od CO, mimořádný stav od NO<sub>2</sub>, zvláštní stav od NO<sub>2</sub>, provozní větrání od CO, provozní větrání od NO, provozní větrání od NO<sub>2</sub>, provozní větrání od opacity
- EPS – vyhlášen poplach, sumární porucha, porucha akumulátoru, chyba komunikace mezi ústřednou a FibroLaserem, porucha komunikace s ŘS, hlásič v chybě
- Energetika – výpadek sítě, výpadek jističe, výpadek systému pro měření, porucha baterie, ztráta napětí, 22 kV, vybavení proudového chrániče, otevřené víko pojistek, není možné přejet na druhé trafo, nejsou splněny podmínky pro přejetí traf, porucha zapnutí, porucha připravenosti, chyba přejetí na trafo, přepálená pojistka, požadavek na přejetí traf na začátku nového měsíce, chyba při zapínání traf, přívodní napětí není v pořádku
- Dopravní značení – porucha komunikace s ŘS, porucha komunikace s meteo značkou, porucha komunikace se sčítačem, porucha jištění, chyba nastavení symbolu, chyba nastavení polohy
- Dieselagregát – systém není v automatickém režimu, souhrnná porucha, hladina paliva minimální, hladina paliva maximální, hladina paliva hav. maximální, porucha komunikace s ŘS
- Diagnostika – vybavení přepětové ochrany, SOS v poruše, porucha zdroje, SOS v poruše, přepálená pojistka, porucha zdroje
- Voda – zaznamenán pohyb, zaplavený prostor, spadlý ovládací jistič čerpadla požární vody, spadlý jistič, souhrnný výpadek jističů, provozní maximum (nutno odčerpat), havarijní maximum (nutno neprodleně odčerpat), porucha komunikace s ŘS, porucha fází rozvaděče, není dostatečný tlak vody před čerpadlem, porucha vypnutí

- CCTV – rozděleno vždy dle tunelu a jízdního pruhu. Ztráta videosignálu, vozidlo v protisměru, stojící vozidlo, špatná kvalita videosignálu, předmět na vozovce, pomalu jedoucí vozidlo, detekován kouř, detekován chodec, chyba komunikace
- Komunikace – Most Dobkovičky a Prackovice. Výpadek napájení, porucha komunikace s databází, porucha komunikace, nabíjení baterie, dveřní kontakt, vybitá baterie
- ATS – tlak požární vody vyšší než 10 Bar, podávací čerpadlo v poruše, náhlý odběr požární vody, minimální hladina vody v požární nádrži, porucha čerpadla
- Analogové měření – výstraha, porucha senzoru vibrace, porucha senzoru teploty, porucha senzoru směr větru, režim údržba, požadavek na servis, porucha senzoru, mimo provoz, data nejsou OK

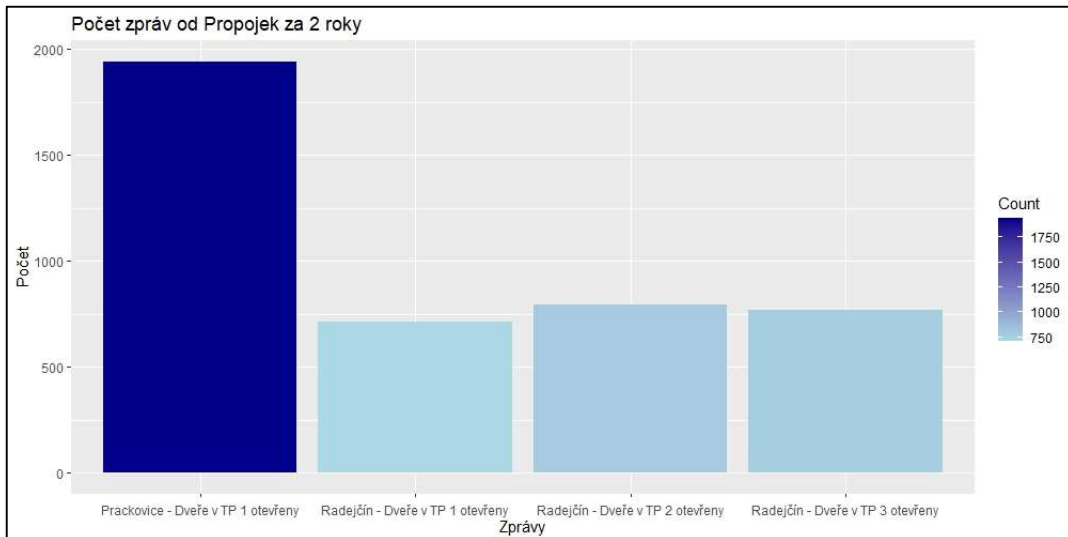
Pro každý vytvořený pod balíček dat bylo vygenerováno několik obdobných grafů. Nejprve obecný graf, který zobrazoval počet vzniklých alarmů a jejich závažnost. Příklad můžeme vidět níže. Graf zobrazuje počet zpráv a jejich závažnost, které přicházely od tunelových propojek. Závažnost se pohybuje v rozmezí 100 – 950. [30]



Obrázek 16: Příklad grafu počtu a závažnosti [vlastní zpracování]

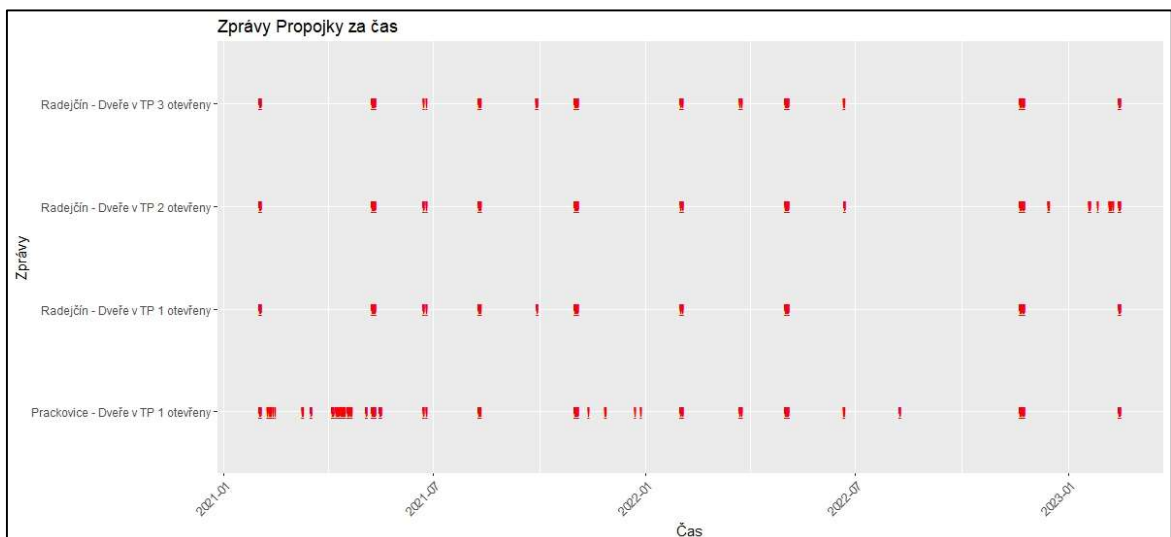


Dále se pro každý balíček tvořil graf, který zobrazuje počet jednotlivých zpráv z dané technologie. Níže vidíme statistiky za 2 roky z tunelových propojek. Nejčastěji otevíranou propojkou je TP 1 v Prackovicích, může to být z toho důvodu, že je to jediná propojka v kratším tunelu. V dubnu 2021 také docházelo k opravě drenáže a k úpravě stavební části a může to být tedy dalším důvod pro vyšší čísla u propojky v Prackovicích. [30]



Obrázek 17: Příklad grafu počtu alarmů [vlastní zpracování]

Posledním grafem byla vždy znázorněná časová osa zobrazující, kdy jednotlivé zprávy od alarmů vznikaly. Při srovnání grafů s ročním harmonogramem proběhla většina otevření dveří do propojek právě v rámci servisu nebo oprav tunelů. [30]

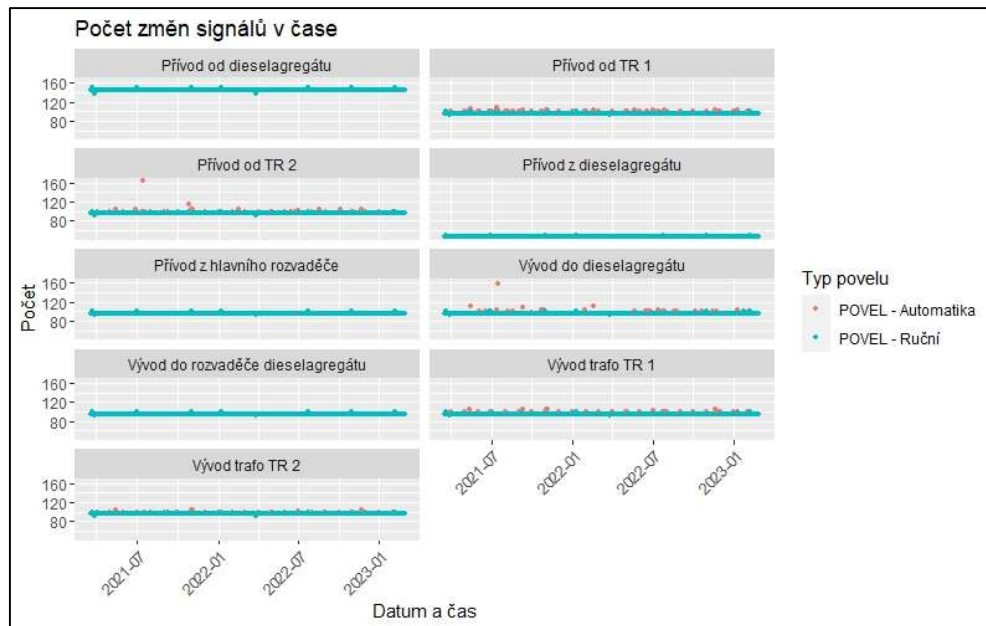


Obrázek 18: Příklad grafu časové osy alarmů [vlastní zpracování]

### 4.3 Energetika

Dalším balíčkem zpracovaných dat je Energetika, která se zabývá informacemi o přívodech a vývodech z dieselařegátu, hlavního rozvaděče a trafostanic. Data jsem rozdělila do 4 podkategorií – povely, stavy, vstupy a výstupy.

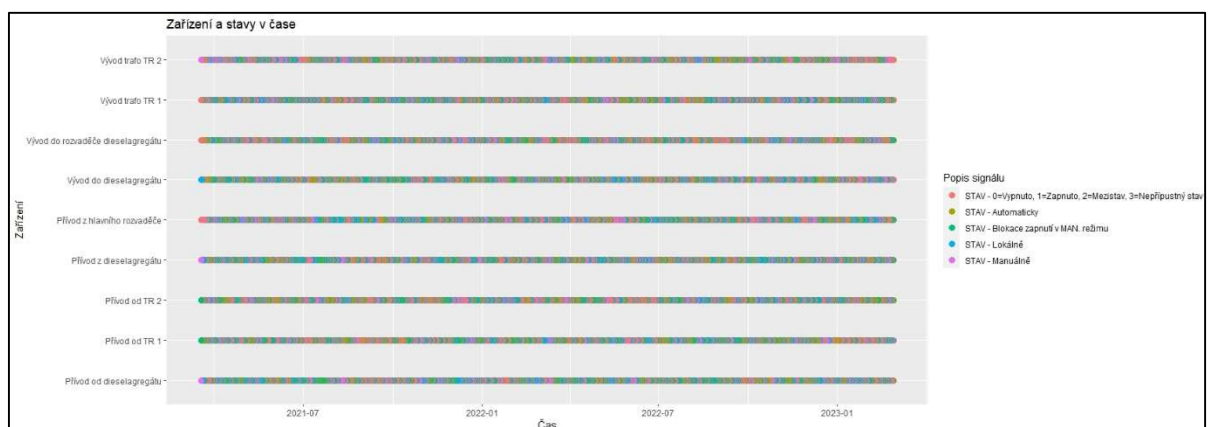
Povely sledují zda byl vyslán automaticky nebo ručně dispečerem/operátorem. Z dat vychází, že lidský faktor ovlivňuje chod energetiky stejně jako automat. Jednotlivé počty změn v čase můžeme sledovat na následujícím grafu.



Obrázek 19: Graf se signály od energetiky [vlastní zpracování]

Stavy ukazují konkrétní změny stavů a jejich řízení.

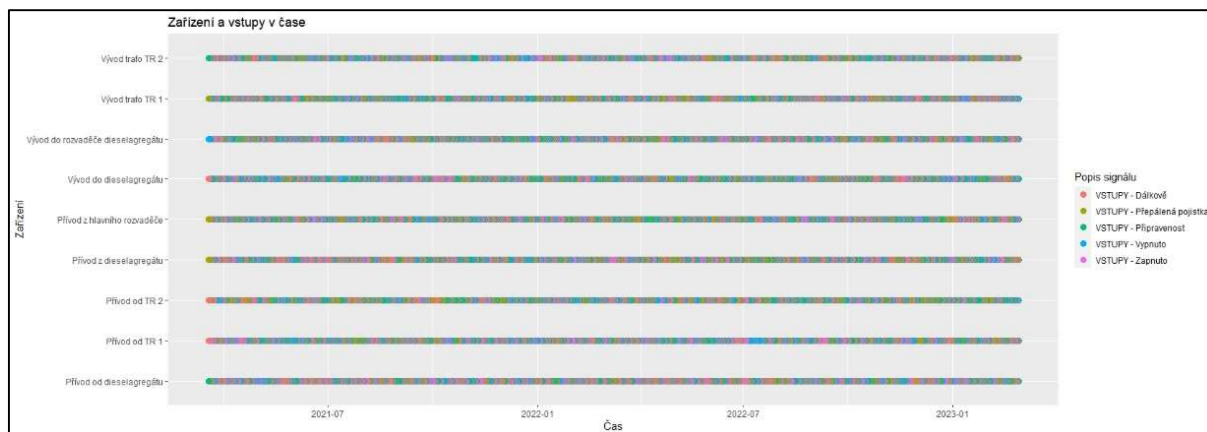
Následující graf nám poté o něco přehledněji zobrazuje, jak se měnily stavy u jednotlivých měřených objektů.



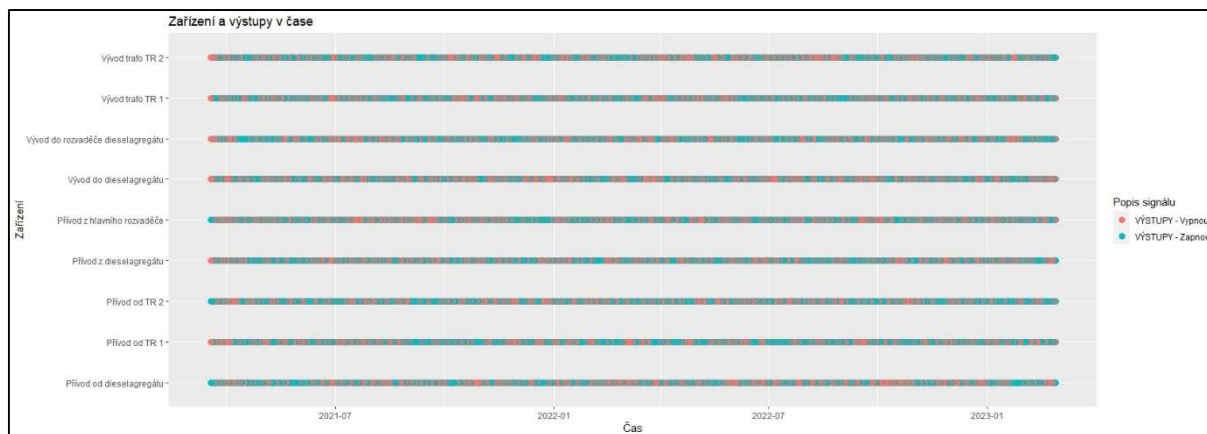
Obrázek 20: Graf zařízení a stavů v čase [vlastní zpracování]

V rámci vstupů a výstupů se sledují základní stavy jako vypnuto, zapnuto připravenost nebo řízení dálkově a dále také přepálené pojistky a u výstupů se sledují pouze dvě hodnoty, a to vypnuto nebo zapnuto.

Následující grafy nám poté o něco přehledněji zobrazuje, jak se měnily stavy u jednotlivých měřených objektů. [30]



Obrázek 21: Vstupy ze zařízení na časové ose [vlastní zpracování]



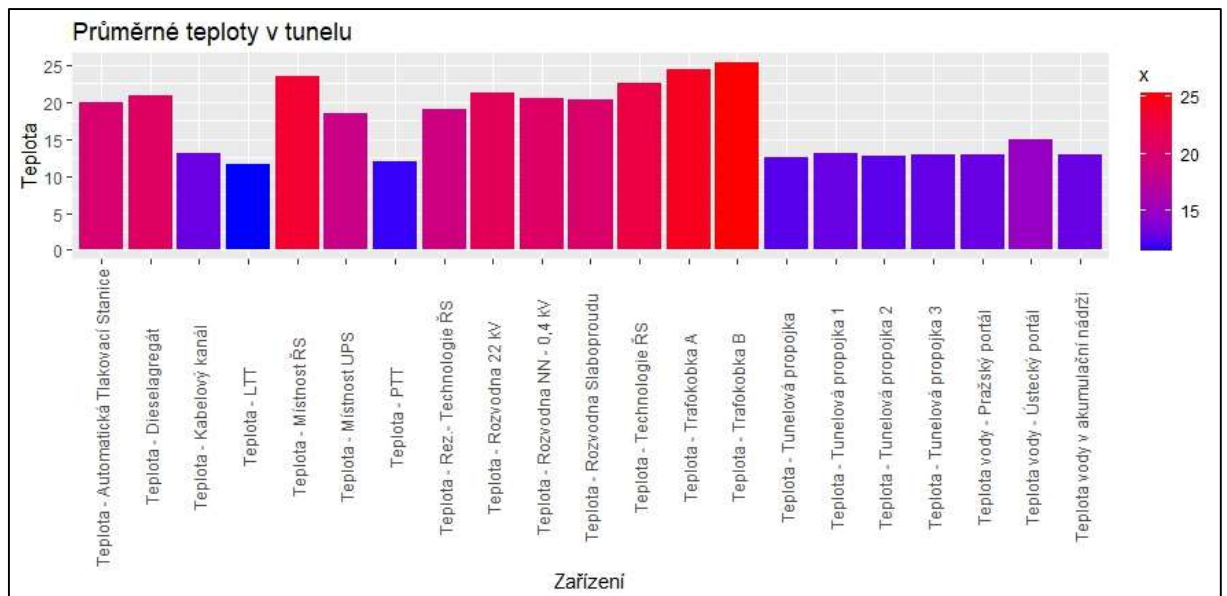
Obrázek 22: Výstupy zařízení na časové ose [vlastní zpracování]

## 4.4 Fyzikální veličiny

Balík dat obsahuje informace o teplotě v tunelu, mlze, směru větru, intenzitě větru, rychlosti větru, opacitě, vibracím na ventilátorech, hladině vody a hodnotách NO, NO<sub>2</sub> a CO.

Teploty se měří na cca 20 místech – u ATS, u dieselagregátu, v kabelové kanálu, LTT, u ŘS, PTT, u UPS, v rozvodnách, v trafokobkách, v propojkách, na portálech nebo v nádrži.

Následující graf ukazuje, že nejvyšší teploty jsou v trafokobkách, kde jsou umístěny trafostanice – to jsou elektrická zařízení, která slouží k přenosu a distribuci energie. Dále nejnižší teploty byly naměřeny přímo v TT a to teploty kolem -5. [30]



Obrázek 23: Graf průměrných teplot v tunelu [vlastní zpracování]

Z fyzikálních veličin se měří oxid uhelnatý (CO), oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>) a opacita.

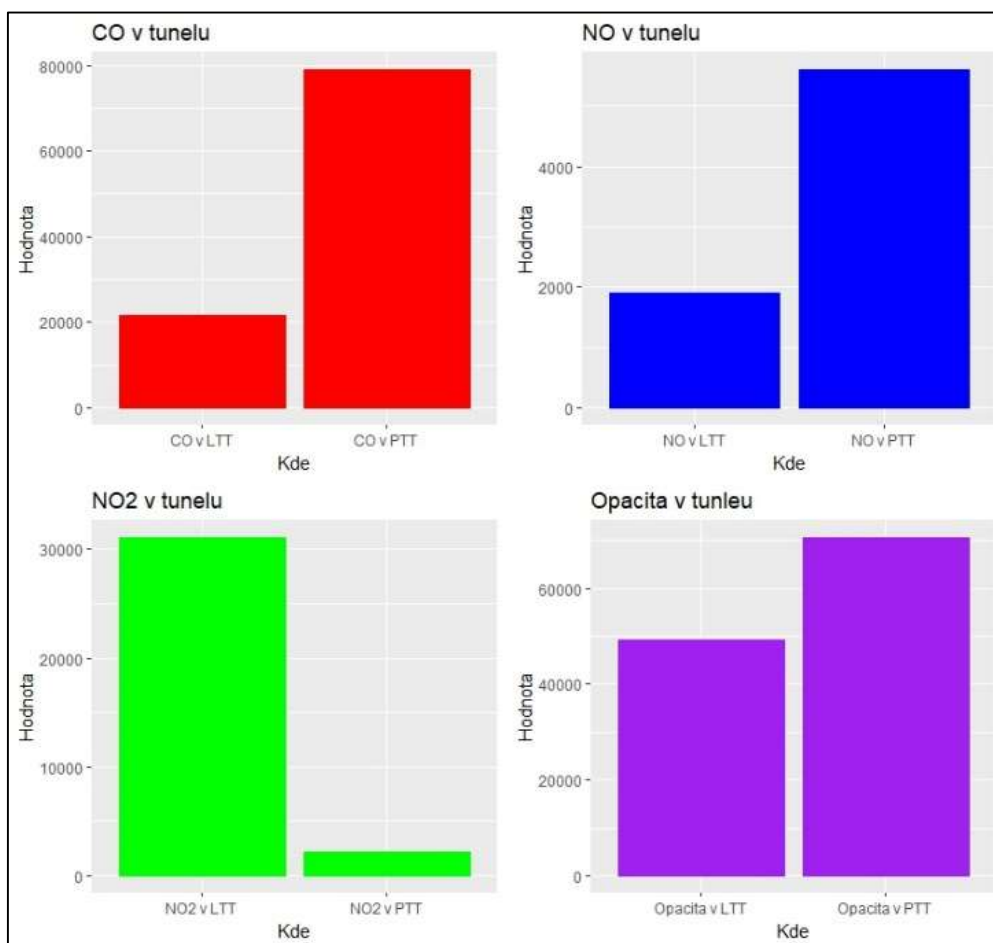
CO je bezbarvý jedovatý plyn bez chuti a zápachu, který vzniká štěpením oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) jako produkt při nedokonalém spalování fosilních paliv. CO se vyskytuje např. v uzavřených prostorech, kde běží spalovací motory a je nutné tyto prostory pravidelně větrat. CO se měří v rozmezí 0 – 300 ppm.

NO je bezbarvý jedovatý plyn, který vzniká v motorech automobilů a přes výfukové plyny se dostává do ovzduší. NO se měří v rozmezí 0 – 45 ppm. [30]

NO<sub>2</sub> vzniká ve spalovacích motorech oxidací vzdušného dusíku hoří velmi vysoké teplotě. Dochází tedy k oxidaci oxidu dusného atmosférickým kyslíkem a ozónem. NO<sub>2</sub> se měří v rozmezí 0 – 1 ppm.

Opacita je schopnost pohlcovat záření (nejčastěji světlo) a zeslabit tím záření všech vlnových délek. V tunelu se jedná o měření viditelnosti. Opacita se měří v rozmezí 0 – 15 l/km.

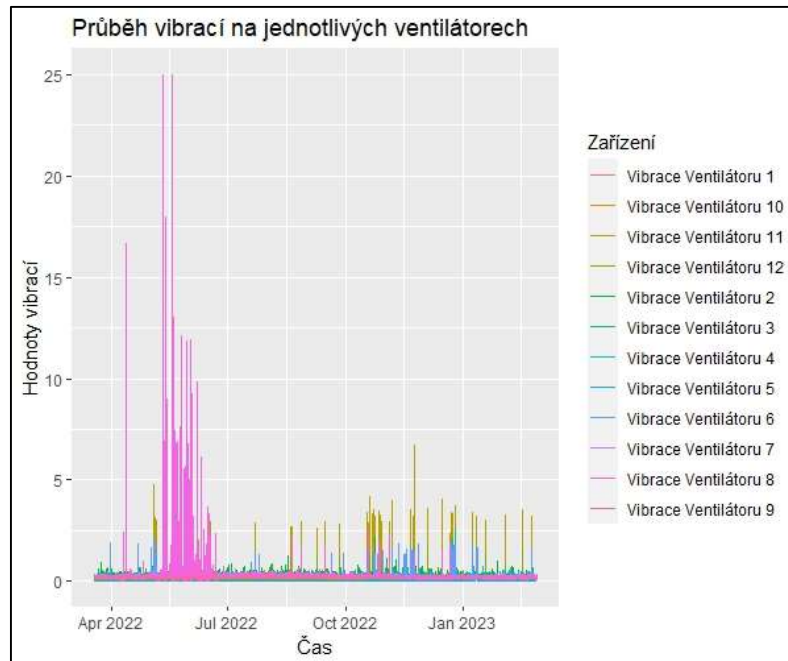
Graf níže ukazuje, že v PTT se většina naměřených hodnot pohybuje ve vyšších hodnotách než v LTT. Toto je způsobeno tím, že PTT je stoupající, a proto zde dochází k větší produkci výfukových plynů než v LTT. Níže vidíme, že hodnoty jsou do databáze ukládány v jiné formátu než se měří. [30]



Obrázek 24: Graf fyzikálních veličin v tunelu [vlastní zpracování]

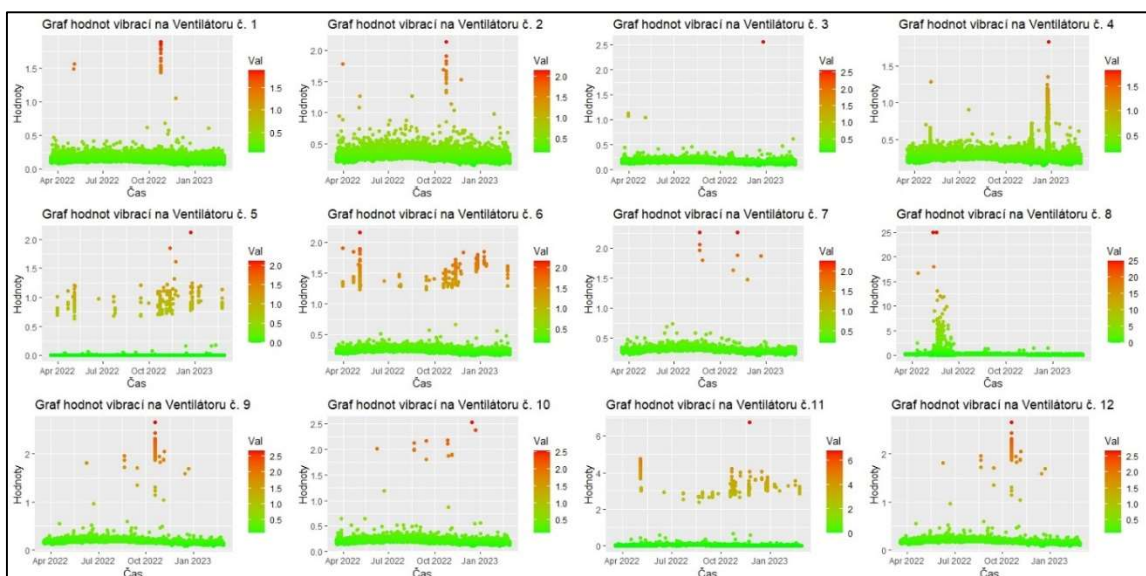
Ventilátory je vybaven tedy pouze tunel Radejčín, a to po 3 párech v každé rouři. Většina naměřených vibrací na jednotlivých ventilátorech se pohybují na nízké úrovni. Měření probíhá v mm/s a při hodnotách vyšších než 10 mm/s se ventilátor ve většině případů vypne a je v nečinném stavu do údržby systému. Výjimkou jsou pak mimořádně situace, při kterých se ventilátor zapíná i přes vyšší vibrace. [30]

Níže na grafu vidíme změny hodnot vibrací za naměřený časový úsek. Ventilátor č. 8 s nejvyššími vibracemi se nachází v LTT a jedná se o ventilátor v prvním páru vpravo ve směru na Prahu. V květnu 2022, kdy probíhala pravidelná údržba a servis ventilátoru odhalila poruchu, jejíž předzvěstí byly právě vyšší vibrace v dubnu. V květnu proběhla diagnostika a monitorování závady a následující měsíc při uzavěře v červnu 2022 proběhla úspěšná oprava a ventilátor od té doby vykazuje nízké hodnoty naměřených vibrací. [30]



Obrázek 25: Graf vibrací ventilátorů v tunelu [vlastní zpracování]

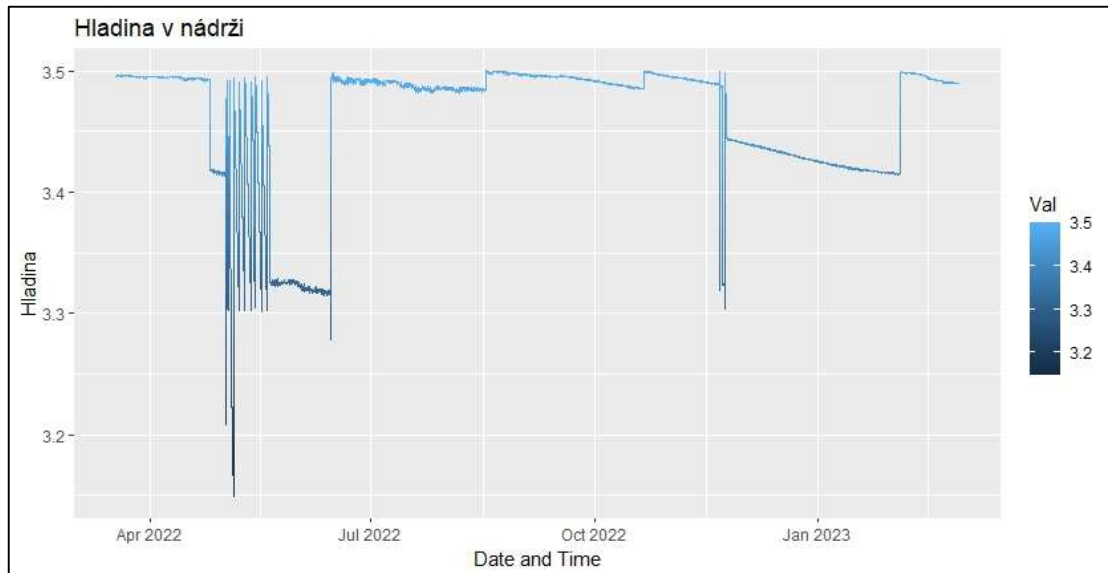
Zde můžeme vidět podrobněji jednotlivé průběhy vibrací na každém ventilátoru zvlášť.



Obrázek 26: Graf průběhu vibrací u jednotlivých ventilátorů [vlastní zpracování]



Pravidelně se také sleduje hladina vody v požární nádrži, která je umístěna u PTO Radejčín. V květnu 2022 probíhalo každoroční velké mytí tunelu, a proto můžeme vidět, že hladina v nádrži kolísala. Stejný případ se udál i v listopadu, kdy probíhalo mytí štěrbinových žlabů. Voda je doplňována z vodovodního řádu a je také případně využívána složkami IZS při vypuknutí požáru v tunelu a jeho okolí. [30]

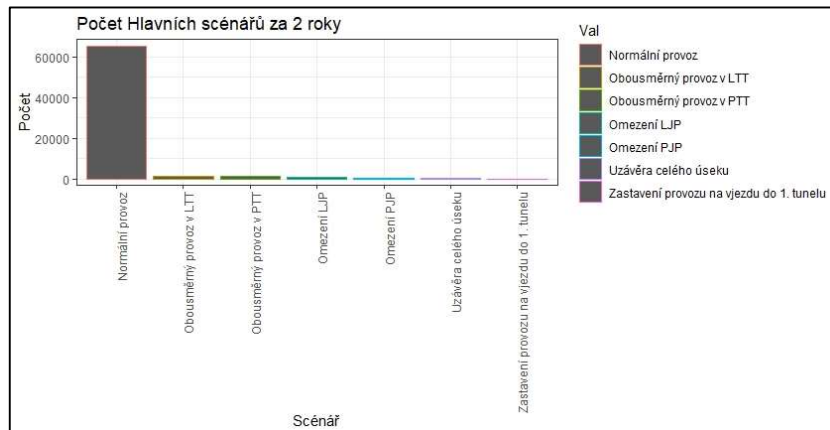


Obrázek 27: Graf změny hladiny v nádrži [vlastní zpracování]

## 4.5 Scénáře

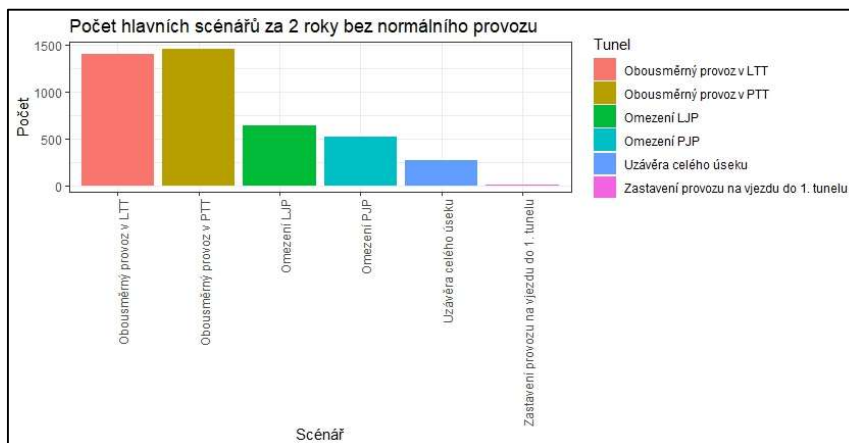
Tyto data nám ukazují počty, a kdy byly jednotlivé scénáře spuštěny na časové ose. Základní rozdělení dat je na typy scénářů – Hlavní, havarijní a doplňkové. U hlavních je dělíme na: Normální provoz, Obousměrný provoz v LTT, Obousměrný provoz v PTT, Omezení LJP, Omezení PJP, Uzávěra celého úseku a Zastavení provozu na vjezdu do 1. tunelu. [30]

### Hlavní scénáře



Obrázek 28: Graf počtu scénářů [vlastní zpracování]

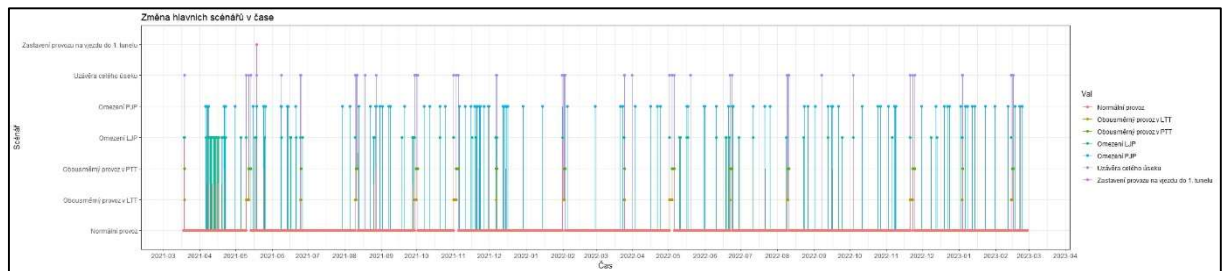
Scénář, který se nejčastěji vyskytoval byl Normální provoz, druhým nejčastějším byl Obousměrný provoz, který vzniká při servisu tunelu, kdy se vždy doprava převede do jedné tunelové trouby a ve druhé probíhá pravidelná údržba. Tunel se také v některých případech zavírá i celý, a to nejčastěji z důvodu mimořádné události – nahlášený požár, nehoda apod. nebo při nutnosti testování těchto technologií, které detekují a reagují na mimořádné události. Zároveň se celý tunel uzavře před a po každé servisu pro zajištění bezpečnosti při převádění dopravy do obousměrného režimu a umístění svislého dopravního značení. [30]



Obrázek 29: Graf hlavních scénářů [vlastní zpracování]



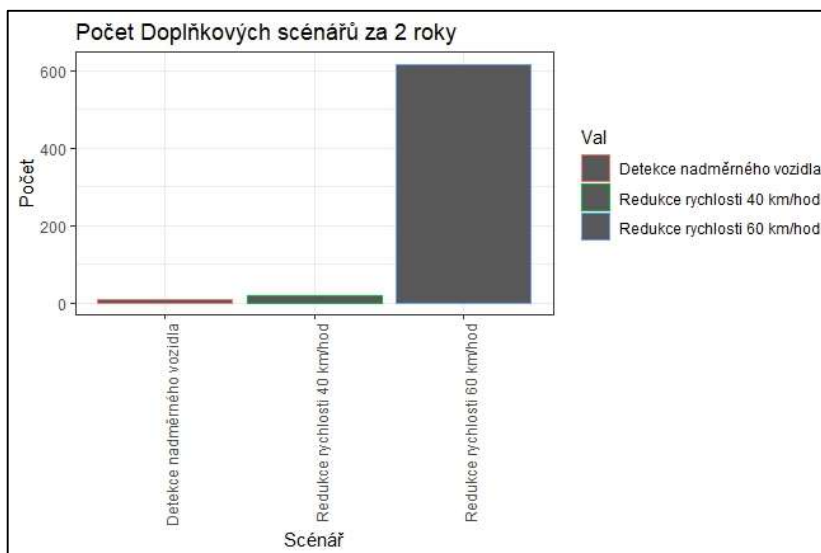
Na grafu níže vidíme časovou osu scénářů. Sledujeme pravidelně se opakující trendy, kdy při uzávěře dochází vždy nejprve k omezení dopravy v jednom pruhu a poté dochází k uzávěře celého úseku a převedení dopravy do obousměrného provozu. Uzávěry a převádění do obousměrného tunelu probíhá za asistence policejních hlídek, které zpomalí a zastaví dopravu cca na 20 minut. Při údržbě se vždy začíná nejprve LTT a poté PTT. [30]



Obrázek 30: Graf změny hlavních scénářů na časové ose [vlastní zpracování]

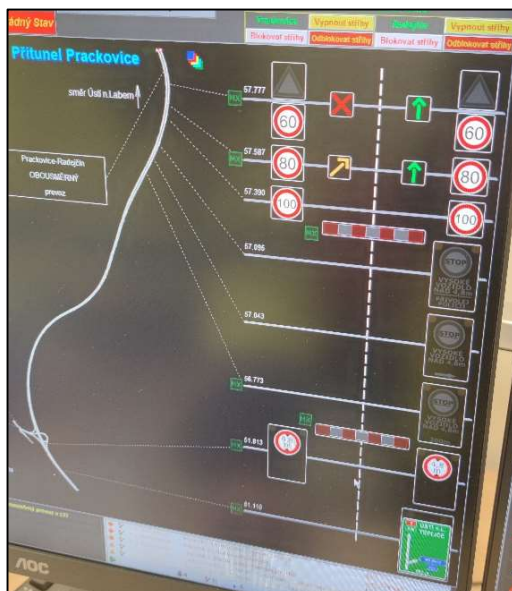
## Doplňkové scénáře

Mezi doplňkové scénáře řadíme i změny rychlostí na 60 km/h a 40 km/h a dále také detekci nadměrných vozidel. Rychlost se snižuje na 60 km/h právě při údržbě nebo při detekci nějaké mimořádnější události – člověk, pomalé vozidlo, vysoké intenzity. Redukce rychlosti slouží k zajištění bezpečnosti, plynulému provozu a k zamezení tvoření kongescí v tunelu. [30]



Obrázek 31: Graf doplňkové scénáře [vlastní zpracování]

U detekce nadměrných vozidel je prostor před vjezdem do tunelu vybaven 3 značkami, které dávají řidiči pokyn k zastavení při překročení maximální možné výšky pro bezpečný průjezd. První nutí vozidlo zastavit za 200m, druhé odklání vozidlo na stání před tunelem a třetí oznamuje přivolání policie pro možnost vyvedení vozidla na alternativní trasu. Toto omezení se vztahuje na vozidla větší než 4,8m. Měření probíhá pomocí paprskového detektoru, který je umístěn na portálu na km 56,6 před zákazovými značkami. Princip tohoto detektoru je jednoduchý – je složen ze 2 částí: vysílač a přijímač. Protne-li vozidlo tento paprsek a přeruší se kontakt mezi těmito dvěma částmi je detekováno nadměrné vozidlo a spouští se sekvence dopravních značek, které by měly vozidlo bezpečně zastavit. Druhý senzor na měření je umístěn na portále na km 60,3. Při průtnutí tohoto paprsku systém automaticky uzavírá tunel zákazovými značkami, aby zamezil vjezdu do tunelu. Systém by měl být spolehlivý i za nepříznivého počasí (déšť, sněžení apod.) a i při překročení povolené rychlosti 80km/h. [30]



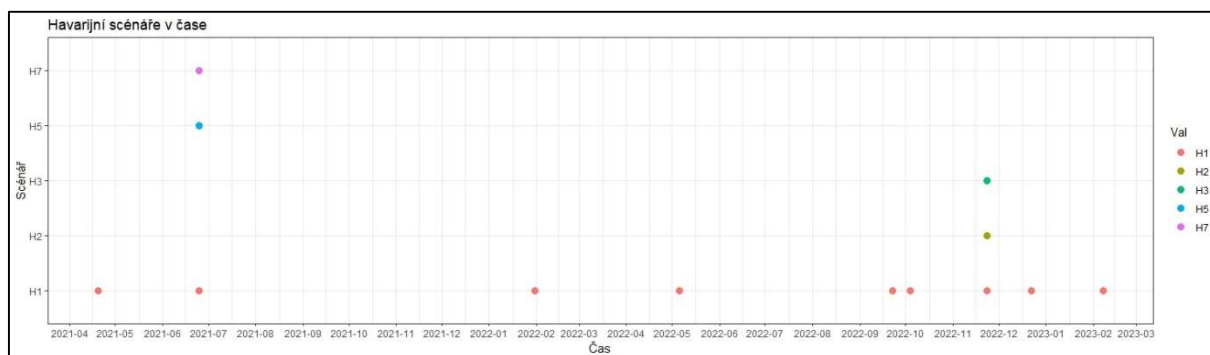
Obrázek 32: Systém detekce nadměrných vozidel a poškozený ventilátor [vlastní zpracování]

Přesto, že je úsek před portály vybaven tímto spolehlivým systémem, na dopravní značení prikazující zastavení někteří řidiči neberou ohled a tunelem přesto projedou. Uvnitř tunelu poté dochází k poškození technologií, níže na fotce vidíme poškozený plášť ventilátoru v tunelu Panenská (nachází se dále na trase do Drážďan), kde je průjezdná výška nižší: 4,5 m. [30]

## Havarijní scénáře

Havarijní scénáře jsou rozdělené, dle provozní dokumentace na úseky H1 – H7. Při vyhlášení havarijního scénáře v určitém úseku dochází ihned k uzavření tunelu do konkrétního staničení. Níže vidíme seznam zmíněných úseků.

- H1 – Prackovice do 58,295km – vjezd
- H2 – Prackovice do 58,390km
- H3 – Prackovice do 58,524km
- H4 – Radejčín do 58,774km – vjezd
- H5 – Radejčín do 58,975km
- H6 – Radejčín do 59,083km
- H7 – Radejčín do 59,186km [30]



Obrázek 33: Graf havarijních scénářů v čase [vlastní zpracování]

Na grafu výše tedy vidíme, kdy došlo k havarijním scénářům za měřené období. Pro určení příčiny vzniku tohoto scénáře bylo nutné pracovat s několika balíčky dat zároveň. Z tohoto balíčku (Dopravní scénáře) jsem si vytvořila seznam těchto havarijních scénářů s přesným datem a časem vzniku. Vytvořila jsem si kód pro filtrování určitého daného časového okna před a po tomto scénáři v balíčku dat Alarmy a Aktivity. Balíček dat Alarmy byl analyzován v předchozích kapitolách a jedná se o poruchy či zprávy od jednotlivých technologií. [30]

Aktivity jsou poté přímé zásahy do systému dispečery či operátory dopravy. Z dat šlo v některých případech o složitý proces mnohdy i hádání a domýšlení, co scénář nakonec spustilo. U většiny případů se jednalo o údržbu v tunelu – probíhalo testování tlačítek na vyhlásování požáru v SOS hlásce nebo bylo detekováno stojící vozidlo v určitém úseku. Tyto scénáře jsme mohli přisoudit údržbě díky dostupným harmonogramům s plány údržby pro roky, ze kterých jsem data zpracovávala. [30]

Dále je možné to přisoudit do údržby díky tomu, že veškeré tyto scénáře byly v zápětí zrušeny dispečery na SSÚD Řehlovice, policií nebo servisními techniky na PTO Radejčín. Další mimořádností bylo spuštění havarijního scénáře po naměření překročení výšky vozidla, ale i zde došlo ke zrušení havarijního scénáře ručně dispečerem, avšak není jasné, zda nadměrný náklad tunelem projel nebo respektoval dopravní značení a před tunelem zastavil nebo mohlo případně jít o zastínění v rámci v servisu čidla.

Dalším příkladem bylo na havarijní scénář upozorněno kvůli mimořádnému stavu opacity v tunelu, toto bylo vyhodnoceno dispečerem jako chybná detekce kvůli hlášené chybě na videodetekci a tato kamera byla na nějakou dobu zakázána, což vyplývá z dat zobrazených v daném časovém intervalu. První obrázek níže nám zobrazuje seznam alarmů v časovém okně, kdy měl být zahájen havarijní scénář a druhý obrázek je seznam úkonů, které provedl dispečer/operátor dopravy na SSÚD Řehlovice. [30]

EventTimeStamp	Severity	Priority	Message	AlarmClass
2022-12-22 02:58:55	700	3	Radejčín - Mimořádný stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:03:50	700	3	Radejčín - Mimořádný stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:04:40	700	3	Radejčín - Mimořádný stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:05:17	700	3	Radejčín - Mimořádný stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:11:23	700	3	Radejčín - Mimořádný stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:12:44	500	2	Radejčín - EP9-K-KD 90404 - Porucha videodetekce	CCTV
2022-12-22 03:12:56	700	3	Radejčín - Mimořádný stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:14:50	500	2	Prackovice - Zvláštní stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:15:18	500	2	Prackovice - Zvláštní stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:16:18	500	2	Prackovice - Zvláštní stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny
2022-12-22 03:17:10	500	2	Prackovice - Zvláštní stav od opacity LTT	Fyzikální Veličiny

Obrázek 34: Výčet alarmů v daném časovém úseku [vlastní zpracování]

TimeStmp	MessageText	Severity	Location	UserID
2022-12-22 03:16:24	LOG_ENTRY: Automat CLX_PRA - KAMERA s Indexem 012 na klientské stanici 2 - Zakázání videodetekce PJP - Detekce kouře	4	SSÚD Řehlovice	Údržba
2022-12-22 03:16:25	LOG_ENTRY: Automat CLX_PRA - KAMERA s Indexem 012 na klientské stanici 2 - Zakázání videodetekce LJP - Detekce kouře	4	SSÚD Řehlovice	Údržba

Obrázek 35: Výčet aktivit dispečerů v daném časovém úseku [vlastní zpracování]

## 4.6 Ostatní data a aktuální práce s daty

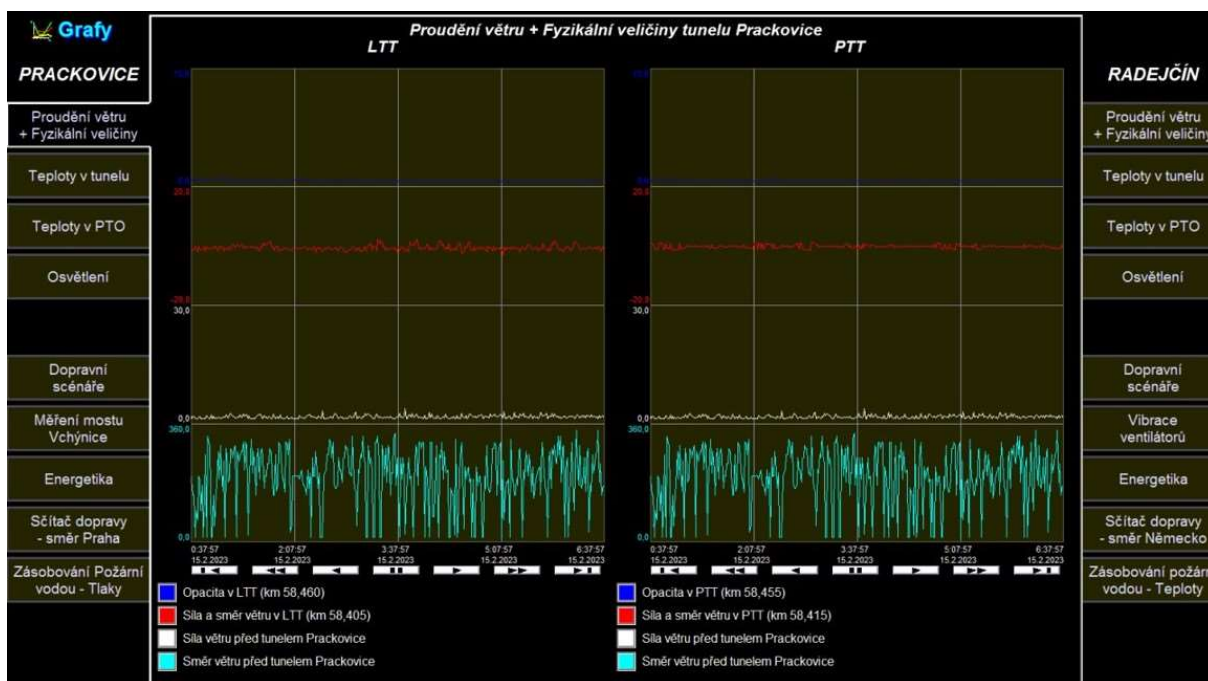
V rámci stavby se umísťují tenzometry, ty jsou používané k měření mechanického napětí nebo deformace v materiálech. Tyto senzory reagují na změny napětí nebo deformace a přeměňují je na elektrické signály, které lze snadno měřit a analyzovat. Existuje několik typů tenzometrů, včetně odporových, polovodičových a optických, každý s vlastními výhodami a omezeními. Tenzometry se po dokončení stavby odpojí a posuny stavby se nehlídají kontinuálně, ale pouze nárazově, kdy se interval kontrol postupně stále zvětšuje až dokud správce tunelu a geodeti neusoudí, že již není nutné provádět kontroly přes tenzometry.

Dále jsou na zárubních zdích a ve svazích v okolí tunelu umístěné inklinometry, ty se využívají k měření sklonu nebo náklonu povrchu vzhledem k určitému referenčnímu bodu nebo osy. Tyto senzory mohou být v různých formách, včetně mechanických, elektromechanických a elektronických zařízení. Inklinometrické měření je proces zjišťování úhlu náklonu nebo sklonu pomocí inklinometru. Ty jsou také pravidelně měřeny za pomoci specializovaných geodetických firem a poskytují z toho správci tunelu určené pravidelné reporty.

U některých tunelů se setkáváme i s měřením za pomoci družic, to využívá technologii Global Navigation Satellite System (dále jen GNSS), jako je GPS, GLONASS, Galileo nebo BeiDou, k určení polohy bodů na svahu. Pomocí dvou nebo více GNSS přijímačů umístěných na svahu je možné sledovat změny polohy bodů v horizontálním a vertikálním směru. Tato technika poskytuje přesné informace o změnách stability svahu a umožňuje monitorovat rizika sesuvu nebo jiných geologických událostí na velkých územích nebo ve složitých terénech. Toto se konkrétně využívá u svahů kolem tunelů na D8, kde se v blízkosti nachází lom a před otevřením úseku se část svahu zhroutila na ještě neotevřený úsek dálnice.

Dále z měřených dat vyplývá, že u některých senzorů je sledován i jeho stav – samotný senzor hlásí, že je v poruše. Správce systému však z dat nevyčte, proč je senzor v poruše. Při servisu musí dojet servisní organizace a napojit senzor na svůj systém a diagnostiku pro zjištění poruchy – to velice prodlužuje případnou dobu nefunkčnosti senzoru. Zpravidla se totiž nestává, že se senzor opraví na místě kvůli nemožnosti předem zjistit, která součástku bude nutné vyměnit a je třeba tyto náhradní díly zajistit do následující uzávěry v rámci servisu.

Aktuální přístup k datům dovoluje zobrazovat v rámci aktuálního ŘS ty to grafy: Proudění větru a opacita, Teploty v tunelu a PTO, Stav osvětlení, Stav dopravních scénářů, Měření na mostě, Energetiku, ASD a zásobování vodou a tlak. Grafy se zobrazují pouze za konkrétní časové období bez možnosti nějakého srovnání či možné predikce průběhu. Na vizualizaci si můžeme zvolit ze dvou tunelů – vlevo výběr z tunelu Prackovice a vpravo výběr pro tunel Radejčín. Uprostřed se nám zobrazí až 2 grafy, pokud jsou data dělena na LTT a PTT. Příklad jednoho z grafů můžeme vidět níže. Graf na obrázku nám ukazuje hned 4 informace o fyzikálních veličinách – opacita a síla a směr větru na 3 různých místech.



Obrázek 36: Grafy ve vizualizaci systému

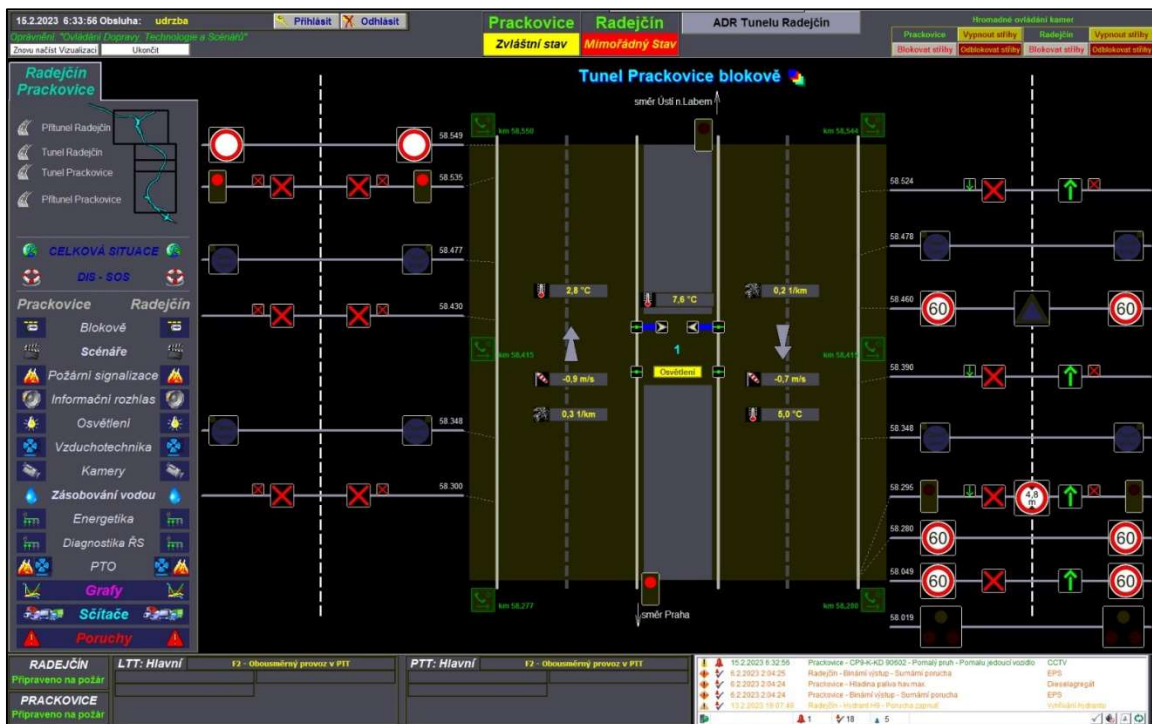
Správce tunelu aktuálně nepožaduje žádné podrobnější dlouhodobější zpracování dat a statistické reporty, data jsou pouze uschovávána a nahlíží se do nich jen v případě vzniku nějaké mimořádné nebo zvláštní situace.



## 4.7 Vizualizace systému SPEL

Na následujících stránkách budeme mít zobrazené vyfocené obrazovky z dispečinku o stavu tunelů vždy den údržby a poté den po údržbě. Bylo vybráno je pár schémat pro představu o aktuální vizualizaci tunelů. [30]

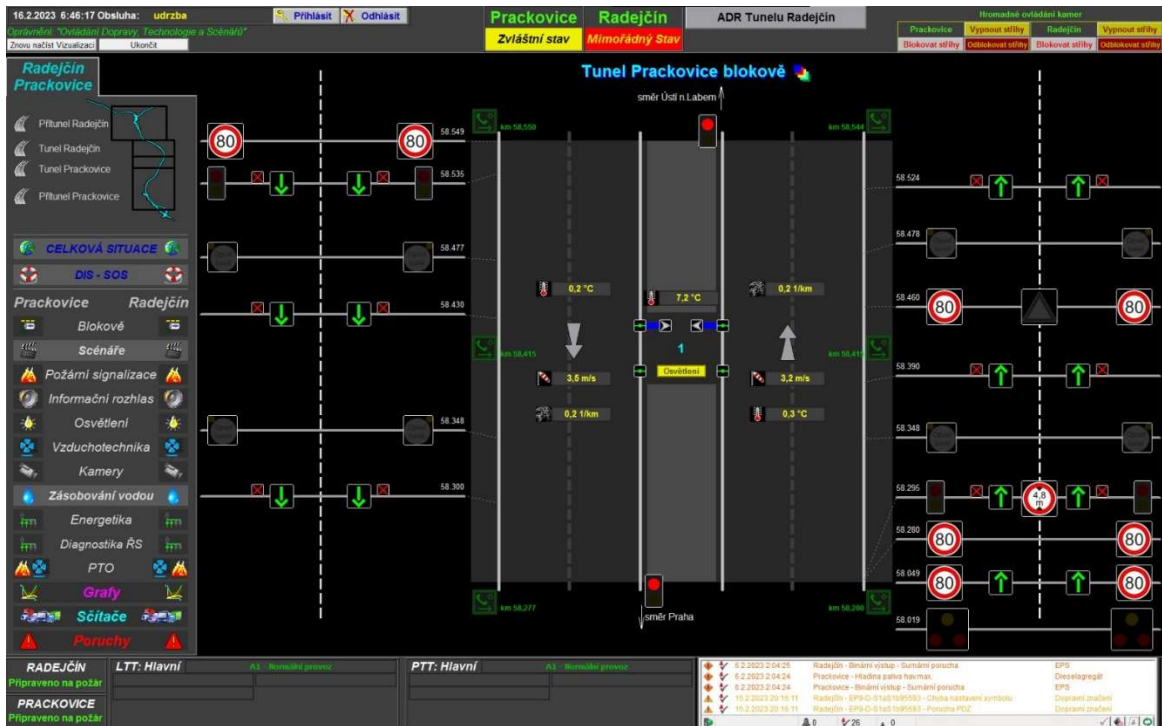
Zde na obrázku vidíme blokové zobrazení tunelu Prackovice. Z důvodů naplánovaného servisu, vidíme, že jsou tunely ve scénáři Obousměrný provoz v PTT (vlevo dole na vizualizaci) a ze schématu lze vyčíst, že LTT je úplně zavřená (Zákaz vjezdu na začátku tunelu a zákazové kříže na PDZ). V PTT je pak vidět obousměrný provoz a rychlost snižená na 60 km/h. Dále na vizualizaci můžeme vidět aktuální čas, a kdo systém z tohoto konkrétního pracoviště obsluhuje, v tomto případě: údržba (v levém horním rohu). V pravém spodním rohu vidíme okno pro zobrazování vzniklých alarmů v daný okamžik.



Obrázek 37: Vizualizace obousměrného provozu v tunelu Prackovice



Na následujícím obrázku pak pro srovnání můžeme vidět vizualizaci tunelu po servisu za Normálního provozu. Rychlosti jsou povoleny na aktuální nejvyšší povolenou rychlost pro tyto tunely: 80 km/h a volné jsou oba jízdní pruhy v obou tubusech.



Obrázek 38: Vizualizace normálního provozu v tunelu Prackovice

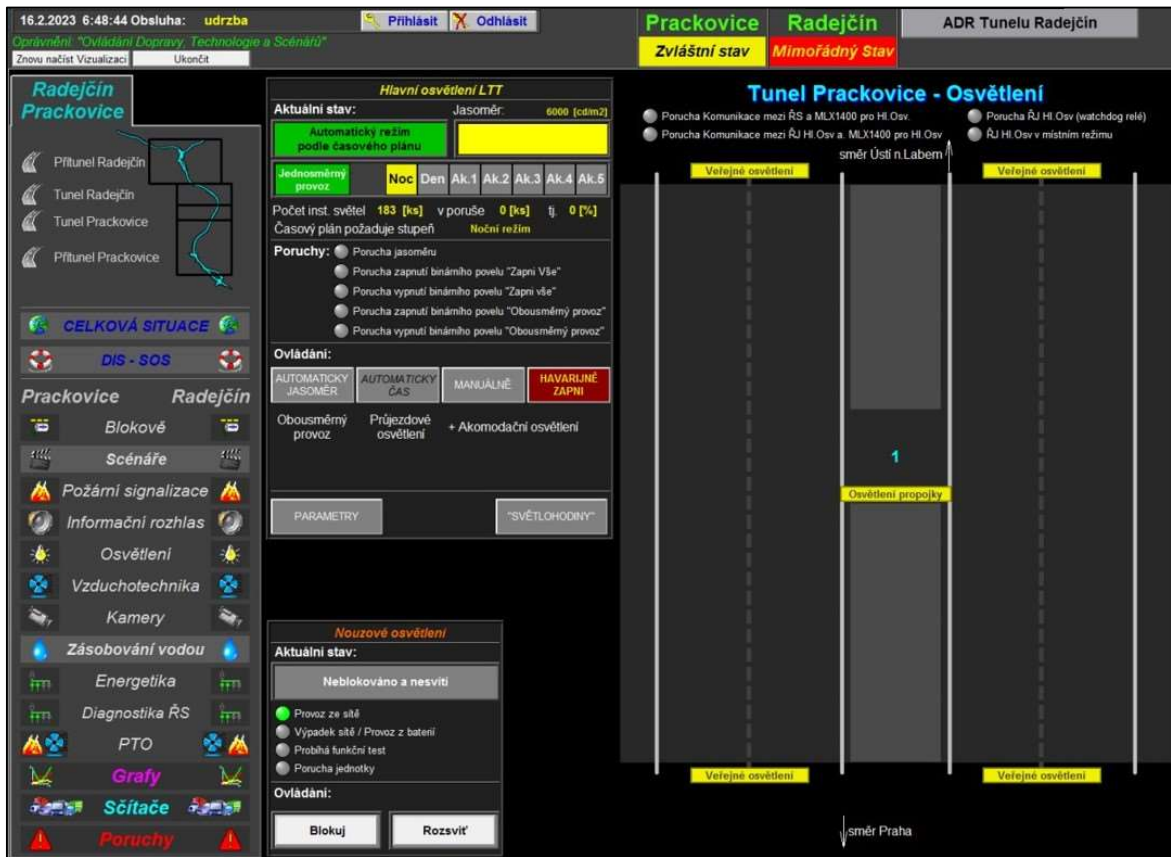
Zde na obrázku vidíme vizualizaci obrazovky zaměřené na osvětlení v tunelu Prackovice. Uprostřed vidíme, že z Hlavního osvětlení v LTT jsou 2 ks v poruše, tj 1% celkového osvětlení. Dále nad těmito informacemi z vizualizace možné vyčíst v jakém stavu osvětlení je – je v automatickém režimu podle čidel jasu. Ve spodní části pak vidíme, jak je napájeno nouzové osvětlení tunelu – aktuálně ze sítě.

The screenshot displays a control interface for the Prackovice and Radejčín tunnels. At the top, it shows the date and time (15.2.2023 6:35:44) and the user (udrzb). The main header includes the tunnel names 'Prackovice' and 'Radejčín', along with their status: 'Zvláštní stav' (Special status) and 'Mimořádný Stav' (Emergency status). The interface is divided into several sections:

- Left Panel:** A navigation menu for 'Radejčín Prackovice' with options like 'Přítunel Radejčín', 'Tunel Radejčín', 'Tunel Prackovice', and 'Přítunel Prackovice'. Below this are sections for 'CELKOVÁ SITUACE' (Overall Situation), 'DIS - SOS', and a list of system components for both tunnels, including 'Blokové', 'Scénáře', 'Požární signalizace', 'Informační rozhlas', 'Osvětlení', 'Vzduchotechnika', 'Kamery', 'Zásobování vodou', 'Energetika', 'Diagnostika ŘS', 'PTO', 'Grafy', 'Sčítače', and 'Poruchy'.
- Central Panel:** Titled 'Hlavní osvětlení LTT' (Main LTT Lighting). It shows the current status as 'Automatický režim podle čidel jasu (Fidi B-Scout)'. A 'Jednosměrný provoz' (One-way traffic) indicator is set to 'Noc' (Night). It displays 'Počet inst. světel 183 [ks] v poruše 2 [ks] tj 1 [%]' and 'Časový plán požaduje stupeň Noční režim'. A 'Poruchy' (Faults) section lists several issues related to the lighting control system. Below are control buttons for 'AUTOMATICKÝ JASOMĚR', 'AUTOMATICKÝ ČAS', 'MANUÁLNĚ', and 'HAVARILNĚ ZAPNĚ'. A 'Nouzové osvětlení' (Emergency lighting) section shows it is 'Neblokováno a nesvíti' (Not blocked and not lit).
- Right Panel:** Titled 'Tunel Prackovice - Osvětlení' (Prackovice Tunnel - Lighting). It shows a vertical layout of the tunnel with 'Veřejné osvětlení' (Public lighting) points. A central 'Osvětlení propojky' (Lighting connection) is highlighted with the number '1'. Arrows indicate the direction of traffic: 'směr Ústí n.Labem' (direction Ústí n.Labem) and 'směr Praha' (direction Praha).

Obrázek 39: Vizualizace osvětlení tunelu Prackovice v den servisu

Na následujících obrázcích můžeme vidět informace o osvětlení v tunelu Prackovice po vykonaném servisu. Vidíme, že osvětlení, které bylo v poruše bylo opraveno a máme tedy v poruše 0 ks. Osvětlení je v automatickém režimu tentokrát podle časového plánu.



Obrázek 40: Vizualizace osvětlení tunelu Prackovice den po servisu

Vizualizace SPELu je přehledná, dobře ovladatelná a poskytuje dostatek informací pro dispečery/operátory dopravy o aktuálním stavu technologií.

## 4.8 Bayesovské sítě a alarmy

Jak již bylo zmíněno, jako statistickou metodu jsem zvolila Bayesovské sítě, které jsem zpracovávala opět v RStudios. Toto zpracování vzniklo v rámci semestrální práce, ke které jsem využívala právě reálná data z tunelu na dálnici D8.

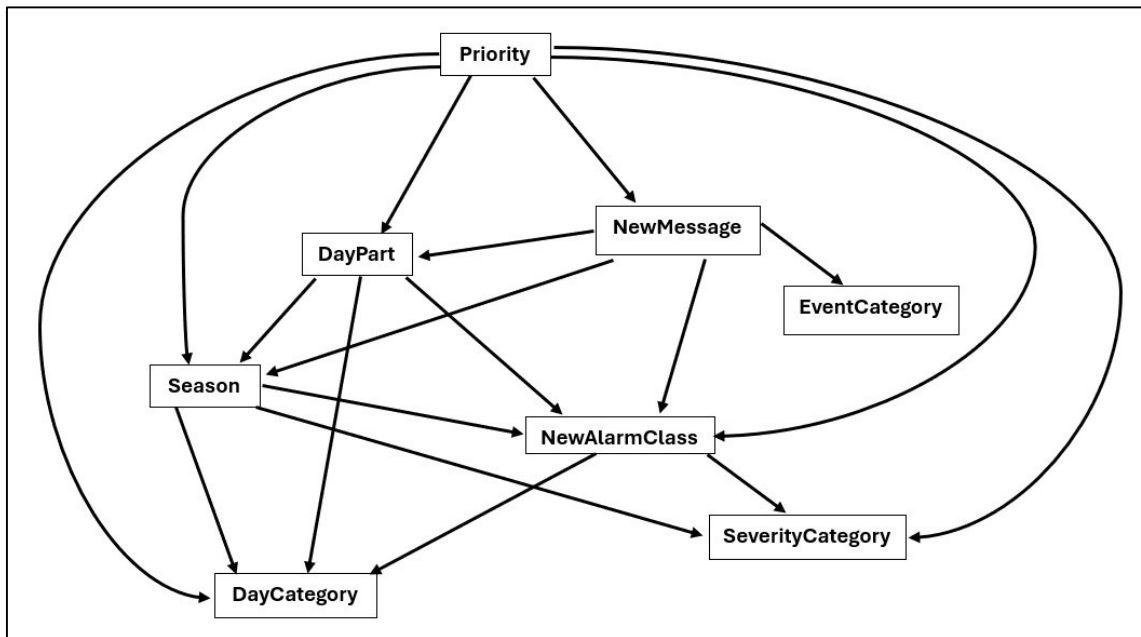
Kvůli množství dat proběhly zásadní úpravy pro vhodnou interpretaci dat. Ve sloupcích došlo k zásadní redukci počtu možných proměnných pro zajištění možnosti vypočítání statistických údajů.

Následoval krok vytvoření a vykreslení sítě pomocí metody nazývané Hill-Climbing. Tato metoda slouží k odhadu nejlepší struktury Bayesovské sítě na základě dostupných dat. Pro vytvoření této sítě se analyzují statistické vztahy mezi proměnnými. Například, pokud jsou v datech pozorovány silné korelace mezi proměnnými A a B, algoritmus může rozhodnout o umístění orientované hrany mezi uzly A a B v závislosti na jejich pravděpodobnostních vztazích. Během odhadu struktury sítě algoritmus hledá nejlepší orientaci hran na základě těchto pravděpodobnostních vztahů. To zahrnuje rozhodování o přidání nebo odstranění hrany v každém kroku algoritmu, což mění podmíněné nezávislosti mezi proměnnými a optimalizuje strukturu sítě na základě dostupných dat. [31]

Směřované hrany mezi uzly v grafu Bayesovské sítě představují pravděpodobnostní vztahy mezi proměnnými nebo jejich příčinné spojení. Tyto šipky jasně indikují, jak jedna proměnná ovlivňuje druhou, což je důležité pro správné chápání podmíněných závislostí v síti. Důležitou vlastností Bayesovských sítí je absence cyklů, což zajišťuje, že závislosti mezi proměnnými nevytvářejí zpětnou vazbu. Tato absence cyklů je klíčová pro korektní pravděpodobnostní odvozování a inference v těchto sítích. [31]

Vykreslenou síť na základě dat můžeme vidět na další straně. Ze sítě jasně vychází, jak se uzly navzájem ovlivňují. Například Priority ovlivňuje NewMessage (Zpráva), DayPart (Část dne), Season (Roční období), NewAlarmClass (Technologie), DayCategory (Typ dne) a SeverityCategory (Závažnost události). Naopak třeba uzly EventCategory (Kategorie události), DayCategory (Typ dne) a SeverityCategory (Závažnost události) neovlivňují žádné uzly.

Vazby ve vytvořené síti, kterou vygeneroval již zmíněný Hill-Climbing algoritmus v R Studios se zdají být logické a souhlasím s nimi. Data byla převedena na faktory pro možnost vytvoření sítě. A pomocí funkce bn.fit byly spočítány pravděpodobnosti v každém uzlu.

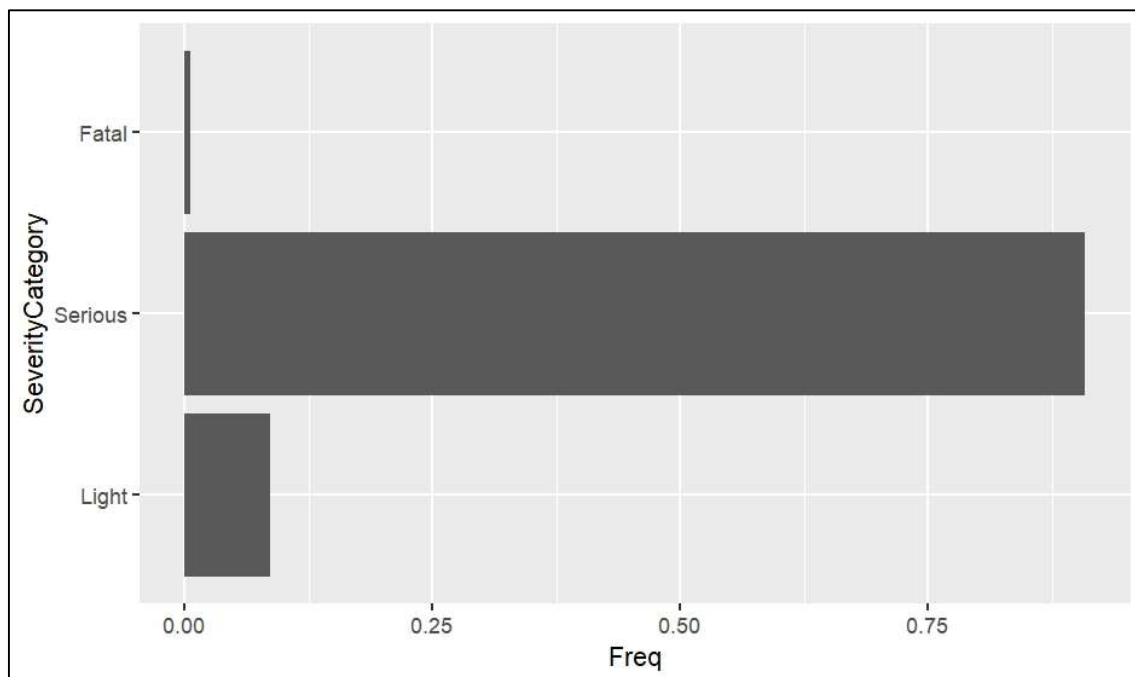


Obrázek 41: Bayesovská síť [vlastní zpracování]

Uzly vychází ze sloupců našich dat a popis vidíme zde:

- **Season** – reprezentuje roční období, ve kterém došlo k alarmu
  - *Nabývá hodnot:* Winter/Spring/Summer/Fall
- **DayPart** – reprezentuje část dne, kdy došlo k alarmu
  - *Nabývá hodnot:* Morning/Afternoon/Evening/Night
- **DayCategory** – kategorizuje den jako pracovní nebo víkendový
  - *Nabývá hodnot:* Work day/Weekend day
- **NewMessage** – udává místo nebo zprávu spojenou s alarmem
  - *Nabývá hodnot:* Radejčín/Prackovice/Trasa/Ostatní
- **NewAlarmClass** – klasifikuje alarm do konkrétních technologických celků
  - *Nabývá hodnot:* Zabezpečovací systémy/ Vodní hospodářství/ Vzduchotechnika/ Videodetekce/ Osvětlení/ Dopravní značení/ Ostatní
- **SeverityCategory** – reprezentuje závažnost alarmu
  - *Nabývá hodnot:* light/serius/fatal (lehké/závažné/fatální)
- **Priority** – přiřazuje alarmům úroveň priority
  - *Nabývá hodnot:* 1/2/3/4 (4 nejvyšší)
- **EventCategory** – kategorizuje alarm na základě toho, jak byl detekován
  - *Nabývá hodnot:* Discrete/Operator Action/Systém [31]

První graf, který jsem vykreslila, prezentuje marginální pravděpodobnost vztahující se k závažnosti událostí. Marginální pravděpodobnost se týká pravděpodobnosti určité události, aniž by brala v úvahu ostatní proměnné. Jak je zřejmé z grafu níže, převažují zde vážné události. Tento jev lze interpretovat jako důsledek toho, že většina událostí přímo ovlivňuje provoz v tunelech, které jsou klíčovou součástí kritické infrastruktury, a je proto nezbytné zajistit maximální možnou úroveň bezpečnosti pro všechny zúčastněné.



Obrázek 42: Marginální pravděpodobnost pro závažnosti

#### 4.8.1 Inference

V Bayesovské statistice a pravděpodobnostním modelování je inference procesem odhadování nebo získávání neznámých informací nebo vlastností uvnitř daného modelu na základě dostupných dat. Inferenční metody se soustředí na aktualizaci pravděpodobnostních distribucí parametrů modelu na základě nových pozorování nebo dat. Podmíněná pravděpodobnost se potom odkazuje na pravděpodobnost výskytu jedné události za podmínky, že již nastala jiná událost. [31]

V rámci inferencí jsme porovnávali, jak se mění podmíněná pravděpodobnost v závislosti na konkrétní podmínce. Na následujících stránkách si uvedeme příklady inferencí nad daty. [31]

## Roční období a Závažnost události

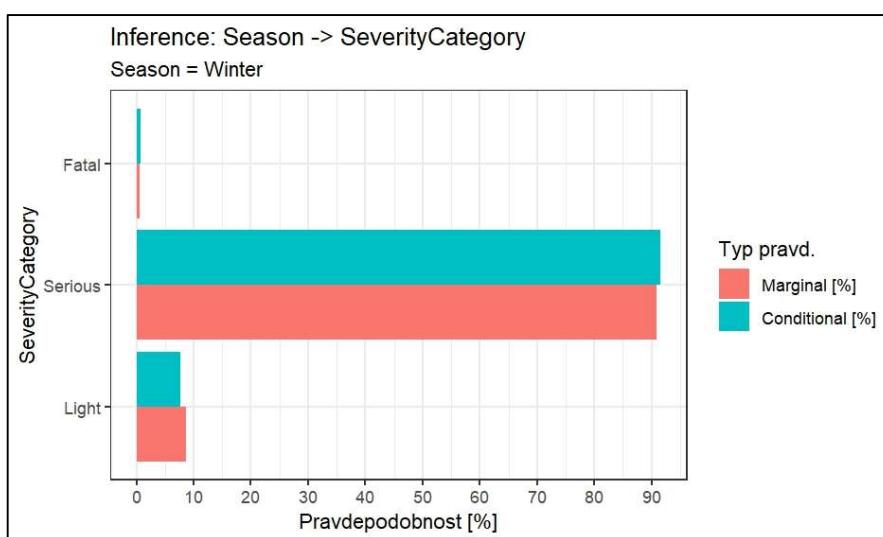
První inferencí bylo porovnání závažnosti události (SeverityCategory), za podmínky, že se udály v zimě. Tabulku pravděpodobností a graf můžeme vidět níže. Cílem je zjistit, zda má roční období vliv na míru závažnosti poruch. [31]

	SeverityCategory	variable	value
1	Light	Marginal [%]	8.60
2	Serious	Marginal [%]	90.84
3	Fatal	Marginal [%]	0.56
4	Light	Conditional [%]	7.62
5	Serious	Conditional [%]	91.62
6	Fatal	Conditional [%]	0.76

Obrázek 43: Tabulka pravděpodobností míry závažností (v zimě) [31]

Zjištění z první inference ukazuje na pravděpodobnostní rozdělení dvou klíčových proměnných v Bayesovské síti: "Season" (Zima) a "SeverityCategory" (Závažnost). Inferenční výsledky jsou prezentovány v podobě marginálních a podmíněných pravděpodobností pro různé úrovně závažnosti alarmů v zimním období. [31]

Z těchto výsledků lze vyčíst, že v zimním období je nejvíce pravděpodobné, že alarmy budou klasifikovány jako vážné (serious), s marginální pravděpodobností 90.84%. Podmíněné pravděpodobnosti pro konkrétní úroveň závažnosti (lehké, vážné, fatální) při zimním období poskytují další detaily o rozložení závažnosti alarmů v rámci tohoto ročního období. [31]



Obrázek 44: Graf pravděpodobnosti míry závažností (v zimě) [31]



## Priorita a Technologie

Další inferencí bylo porovnání třídy (NewAlarmClass), která indikuje technologii, kde vznikla událost, za podmínky priority nejvyššího stupně (4). Tabulku pravděpodobností a graf můžeme vidět níže. [31]

	NewAlarmClass	variable	value
1	Dopravní značení	Marginal [%]	18.39
2	Ostatní	Marginal [%]	10.31
3	Osvětlení	Marginal [%]	0.79
4	Videodetekce	Marginal [%]	64.68
5	Vodní hospodářství	Marginal [%]	2.10
6	Vzduchotechnika	Marginal [%]	0.61
7	Zabezpečovací systémy	Marginal [%]	3.13
8	Dopravní značení	Conditional [%]	0.00
9	Ostatní	Conditional [%]	28.34
10	Osvětlení	Conditional [%]	48.80
11	Videodetekce	Conditional [%]	0.43
12	Vodní hospodářství	Conditional [%]	0.80
13	Vzduchotechnika	Conditional [%]	0.00
14	Zabezpečovací systémy	Conditional [%]	21.62

Obrázek 45: Tabulka pravděpodobností vzniku události v konkrétní třídě (priorita 4) [31]

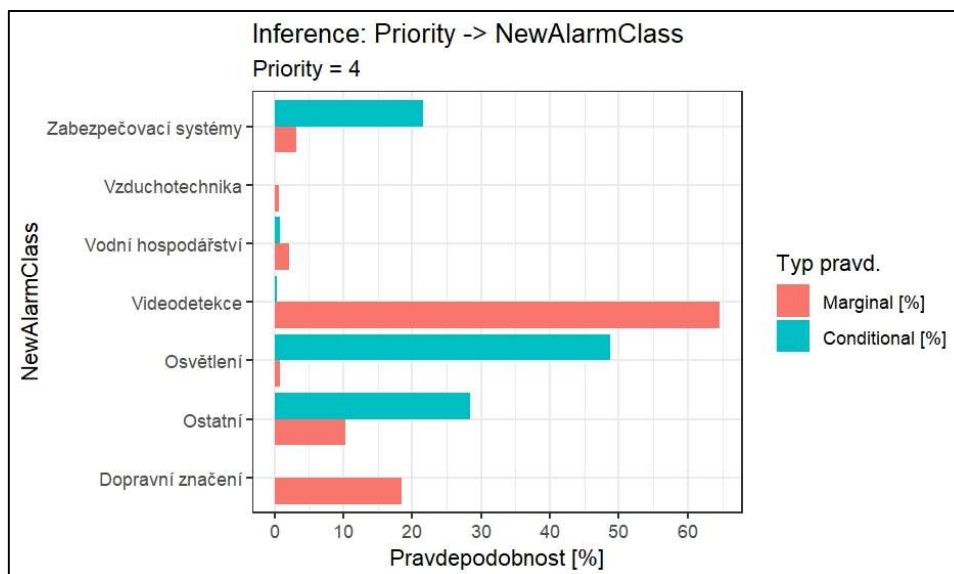
Díky této tabulce lze lépe porozumět distribuci jednotlivých technologií v rámci různých úrovní prioritizace alarmů. Marginální pravděpodobnost udává pravděpodobnost výskytu dané události nezávisle na ostatních faktorech, zatímco podmíněná pravděpodobnost udává pravděpodobnost výskytu události za předpokladu, že se splní určitá podmínka nejvyšší priority alarmu (4). [31]

Podle tabulky jsou například marginální pravděpodobnosti Videodetekce nejvyšší s hodnotou 64.68%, což naznačuje, že Videodetekce je nejčastější technologií, která generuje alarmy. Na druhou stranu, podmíněná pravděpodobnost Videodetekce za předpokladu nejvyšší priority alarmu je velmi nízká, pouze 0.43%, což znamená, že pokud je alarm označen jako nejvyšší priorita, je jen malá pravděpodobnost, že je spojen s technologií Videodetekce.

Stejně tak podmíněná pravděpodobnost Osvětlení za předpokladu nejvyšší priority alarmu činí 48.80%, což je nejvyšší podmíněná pravděpodobnost mezi všemi technologiemi. To znamená, že pokud je alarm označen jako mající nejvyšší prioritu, existuje vysoká pravděpodobnost, že je spojen s technologií Osvětlení. [31]



Graf zobrazující přehledně srovnání marginálních a podmíněných pravděpodobností můžeme vidět na další straně. [31]



Obrázek 46: Graf pravděpodobnosti vzniku události v konkrétní třídě (priorita 4) [31]

### Priorita a Místo vzniku

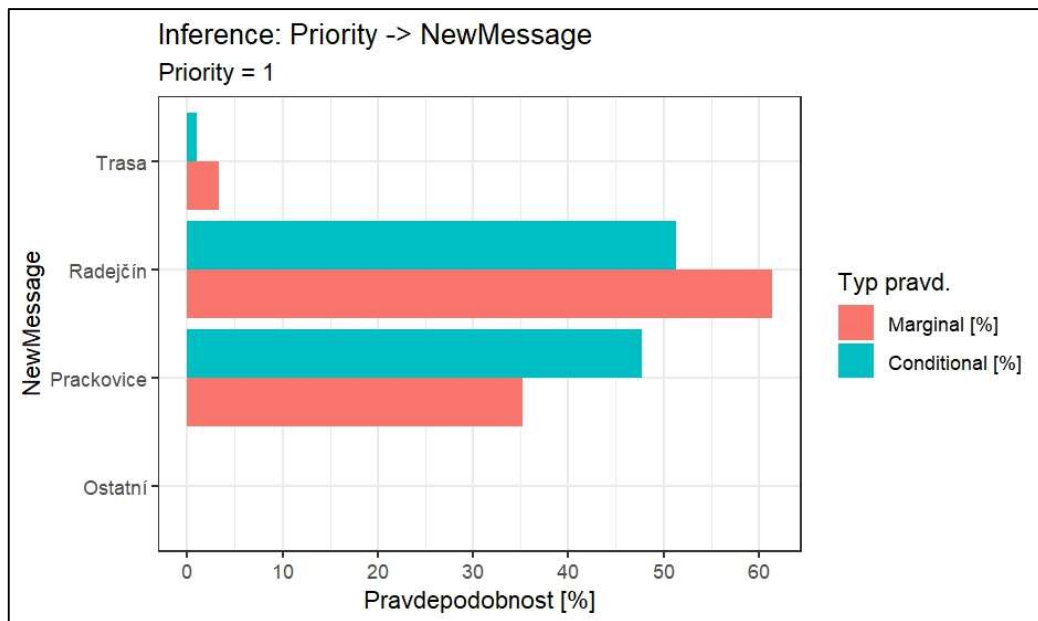
Další inferencí bylo porovnání místa vzniku (NewMessage), které indikuje místo vzniku události, za podmínky priority nejnižšího stupně (1). Tabulku pravděpodobností a graf můžeme vidět níže. [31]

	NewMessage	variable	value
1	Ostatní	Marginal [%]	0.01
2	Prackovice	Marginal [%]	35.26
3	Radejčín	Marginal [%]	61.37
4	Trasa	Marginal [%]	3.37
5	Ostatní	Conditional [%]	0.00
6	Prackovice	Conditional [%]	47.71
7	Radejčín	Conditional [%]	51.27
8	Trasa	Conditional [%]	1.02

Obrázek 47: Tabulka pravděpodobností vzniku události v konkrétním místě (priorita 1) [31]

Výsledky naznačují, že v kategorii alarmů s nejnižší prioritou (1) je nejpravděpodobnější, že události se budou koncentrovat v oblasti Radejčín (61,37 %). Celkově tedy má Radejčín nejvyšší marginální pravděpodobnost, ale když se zaměříme pouze na události s nejnižší prioritou, je pravděpodobnější, že se vyskytnou v Radejčíně nebo Prackovicích, přičemž Prackovice mají trochu nižší podmíněnou pravděpodobnost. [31]

Podrobnější graf můžeme opět vidět níže. [31]



Obrázek 48: Graf pravděpodobností vzniku události v konkrétním místě (priorita 1) [31]

## 4.8.2 Závěr z Bayesovských sítí

Bayesovské sítě se tedy jeví jako vhodný nástroj pro určení závislostí mezi více proměnnými. S využitím větší výpočetní kapacity by bylo možné pracovat s méně filtrovanými daty, která by mohla zůstat rozdělená do více podkategorií a zpřesnit tedy pravděpodobnosti vzniku události vztahenou například na konkrétní senzor či technologii.

Z dat vyšlo například to, že priorita alarmu nám zásadně ovlivňuje, ze které technologie tyto alarmy nejčastěji chodí. Dále jsem zjistila, že i roční období nebo část dne může ovlivnit míru závažnosti alarmů. Také jsem dokázala určit lokaci vykazující nejvíce alarmů s nejnižší prioritou – tím jsou právě oba tunely. Do budoucna by se tato metoda dala aplikovat na získání specifičtějších výsledků vztahených na konkrétní provozní soubory či technologii.

Výsledky mohou být klíčové:

- pro strategické plánování a přiřazování zdrojů v situacích, kde lokalizace alarmů a časová variabilita jsou důležitými faktory
- pro plánování a řízení v situacích, kde časová závislost výskytu alarmů a jejich charakteristiky hrají rozhodující roli
- mohou poskytnout užitečné informace pro správu a plánování v oblastech, kde je lokalizace zpráv o alarmů
- pro využití k modelování s predikování budoucích stavů v závislosti na více faktorech

Data by mohla sloužit právě k predikci, která by mohla naplánovat například detailnější revize a opravy před zimním obdobím, kdy z některých technologií chodí častější alarmy s vážnějšími následky.

## 4.9 Shrnutí kapitoly

V této kapitole jsem se věnovala vlastnímu zpracování dat, které probíhalo v RStudios nad daty, které mi byla poskytnuta servisní organizací Metrostav a.s. a ŘSD SP. Pracovala jsem s několika různými balíčky dat:

- Alarmy – nenadálé události od technologií
- Energetika – informace o přívodech a vývodech energie u některých technologií/traf
- Fyzikální veličiny – opacita, CO, NO, NO<sub>2</sub>, vibrace
- Scénáře – jaké a kdy se jednotlivé scénáře pouštěly

Z těchto balíčků jsem určila problematičtější technologie, se kterými budu dále pracovat v následující kapitole.

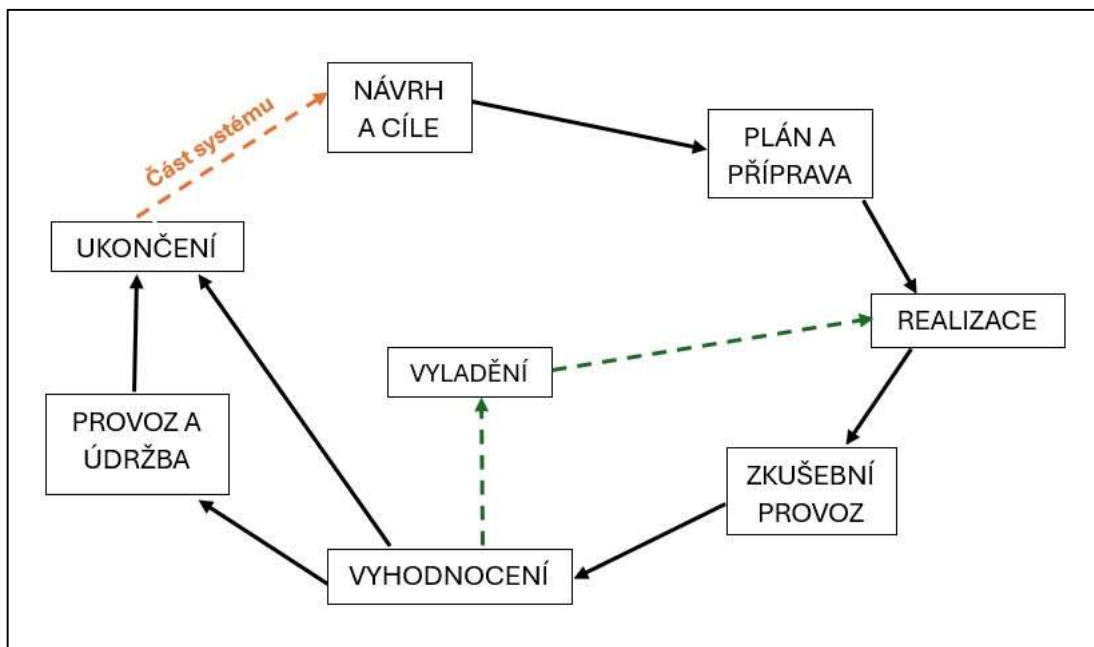
Následně došlo na popis ostatních měřených dat mimo ŘS, jako senzory ve stavební části, či senzory na hlídání jednotlivých technologií. Zde jsem také analyzovala, jakým způsobem se využívají měřená data aktuálně. Došla jsem k závěru, že se určitě nevyužívá plný potenciál měřených dat, a že je zapotřebí dodat další měřené parametry s napojením přímo na ŘS. Dochází ke zpracování fyzikálních veličin pouze v reálném čase, ale netvoří se žádné predikce budoucnosti apod.

Poté jsem se věnovala konkrétním příkladům vizualizace systému v naší vybrané lokalitě a stručnému popisu hrstky obrazovek zobrazených v těchto kapitolách.

V poslední části jsem popisovala svůj postup testování dat na základě Bayesovských sítí a výpočtem a porovnáním marginálních a podmíněných pravděpodobností za určitých podmínek.

# 5 NÁVRH INFORMAČNÍHO SYSTÉMU PRO SPRÁVCE

Návrh samotného informačního systému bude vycházet ze schématu navrženého níže, který vznikl ze získaných zkušeností při rešerších k diplomové práci.



Obrázek 49: Schéma návrhu informačního systému [vlastní zpracování]

V rámci **Návrhu a cílů** určím strategické cíle, vymezím myšlenky a nápady na systémové požadavky. Budu se zabývat strategií a směřováním celé organizace a vytvářet rámcový plán.

V uzlu **Plán a příprava** vyřeším konkrétní kroky a případně rozložení postupu prací a zdrojů v časové ose. Budu detailně řešit funkce IS a případně definovat i ty cíle, které nejsou součástí návrhu, ale je možné je implementovat. Vytvořím schéma architektury systému a bude zde prostor na případné připomínkování a tvoření více možných přístupů pro nalezení nejoptimálnějšího řešení.

Následně přejdu na **Realizaci**, kde se přesně určuje způsob práce, určuje se tým a definuje se komunikační protokol. Tzn. Měl by být jasně stanoven systém komunikace a intervaly reportů. Budu řešit oprávnění jednotlivých rolí, zálohu dat, ochranu osobních údajů či případné průběžné testování. Toto bylo popsáno v teoretické části.

**Zkušební provoz** pak systém řádně a plnohodnotně otestuje a bude cílem udržet výkonnost systému v požadovaných úrovních a následně se bude **Vyhodnocovat** úspěšnost naplnění stanovených cílů a bude se hodnotit potenciální návratnost systému.

Vyhodnocení probíhá z naměřených dat během zkušebního provozu a součástí je i plán budoucí údržby. Toto bylo také popsáno v teoretické části.

Na konci zkušebního provozu může být vyhodnoceno, že systém funguje s výhradami, které lze správným **Vyladěním** odstranit, přechází se k úpravě systému a následně opět přes realizaci, zkušební provoz a vyhodnocení k tvorbě a ozkoušení systému.

V případě naplnění cílů a spokojenosti investora a finálnímu odsouhlasení systému přechází IS do **Provozu** s jasným plánem **Údržby** do budoucna.

Může se také stát, že systém nenaplní očekávání a nebude vykazovat míru návratnosti v dostatečné míře pro ponechání systému v provozu a chodu a dochází tak rovnou k **Ukončení** systému před jeho plným spuštěním. S ukončením se musí počítat i v případě spuštění provozu, a je vhodné zakotvit do smlouvy ohledně provozování systému a sběru dat i nutnost poskytnutí dat ze systému po ukončení provozu. Ukončení může tedy mimo nenaplnění cílů způsobit i změna strategie firmy, změna dodavatele či jiných morálních nebo finančních důvodů. Je vhodné při ukončení zanalyzovat, zda není možné využít byť jen **část končícího systému** v jiném již fungujícím nebo nově vznikajícím systému.

## 5.1 Návrh a cíle

Hlavním a dlouhodobým cílem navrhovaného systému je snížit náklady na provoz a údržbu tunelů a zvýšit bezpečnost tunelových staveb.

### 5.1.1 Správce tunelu

Kromě hlavních cílů vypsanych výše je třeba, aby systém zvládal ukládat a zpracovávat veškeré servisní záznamy a přílohy – Zprávy o provozuschopnosti, zprávy z měření apod. Dále by měl systém vytvářet pravidelné reporty o poruchách a vytvářet grafy a soupisy proběhlých mimořádných událostí včetně příčin. Systém by měl být připraven na možnost rozšíření pro možnost zvýšení na rychlost 100 km/h. Dále by systém měl umožňovat filtrování a hledání informací dle konkrétně zadaných parametrů (datum, čas, tunel, směr, pruh, technologie, scénáře apod.).

### 5.1.2 Servisní organizace

Ze strany servisní organizace je požadavek predikovat možné poruchy, dále mít přístup k kompletní tunelové dokumentaci (zpráva o skutečném provedení) pro usnadněné údržby jednotlivých technologií. Také požadují možnost filtrování a hledání informací jako správce tunelu a možnost porovnat data před a po servisu. Chtějí přidat možnost vkládání plánu servisních prací a samotných servisních karet na jednotlivé činnosti přímo do IS a možnost automatického rozesílání servisních karet subdodavatelům. Systém by také měl umožnit vyplňovat karty online s automatickým vkládáním fotodokumentace nebo jiných příloh. Dále bude systém vybaven systéme připomínání před vypršením lhůty dodání servisních karet pro zajištění včasného dodání podkladů za daný měsíc.

### 5.1.3 Správce IS

Správce IS požaduje přístup k historickým datům a také filtraci informací a dále požaduje ukládání dat v předem domluveném formátu pro možnost bezproblémového zpracování dat do budoucna. Chce také zajistit kvalitní a pravidelné zaškolení personálu, který bude se systémem pracovat pro zajištění maximální funkčnosti.

## 5.2 Plán a příprava

Obecný plán tvorby IS začíná analýzou současného stavu IS na tunelech, která byla vytvořena jsou součástí jedné z již zmíněných kapitol, dále je nutné zanalyzovat data, která jsou aktuálně snímána a definovat průběhy a způsoby servisních prací v aktuální podobě. Dostupná data byla podrobena zpracování pro možnost interpretace dat v příloze této diplomové práce.

### 5.2.1 Architektura

Po analýze cílů v návrhu IS bylo v rámci tvorby základního schématu systému a jeho obecné podoby byl vytvořen model, který je na další straně.

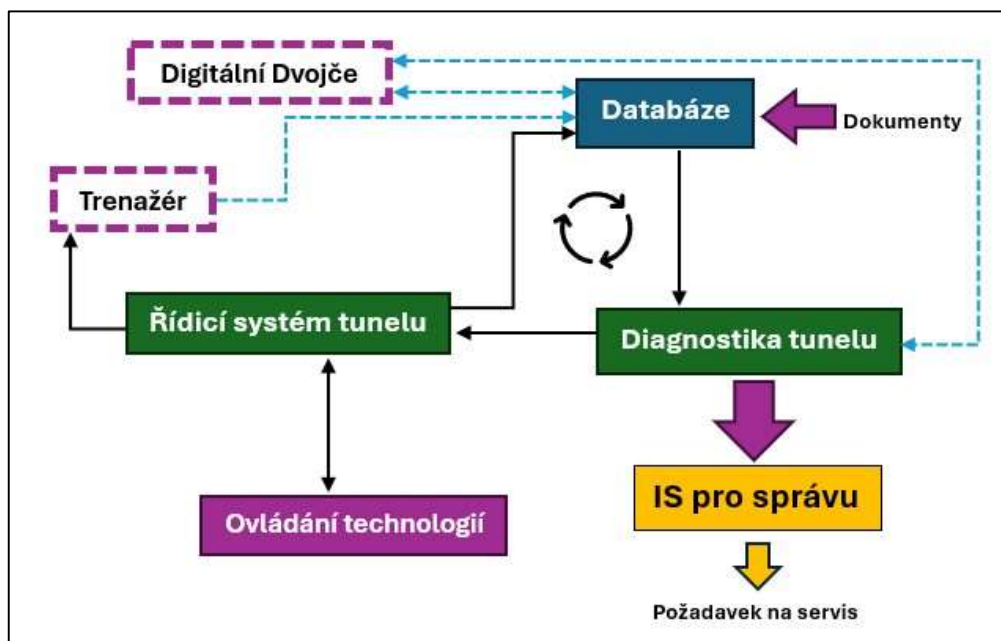
**Databáze a Řídicí systémy** byly popsány v předchozích kapitolách.

**Digitální dvojče** představuje inovativní koncept, který transformuje způsob, jakým chápeme a řešíme složité systémy. Jedná se o virtuální repliku reálného systému, která umožňuje simulaci jeho funkcí, vazeb a provozních procesů. Tato technologie vychází z potřeby optimalizace a zlepšení výkonnosti moderních systémů v různých odvětvích.

Princip digitálního dvojčete spočívá v tom, že se vytvoří detailní virtuální model systému, který je následně propojen s reálným provozem. Tímto způsobem umožňuje DD předpovídat chování systému, identifikovat potenciální problémy a optimalizovat provozní procesy ještě před jejich nasazením v reálném prostředí. Díky simulacím a analýzám provedeným na digitálním modelu je možné identifikovat slabá místa a optimalizovat design systému tak, aby byla zajištěna jeho spolehlivost, efektivita a bezpečnost. Dalším významným prvkem digitálního dvojčete je jeho schopnost kontinuálně se vyvíjet a zdokonalovat. S postupem času může být model systému aktualizován na základě nových dat, poznatků a technologických inovací, což zajišťuje jeho relevanci a přesnost v průběhu času.

**Diagnostické systémy** jsou klíčovými nástroji v moderním inženýrství a průmyslu, umožňujícími monitorování a analýzu stavu technických zařízení a procesů. Tyto systémy integrují senzory, analýzu dat a technologie umělé inteligence k detekci a diagnostice možných poruch, anomálií nebo nedostatků v provozu zařízení. Důležitou součástí jsou vizualizace dat a doporučení pro prediktivní údržbu, které pomáhají optimalizovat spolehlivost, bezpečnost a efektivitu provozu zařízení a procesů v různých odvětvích.





Obrázek 50: Architektura tunelového systému a napojení navrhovaného IS pro správu [vlastní zpracování]

Základ tohoto schématu vychází z několika návrhů z několika odborných článků zabývajících se problematikou diagnostiky a sledování technologií v tunelech a po konzultaci s vedoucími práce. [21,22]

Pro definování byla zvolena třívrstvá architektura, která byla popsána v kapitole Třívrstvá architektura této diplomové práce. Ze schématu jsou jednotlivé prvky architektury jasně rozeznatelné.

První vrstvou je **prezentační vrstva**, která je ve schématu definovaná fialovou barvou. Jedná se o část systému, se kterými přicházejí do styku lidské zdroje pracující se systémem. V rámci ovládání technologií je možné nastavovat technologie za pomoci vizualizačních nástrojů na jednotlivých dispečerských či operátorských stanicích. Dále dochází k poskytování informací o řízení tunelu a dispečer, operátor, policista, pracovník servisu nebo jiná kompetentní osoba je informováno tom, co vykonal ŘS.

Mezi další prezentační vrstvy považují výstupy, které poskytuje DS systém po vyhodnocení, že úprava parametrů přes řídicí systém není dostatečnou optimalizací pro zajištění bezpečného provozu. Tyto požadavky na servis jsou přes **navrhovaný IS** interpretovány a předávány kompetentním osobám. Systém bude mít nastaven automatickou rozesílku servisních karet pro daný měsíc, tyto informace bude čerpat z databáze, kde bude nahrán aktualizovaný harmonogram prací, na kterém se správce tunelu a servisní organizace dohodl. Rozesílka podkladů pro servis bude rozesílána za pomoci odkazu do databáze, kde bude možné nahlížet na servisní činnosti pro daný měsíc.

Po ukončení servisu bude možné v tomto systému jednotlivé karty vyplnit a přikládat k nim příslušnou fotodokumentaci a přílohy. Tyto vstupy nám označuje fialová šipka směrem do databáze. Přístup do databáze bude omezen a bude nutno disponovat přihlašovacími údaji, které vydává správce systému po odsouhlasení správce tunelu o oprávnění dané osoby.

Mimo servisní karty budou do databáze vkládány například dokumenty o běžné, hlavní nebo mimořádné prohlídce, zprávy o provozuschopnosti, revizní zprávy, zprávy o případné rekonstrukci a v neposlední řadě i hlášení poruch, které byly objeveny. Hlášení poruch nyní probíhá za pomoci systému, ke kterému mají přístup pouze dispečerů, kterým přísluší daný tunel, aby se zamezilo hlášenek s duplicitním číslem. Systém sám neumí pohlídat, že porucha již byla dříve nahlášena. Správce tunelu má v servisních smlouvách rozdělené poruchy dle závažnosti a termíny nutné pro dodržení jejího odstranění. Příklad tabulky můžeme vidět níže.

Stupeň závažnosti poruchy vybavení	Lhůta pro odpověď	Dojezdová doba	Lhůta pro odstranění poruchy	Perioda průběžných informací (Vybavení)
<b>Závažná porucha vybavení</b>	okamžitě	1 hodina	12 hodin	každé 2 hodiny až do řádného odstranění Poruchy vybavení
<b>Středně závažná porucha vybavení</b>	okamžitě	2 hodiny	48 hodin	každých 6 hodin až do řádného odstranění Poruchy vybavení
<b>Lehká porucha vybavení</b>	okamžitě	2 hodiny	5 kalendářních dnů	každých 24 hodin až do řádného odstranění Poruchy vybavení

Obrázek 51: Stupně závažnosti a časů dle smlouvy [smlouva se správcem tunelu]

Za nedodržené lhůty má pak servisní organizaci ve smlouvě definované sankce, které musí zaplatit správci tunelu za porušení smluvních podmínek.

Jednou z posledních částí v prezentační formě je DD, které slouží k ozkoušení různých přístupů ke vzniklým poruchám. Druhou je pak trenažér, který slouží k řádnému proškolení a testování dispečerů a operátoru dopravy. Jsou napojeny přerušovanými modrými šipkami z důvodu optického oddělení virtuálního systému (simulace systému) od skutečného. Mezi řídicím systémem tunelu, databází a DS dochází k neustálému přenosu dat, kdy dochází po diagnostice k úpravě některých řízených parametrů a změny jsou ihned ukládány v databázi a vyhodnocovány v diagnostickém systému, zda došlo k optimalizaci či jiným předem stanoveným cílům.

Druhou vrstvou je **aplikační vrstva** vyznačená ve schématu zelenou barvou, ta nám funguje jako prostředník mezi prezentační a datovou vrstvou. Jejím hlavním úkolem je realizace funkcí, které umožňují samotné řízení a fungování systému. To zahrnuje zpracování vstupů od uživatele, implementaci, komunikaci s datovou vrstvou a vykonání výstupů.

K této vrstvě tedy řadíme samotný řídicí systém tunelu, který po vyhodnocení dat v diagnostickém systému může spustit automatické scénáře či sekvence řízení bez nutnosti zásahu člověka. DS je tedy napojen i na DD, díky kterému je schopný otestovat více možných přístupů pro řešení poruch a alarmů nebo pro optimalizaci provozu a údržby. Systém na diagnostiku zároveň pravidelně testuje systém z hlediska spolehlivosti výstupů, pravidelně se aktualizuje a v pravidelných, jasně definovaných intervalech vytváří reporty s predikcemi na vybrané technologie. Dále před a po každé údržbě vyhodnocuje stav technologických celků a porovnává je s nahlášenými poruchami, které měly být opraveny na konkrétní uzávěře.

Poslední vrstvou je **datová vrstva**, která představuje klíčovou komponentu, která se stará o ukládání, manipulaci a zpracování dat. Její hlavní funkce zahrnují ukládání strukturovaných dat, manipulaci s daty, zabezpečení přístupu a optimalizaci výkonu databáze. Tato vrstva poskytuje rozhraní pro integraci s externími systémy a je navržena tak, aby efektivně oddělovala logiku aplikace od fyzického uložení dat. Práci datové vrstvy nám v našem systému obstarává Databáze, která vykonává nad daty jednoduché operace.

## 5.2.2 Data a doporučení

### Data vzduchotechnika

Zde se podrobněji zaměřím na konkrétní technologický soubor VZT, aktuálně měřená data a navrhnu další případná data k budoucímu měření. Aktuální seznam dat, které přichází ohledně VZT vidíme níže. Tyto data jsou ze 2 odlišných balíčků dat – z Alarmů a z Fyzikálních veličin.

- Alarmy
  - Radejčín – porucha vypnutí
  - Radejčín – porucha zapnutí
  - Radejčín – vybavení tepelné ochrany (slouží k ochraně citlivých částí ventilátoru před nadměrnými teplotami)
  - Radejčín – porucha ovládacího jističe (elektromagnetický ochranný přístroj, který chrání vedení a ostatní prvky elektroinstalace rozvodů před účinky nadměrně vysokého proudu při zkratu či přetížení)
  - Radejčín – porucha vypnutí motoru
  - Radejčín – porucha zapnutí motoru
  - Radejčín – porucha softstartéru
  - Radejčín – porucha vibrace
  - Radejčín/Prackovice – napájecí stykač – nesoulad stavů (elektromagnetický spínač, pomoci kterých můžete dálkově ovládat ventilátor)
  - Radejčín/Prackovice – blokáce požárních klapek [30]

Zprávy od VZT z Alarmů jsou dále děleny, dle kódu označení jednotlivých ventilátorů, součástek či požárních klapek, aby bylo jasné z jaké konkrétní součástky nebo od jaké technologie přichází alarm.

- Fyzikální veličiny
  - Vibrace na ventilátoru 1-12 (děleno, dle čísla ventilátoru)

**DOPORUČENÍ:** Data, která by se měla přidat a způsob jejich sběru:

- Spotřeba energie – přes ŘS
- Čas v provozu – přes ŘS (není uloženo v datech)
- Kontrola senzoru na vibrace – přes ŘS
- Kontroly koroze nebo degradace materiálu – místní šetření
- Kontrola přídržnosti částí technologie – místní šetření

## Data Analog

Aktuálně měřená data na obou tunelech v balíčku Alarmy:

- Data nejsou OK
- Intenzita větru – porucha senzoru
- Teplota – porucha senzoru
- Mimo provoz
- Porucha převodníku
- Požadavek na servis/údržbu
- Porucha senzoru [30]

**DOPORUČENÍ:** Data by se měla upravit. Mělo by být jasně řečeno jaký senzor je v poruše, a co hlásí požadavek na servis. Z aktuálního nastavení nemáme bohužel dostatek informací pro DS a možné vydání konkrétních požadavků na servis nebo kroky v rámci úpravy řízení.

## Data ATS

Aktuálně měřená data pro ATS v rámci balíčku Alarmy:

- Tlak vody vyšší než 10 Bar
- Podávací čerpadlo – porucha (děleno dle čísla)
- Náhlý vyšší odběr požární vody
- Minimální hladina vody v požární nádrži
- Čerpadlo – porucha (děleno dle čísla) [30]

**DOPORUČENÍ:** V systému by měly být zanesené informace o odběru vody z důvodu údržby, pro zamezení systému evidování údržby jako nutný alarm. Dále bylo z dat možné sledovat, že poruchy podávacích čerpadel se odrážely i v poruchách ohledně minimální hladiny vody. Čerpadla by se měla častěji kontrolovat jako prevence možného zanesení kvůli agresivnímu prostředí, ve kterém se nachází.

## Data Energetika

**DOPORUČENÍ:**

- Rozdělit jednotlivé stavy, dle čísel v popisu typ stavu
  - Aktuálně: STAV – 0 = Vypnuto, 1 = Zapnuto, 2 = Mezistav, 3 = Nepřípustný stav [30]
    - Rozdělit na Vypnuto, Zapnuto, Mezistav a Nepřípustný stav jako oddělenou evidenci
    - V datech neexistuje sloupec s hodnotou, která by ukazovala, v jakém stavu tunel je

## Data Diagnostika

Aktuálně měřená data pro Diagnostiku v rámci balíčku Alarmy:

- Vybavení přepětové ochrany
- SOS v poruše (dle čísla hlásky)
- SOS (dle čísla hlásky)
- Porucha zdroje
- Porucha karty
- Porucha Napájecího Zdroje
- Přepálená některá z pojistek
- MicroLogix 1400 v SOS v poruše (dle čísla hlásky)

Alarmy jsou tedy rozděleny ještě podle konkrétního tunelu. Opět se zde dostáváme ke zdvojeným alarmům – „SOS v poruše,“ nám neposkytuje žádné další důležité informace o jakou poruchu se jedná a dochází k němu vždy v totožný čas jako „MicroLogix 1400 v SOS v poruše.“ Dále to obdobné se děje u alarmů „Porucha zdroje,“ a „Porucha Napájecího Zdroje.“ [30]

**DOPORUČENÍ:** Revizi alarmů a případné sjednocení některých výše zmíněných zdvojených alarmů. Dále evidovat jakékoliv anomálie vzniklé v rámci poruchy MicroLogix, což je náš PLC systém pro automatizaci procesů. Do budoucna je vhodné sjednotit hlášení od SOS hlásek s alarmovou třídou přímo určenou pro SOS hlásky.

## Data měření výšky

Aktuálně měřená data od měření výšky v rámci balíčku Alarmy:

- Dlouhodobé zastínění snímače
- Detekováno vysoké vozidlo
- Detekováno vozidlo v protisměru [30]

Detekce je opět rozdělena na tunel (Prackovice/Radejčín) a úsek (dle km), na kterém jsou čidla umístěná. Nejčastějším alarmem je právě dlouhodobé zastínění snímače na všech úsecích (alarmy jsou v řádech tisíců). Dle rozložení alarmů v čase nemůžu říct, že se jedná o kontinuální zastínění čidla a je tedy možné, že jsou tyto alarmy způsobeny např. i počasím, možnou krátkodobou nečistotou snímačů či špatnou funkčností čidel, které nebylo možné odhalit při kontrole. Čištění a funkční zkouška jsou aktuálně v harmonogramu servisu 2x ročně a komplexní kontrola 4x ročně.

**DOPORUČENÍ:** Z naměřených dat vyplývá, že se nejspíše nejedná o chybu čištění. Navrhují tedy novou kalibraci čidel a dodání nových podmínek do ŘS, kdy systém bude hlásit dlouhodobé zastínění jen v případě přesáhnutí určité časové hodnoty u po sobě jdoucích čidel. Detekce bude probíhat s aktuálními dopravními parametry a bude navázáno na detekci v mezích 0 - 130km/h. Kalibrace by také měla zajistit spolehlivější snímání za nepříznivého počasí. V krajním případě navrhuji úplnou výměnu čidel.

## Data CCTV

Aktuálně měřená data pro CCTV v rámci balíčku Alarmy:

- Detekován chodec
- Pomalu jedoucí vozidlo
- Vozidlo v protisměru
- Detekován kouř
- Chyba komunikace
- Předmět na vozovce
- Stojící vozidlo
- Špatná kvalita videodetekce
- Porucha videodetekce
- Ztráta videosignálu
- Chyba komunikace ŘS a serveru [30]

Množství dat, které chodí od CCTV jsou v některých případech v řádu přes 100 000 zaevidovaných alarmů. I zde mám za to, že velké množství alarmů typu: Detekován chodec, pomalu jedoucí vozidlo, stojící vozidlo nebo vozidlo v protisměru jsou zapříčiněné právě v případě dnů, kdy na tunelech probíhá servis. Další častou chybou byla ztráta videosignálu v tunelu Radejčín.

**DOPORUČENÍ:** Opět se zde nabízí předem vynechat některé detekce v právě servisované tunelové troubě pro zajištění maximální pozornosti dispečerů. Dále se může stát, že vcelku důležitý alarm „zapadne.“ Kontrola samotné videodetekce a jejího signálu by měla probíhat s vyšší četností kvůli častým chybám ohledně ztráty videosignálu.

## Data Dieselagregát

Aktuálně měřená data pro Diesel v rámci balíčku Alarmy:

- Systém není v automatickém režimu
- Souhrnná porucha
- Hladina paliva minimální
- Hladina paliva maximální
- Hladina paliva hav. max
- Porucha komunikace ŘS
- Porucha komunikace s ŘJ

Nejčastější hláškou od DA je info o tom, že není v automatickém režimu a dále v rozmezí krátkého časového úseku přišlo obrovské množství zpráv o tom, že v Prackovicích je hladina na hav. maximum. [30]

**DOPORUČENÍ:** Přidat možnost nastavení DA v údržbě pro zamezení chybových hlášek při přepojení dieselu na ruční ovládání. Dále se jeví jako podstatné řádné školení o údržbě a doplňování paliva do jasně stanovených mezí, aby nedocházelo k alarmům typu „Hladina paliva hav. maximum.“

## Data Dopravní značení

Aktuálně měřená data pro Dopravní značení v rámci balíčku Alarmy:

- Porucha komunikace
- Porucha jistění
- Porucha komunikace s Meteo značkou/Meteostanicí
- Porucha komunikace se sčítačem
- Porucha komunikace se ZPI
- Porucha PDZ
- Chyba nastavení symbolu
- Chyba nastavení polohy [30]

Jednotlivé alarmy dělíme podle tunelu nebo úseku trasy, na které se nachází. Velkým problémem je zde samotná komunikace – obecně, s ŘS, s Meteo značkou, se sčítačem, se ZPI apod. Následné problémy jako např. Chyba nastavení symbolu, Porucha PDZ se pohybují pod hranicí 1000 alarmů za 2 roky.

**DOPORUČENÍ:** Zrevidovat komunikační kanály v rámci dopravního značení. Společně s měsíčním mytím provést i důkladnou kontrolu technického stavu značení, kontrolu správné komunikace a ozkoušení nastavení všech symbolů a poloh – toto by mohlo být prováděno automaticky v cyklu přes ŘS, kde bude naprogramovaná sekvence testování, která se spustí na začátku uzávěry pro servis pro danou TT. Po dokončení sekvence systém vytvoří tabulku chyb, nutných kontrol a oprav pro daný servis.

## Data EPS

Aktuálně měřená data z EPS v rámci balíčku Alarmy:

- Vyhlášen poplach (stisknuto tlačítko)
- Vyhlášen poplach (detekován požár)
- Poplach od tlačítka
- Hlásič v chybě
- Sumární porucha
- Porucha akumulátoru
- Poplach v zóně (dle čísla)
- Chyba komunikace mezi FibroLaserem a modulem
- Chyba komunikace mezi ŘS a modulem [30]

Nejčastější detekované alarmy jsou Sumární porucha a chyby komunikace.

**DOPORUČENÍ:** Doporučuji zkontrolovat definici sumární poruchy a chyby v komunikaci kvůli konstantním hlášením těchto chyb. Případně zajistit jiný vhodný a spolehlivý komunikační kanál k eliminaci těchto alarmů. Bylo by vhodné ponechat alarmy od EPS jako jsou hlášení o poplachu či detekci požáru v jiné alarmové třídě pro zajištění plné pozornosti při alarmu od EPS.



## Data EZS

Aktuálně měřená data z EZS v rámci balíčku Alarmy:

- Most – Výpadek napájení EZS
- Most – Porucha provedení povelu
- Most – Porucha komunikace s PLC/ústřednou EZS
- Most – Poplach (vniknutí osoby)
- Most – Odkódováno
- PTO – ztráta napájení
- PTO – sumární porucha
- PTO poplach – neoprávněný vstup
- PTO odbezpečeno [30]

Nejčastějším „alarmem“ je informovanost o odkódování mostu, dále pak vniknutí osoby a porucha provedeného povelu. Z dat není jasné, o jaké povely se přesně jedná a zda mají souvislost s jiným balíčkem dat, které řeší právě povely. Častějšími jsou pak i poruchy komunikací a výpadky napájení.

**DOPORUČENÍ:** Zanalyzovat a jasně definovat o jaké povely se jedná. Informace o odkódování přidělovat ke konkrétním osobám, například dle odlišných kódů.

## Ostatní data z Alarmů a doporučení

Dále již obecně shrnu **DOPORUČENÍ** v bodech pro jednotlivé zajímavé technologie.

- Vyhřívání hydrantů:
  - Upravit parametry v ŘS – nehlásit poruchu, když není výhřev v automatickém režimu
  - Při údržbě před zimním obdobím nehlásit alarmy při odpojení výhřevu v rámci kontroly
  - Sledovat i údaje o přívodu elektrické energie pro zajištění, zda poruchy zapnutí a vypnutí souvisí s tímto problémem
  - Lépe definovat pojem připravenost
- Osvětlení
  - Zvýšit interval kontroly Řídicí jednotky osvětlení na čtvrtletní, kvůli aktuálnímu vysokému počtu evidovaných poruch
  - Lepé definovat nebo rozdělit na více alarmů pojem „Obecná chyba.“
- Tunelové propojky
  - Vynechat detekci otevírání a zavírání dveří z TT, ve které probíhá servis
  - Evidovat případné nedovírání dveří

## Data Fyzikální veličiny

Aktuálně měřená data z Fyzikálních veličin v rámci balíčku Alarmy:

- Zvláštní stav od opacity
- Zvláštní stav od NO<sub>2</sub>
- Zvláštní stav od CO
- Mimořádný stav od opacity
- Mimořádný stav od NO<sub>2</sub>
- Mimořádný stav od NO
- Provozní větrání od opacity
- Provozní větrání od NO<sub>2</sub>
- Provozní větrání od NO
- Provozní větrání od CO [30]

Alarmy jsou rozděleny dle tunelů (Prackovice/Radejčín) a dle TT (PTT/LTT). Systém eviduje zvláštní a mimořádné stavy od různých měřených veličin. Dle grafů vyplývá, že hodnoty pro vyvolání zvláštního nebo mimořádného stavu jsou nastaveny tak, že zvláštní stav se hlásí současně s mimořádným. Dále v jednom časovém úseku bylo zaznamenáno velké množství alarmů od všech senzorů měřící opacitu, to může značit mlhu, které pronikla do tunelu. Sensory před tunelem by měli zajistit, že se alarmy kvůli mlze nebudou spouštět.

Aktuálně měřená data přímo z balíčku Fyzikální veličiny:

- Teplota – ATS, DA, Kabelové kanály, LTT, PTT, u ŘS, u UPS, Rozvodna, Trafokobky, TP, Portály, Nádrž
- Fyzikální veličiny – CO, NO, NO<sub>2</sub>, Opacita
- Vibrace ventilátorů – dle čísla ventilátoru
- Vítr – intenzita, Směr, Rychlost
- Voda – hladina v nádrži, Tlak
- Mlha

Pro alarmy jsou stanovené meze, se kterými systém pracuje a spouští tím jednotlivé stavy (zvláštní, mimořádné nebo havarijní). Tyto meze vycházejí z hygienických podmínek a je možné je zobrazit pro jednotlivá čidla přímo na vizualizaci systému.

**DOPORUČENÍ:** U balíčku dat fyzikálních veličin zaevidovat do grafů či reportů i milníky, kdy probíhal servis. Bylo by možné tímto v grafu na první pohled odlišit důvod vyššího odběru vody. Dále za pomoci statistických metod odhadovat fyzikální veličiny a nutnost provětrávání tunelu na základě naučeného modelu. Přidat evidenci mezí přímo do měřených dat, pro lepší pochopení sepnutí stavů.

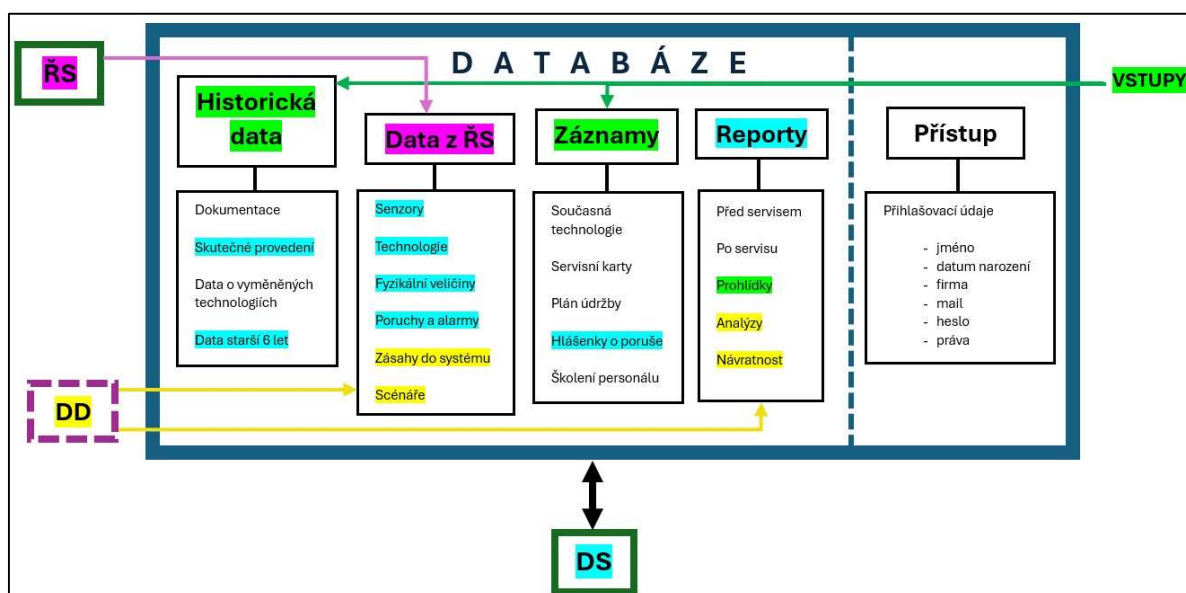
## Data Scénáře

### DOPORUČENÍ:

- Upravit dokumentaci podle skutečného provedení rozdělení scénářů
- Provázat havarijní scénáře podle alarmů a aktivit – zobrazit proč se spouští
- Nerozdělovat scénáře podle tunelů, jsou brány jako celek
- Připravit systém na zvýšení maximální dovolené rychlosti na 100km/h

### 5.2.3 Databáze a vizualizace

Schéma databáze vychází z architektury systému pro detailnější rozbor obsahu. Zároveň vycházím i ze své bakalářské práce, kde jsem se také zabývala obdobným systémem.



Obrázek 52: Schéma a obsah databáze [vlastní zpracování]

Popíšu jednotlivé části a jejich provázanost, kdy jsem databázi rozdělila na 5 základních částí, které vidíme výše na schématu. První částí je **Přístup**, kde bude vedena evidence všech lidí, kteří mají přístup do databáze, důležitým aspektem je nastavení práv jednotlivých uživatelů. Práva, které může uživatel mít jsou:

- Nahlížení
- Vkládání
- Upravování
- Mazání
- Archivování do historie

První část je oddělena od ostatních, protože bez přihlášení do databáze nebude možné se dostat k dalším datům uložených v databázi.

Důležitou částí jsou pak **Reporty**, které jsou tvořeny za pomoci diagnostického systému (DS), který je na databázi napojen. Ty se pravidelně tvoří před a po servisu pro kontrolu, ty vychází z dalších částí databáze (data z ŘS a Záznamy). Dále zde máme uloženy veškeré zprávy z prohlídek, které na tunelu proběhly v předem schválených formátech a formách, aby s nimi databáze a DS mohly pracovat. V záznamech ukládáme také analýzy, řadíme k nim analýzy rizik, spolehlivostní metody a případné predikce, které vychází ze simulací z DD pro zjištění míry rizik, spolehlivosti systému, ale také návratnost vytvořeného IS, který by měl snižovat náklady na provoz a údržbu.

Další částí jsou **Záznamy**, pod ty jsem zařadila aktuální dokumentaci jednotlivých technologií, které v tunelu skutečně jsou, dále jsou zde veškeré dokumenty týkající se servisu tunelu – Roční harmonogramy a servisní karty. Z hlediska provozu tunelu se zde budou ukládat nahlášené poruchy prostřednictvím hlášenek a povede se zde evidence potřebných školení pro zaměstnance. Záznam se do databáze dostávají nahráním do databáze. Dalšími vstupy do databáze jsou informace od dodavatele (životnost, kvalita, materiál apod.).

**Data z ŘS** obsahují veškeré měřené parametry od senzoru a kompletní balíčky dat popsaných v kapitole analýza dat a sběr dat této práce. Data dále využívá DS pro tvorbu již zmíněných reportů a sledování vývoje anomálií a možných poruch. Mimo jiné ukládají spuštěné scénáře a zásahy do systému, za pomoci kterých vytváří podklady pro učení a školení v simulaci systému – v digitálním dvojčeti (DD).

Poslední částí jsou **Historická data** – zde jsou uloženy veškeré nutné provozní a správní dokumenty, dokumentace skutečného provedení, dokumenty o rekonstrukci či výměně technologií nebo senzorů a také zde máme všechny data starší 6 let. Tyto data se využívají pro učení našeho modelu v rámci DS a DD pro zajištění maximální spolehlivosti při predikci budoucích poruch.

Databáze bude díky provázanosti umožňovat filtraci dat například dle datumu, technologie, čísla hlášenky, čísla karty, firmy, jména nahrání, poruchy, alarmu, senzoru, tunelu místa apod., a to z více tabulek dle zadaných parametrů.

## 5.3 Shrnutí kapitoly

V této části práce jsem se zaměřila na návrh informačního systému. Vytvořila jsem schéma pro lepší pochopení postupu práce při tvorbě IS, který vychází z několika metodik popsaných v teoretické části této práce.

Byly zapracovány požadavky na systém od všech zúčastněných stran a následně jsem vytvořila schéma architektury systému, který vychází z principu tří vrstvé architektury. Vrstvy a jednotlivé prvky byly řádně popsány pro pochopení systému.

Následně jsem z analyzovaných dat vytvořila konkrétní doporučení pro některé důležité technologie nebo měřené údaje, které vyšly z analýzy jako problematičtější. Jednalo se například o Vzduchotechniku, CCTV systém, měření výšky, fyzikální veličiny apod. Mezi příklady doporučení můžeme uvést nutnost úpravy způsobu měření, seznam dalších parametrů, které navrhuji měřit, úpravu čidel nebo revizi alarmů pro konkrétní technologii.

Dále jsem se více věnovala databázi, u které jsem definovala přesný obsah a popis jednotlivých vstupů a výstupů. Byl popsán i způsob zabezpečení databáze za pomoci omezených přístupů a možnosti oprávnění pro personál s přístupem k databázi.

## 6 CELKOVÉ SHRnutí A DOPORUČENÍ

Věřím, že se mi podařilo naplnit všechny cíle a definovaná témata této diplomové práce. Návrh vychází z analýzy a zpracování data současného stavu technologie a alarmů z tunelového systému na dálnici D8 a teoretického přístupu a popisů informačních systémů v teoretické části této práce.

Mnou zpracovaná analýza dat odhalila problematičtější technologie, u kterých jsem díky tomu mohla navrhnout změny, které zvýší případnou kvalitu výstupů jež následně může vést ke zkvalitnění požadavku objednatelů a správců na dodavatele. Na základě tohoto zpracování došlo k doporučení dle uvedených bodů:

- U VZT doporučuji přidat některá měřená data a snížit interval snímání parametrů (za provozu každých 5 minut, mimo provoz každých 20 minut).
- U VZT zajistit častější místní kontroly vzhledem k možné degradaci materiálu.
- Senzory jasně očíslovat a zaevidovat do systému.
- Sledovat změny a poruchy u senzorů.
- U měření výšky nově zkalibrovat čidla nebo detektory úplně vyměnit.
- U ATS zvýšit četnost kontrol čerpadel kvůli agresivnímu prostředí na 1x za čtvrt roku.
- U Energetiky upravit celkové zaznamenávání alarmů – jasně definovat stavy
- U CCTV zvýšit četnost kontrol přepěťových ochran videosignálu a kontrolu všech probíhajících komunikací pro omezení ztráty videosignálu na 1x za 2 měsíce.
- U Diagnostiky jasně definovat poruchy – jaké, čeho konkrétně.
- Přidat možnost přepnutí Dieselagregátu do režimu údržby pro zamezení indikace alarmů.
- Řádně školit všechny zaměstnance, o tom, jak by měl probíhat servis technologií.
- Zautomatizovat kontroly u ozkoušení všech funkcí dopravních značek.
- V rámci EPS oddělit alarmy na varovné a informativní. Zdůraznit „Vyhlášení poplachu,“ oproti alarmu „Sumární porucha.“
- U EZS zajistit informace o tom, kdo odkódoval příslušné místo, dle přidělených kódu k jednotlivým zaměstnancům.
- U většiny technologií měřit i přívod elektrické energie (např. Vyhřívání hydrantů).
- Zvýšit četnost kontrol řídicí jednotky k Osvětlení na 1x za čtvrt roku.
- U Osvětlení jasně definovat alarmy typu „Obecná chyba.“
- Přidat do grafů ve vizualizaci informace o tom, kdy proběhla, a kdy proběhne další údržba.

- Zautomatizovat reporty o vzniku scénářů s jasným vysvětlením, co se stalo, a jak na to reagoval dispečer/operátor dopravy.
- Zanést do systému servisní karty a harmonogram údržby.
- Umožnit odpojit technologie od alarmů v servisované TT.

K dalším podstatným bodům a doporučením patří i příklad výstupů ze statistické metody, kterou jsem tvořila za pomoci Bayesovských sítí. Ty doporučuji pro budoucí systém jako prediktivní nástroj. Zjednodušená síť mi ukázala, že je třeba propojovat více dostupných informací pro zpřesnění pravděpodobností vzniku některých alarmů. Se zvýšenou výpočetní technologií by bylo možné počítat s více proměnnými a s komplexnějším řešením pro aktuálně naměřená data. Výstupy z Bayese mi ukázaly například to, že nejvíce alarmů je detekováno z Videodetekce, avšak při přidání podmínky, že alarm bude mít nejvyšší prioritu, se jako nejproblematictější jevílo Osvětlení tunelu.

Pro další případné navazující práce doporučuji:

- Využití Bayesovských sítí pro statistické modelování.
- Zavést povinnost implementace informačních systémů, jak je již zavedeno v novém vydání TP 154 z března 2024.
- Případně požadovat zavedení Facility managementu pro zlepšení efektivity správy a údržby.
- Umožnit úpravu parametrů pro využití informačního systému i na jiných stavbách.
- Poskytnout případné napojení do centrální databáze pro porovnání dat z více tunelů.
- Podrobněji zpracovat databázové vstupy.

V diplomové práci byl naplněn i zbytek bodů zadání – využitelnost BIMu, kdy je zapotřebí zajistit, že dokumentace stavby odpovídá skutečnosti a je aktuální. BIM je pak důležitý nejen pro vlastní projekt tunelu, ale i facility management vlastních technologií a zejména pak pro budoucí údržbu a obnovu některých technologií a zařízení v tunelovém systému. Dále procesní návrhy a popis databáze systému pro vytvoření správné diagnostiky a informačního systému o stavu daného zařízení.

# ZÁVĚR

V diplomové práci jsem se v úvodu zabývala teoretickou částí, kdy bylo nutné sepsat základní změny z TP 154: Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací. Dále jsem pak v menších rešerších zanalyzovala současný stav informačních systémů, kde jsem se zaměřila na definici IS, životním cyklem, vybranými metodikami, architekturou systému, databázemi, bezpečností těchto systému a příklady řídicích systémů.

Zanalyzovaná data byla velice těžko zpracovatelná díky množství informací a rozdílů mezi skutečností a dokumentací. Z dat jsem po několika týdnech práce v RStudiu zpracovala rozsáhlou zprávu, která je jedním ze zdrojů této práce. Zaměřila jsem se i na to, abych zjistila, jak se s daty zachází aktuálně, a co vše se v tunelu měří. Závěr této části bylo velké zklamání ze zjištění, že správce tunelu nevyužívá mnoho zajímavých dat, která by mnohdy zamezila výpadkům některých technologií. Dále bylo zjištěno, že v rámci stavební části se data v podstatě po dokončení záruky stavby neměří a není možné tedy vždy sledovat nejaktuálnější data. V rámci vlastní práce jsem dále pracovala s Bayesovskými sítěmi a určovala pravděpodobnosti výskytu některých situací. Tato metoda se jeví jako vcelku jednoduchá a ideálně aplikovatelná na budoucí predikce z naměřených dat v tunelu.

V poslední části jsem se věnovala samotnému návrhu systému, který byl rozdělen na několik částí. Bylo vytvořeno schéma pro návrh systému a jednotlivé kroky. Dále byla vytvořena architektura systému a detailněji popsána databáze. Věnovala jsem se návrhu konkrétních doporučení pro měření dat v tunelu pro možnou nejspolehlivější a nejpřesnější predikci poruch.

Práce by měla sloužit jako podklad pro tvorbu informačního systému, který uspokojí cíle všech zúčastněných stran a do budoucna optimalizuje provoz a údržbu, zvýší bezpečnost, sníží nároky na lidský faktor a využije potenciál naměřených dat pro predikci poruch v tunelu. Věřím, že se mi v mé diplomové práci podařilo naplnit veškeré body zadání a zároveň využít znalosti, jak z akademického hlediska, tak přímo z praxe a najít vhodnou rovnováhu mezi těmito dvěma přístupy.



## Seznam obrázků

Obrázek 1: Tunel Radejčín [30] .....	14
Obrázek 2: Tunel Prackovice [30].....	15
Obrázek 3: Poloha tunelů Prackovice a Radejčín [vlastní zpracování] .....	16
Obrázek 4: Detailní mapa tunelů i s mostem [vlastní zpracování].....	16
Obrázek 5: Provozní dokumentace tunelu, vlastní zpracování dle TP [8] .....	18
Obrázek 6: Informační model tunelu [8].....	19
Obrázek 7: Schéma Vodopádového modelu [12] .....	25
Obrázek 8: Schéma Spirálového modelu [13].....	26
Obrázek 9: MDA [17].....	30
Obrázek 10: Schéma informačních systémů [9] .....	31
Obrázek 11: Schéma ETL .....	37
Obrázek 12: Řídicí systémy [9].....	40
Obrázek 13: Stručné schéma řídicích systémů [18].....	42
Obrázek 14: Srovnání přístupů [25].....	58
<i>Obrázek 15: Prostředí RStudia</i> .....	62
Obrázek 16: Příklad grafu počtu a závažnosti [vlastní zpracování] .....	64
Obrázek 17: Příklad grafu počtu alarmů [vlastní zpracování].....	65
Obrázek 18: Příklad grafu časové osy alarmů [vlastní zpracování].....	65
Obrázek 19: Graf se signály od energetiky [vlastní zpracování].....	66
Obrázek 20: Graf zařízení a stavů v čase [vlastní zpracování] .....	66
Obrázek 21: Vstupy ze zařízení na časové ose [vlastní zpracování] .....	67
Obrázek 22: Výstupy zařízení na časové ose [vlastní zpracování] .....	67
Obrázek 23: Graf průměrných teplot v tunelu [vlastní zpracování].....	68
Obrázek 24: Graf fyzikálních veličin v tunelu [vlastní zpracování].....	69
Obrázek 25: Graf vibrací ventilátorů v tunelu [vlastní zpracování] .....	70
Obrázek 26: Graf průběhu vibrací u jednotlivých ventilátorů [vlastní zpracování] .....	70
Obrázek 27: Graf změny hladiny v nádrži [vlastní zpracování] .....	71
Obrázek 28: Graf počtu scénářů [vlastní zpracování] .....	72
Obrázek 29: Graf hlavních scénářů [vlastní zpracování].....	72
Obrázek 30: Graf změny hlavních scénářů na časové ose [vlastní zpracování].....	73
Obrázek 31: Graf doplňkové scénáře [vlastní zpracování].....	74
Obrázek 32: Systém detekce nadměrných vozidel a poškozený ventilátor [vlastní zpracování] .....	75
Obrázek 33: Graf havarijních scénářů v čase [vlastní zpracování].....	76
Obrázek 34: Výčet alarmů v daném časovém úseku [vlastní zpracování].....	77

Obrázek 35: Výčet aktivit dispečerů v daném časovém úseku [vlastní zpracování] .....	77
Obrázek 36: Grafy ve vizualizaci systému .....	79
Obrázek 37: Vizualizace obousměrného provozu v tunelu Prackovice .....	80
Obrázek 38: Vizualizace normálního provozu v tunelu Prackovice .....	81
Obrázek 39: Vizualizace osvětlení tunelu Prackovice v den servisu .....	82
Obrázek 40: Vizualizace osvětlení tunelu Prackovice den po servisu .....	83
Obrázek 41: Bayesovská síť [vlastní zpracování] .....	85
Obrázek 42: Marginální pravděpodobnost pro závažnosti .....	86
Obrázek 43: Tabulka pravděpodobností míry závažností (v zimě) [31].....	87
Obrázek 44: Graf pravděpodobnosti míry závažností (v zimě) [31].....	87
Obrázek 45: Tabulka pravděpodobností vzniku události v konkrétní třídě (priorita 4) [31] .....	88
Obrázek 46: Graf pravděpodobnosti vzniku události v konkrétní třídě (priorita 4) [31] .	89
Obrázek 47: Tabulka pravděpodobností vzniku události v konkrétním místě (priorita 1) [31].....	89
Obrázek 48: Graf pravděpodobností vzniku události v konkrétním místě (priorita 1) [31] .....	90
Obrázek 49: Schéma návrhu informačního systému [vlastní zpracování] .....	93
Obrázek 50: Architektura tunelového systému a napojení navrhovaného IS pro správu [vlastní zpracování] .....	97
Obrázek 51: Stupně závažnosti a časů dle smlouvy[smlouva se správcem tunelu] .....	98
Obrázek 52: Schéma a obsah databáze [vlastní zpracování] .....	107

## Zdroje

- [1] PŘIBYL Pavel a Jiří BARTÁK. *Tunely na pozemních komunikacích*. 2011. České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-04723-1
- [2] FOTR Jiří a Jiří HNILICA. *Aplikovaná analýza rizik ve finančním managementu a investičním rozhodování*. 2., aktualizované vydání 2014. Grada Publishing a.s. ISBN 978-80-247-5104-7
- [3] JUNG Karel, Miroslav Sýkora, Milan Holický, Jana Marková, Pavel Maňas, Zdeněk VINTR a Lubomír Kroupa. *Hodnocení bezpečnosti a rizik silničních mostů a tunelů*. ČVUT 2018. ISBN 978-80-01-06516-7
- [4] NOVÁK Mirko, Václav Šebesta a Zdeněk Votruba. *Bezpečnost a spolehlivost systémů*. Vydavatelství ČVUT 2003. ISBN 80-01-02807-0
- [5] KRCHNÁR Jozef, Juraj Guláš, Róbert Olšiak, Karol Prikkel a Karol Stračár. *Simulácia hydrostatického systému plavebnej komory a jej využitie na prognózovanie technického stavu*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě 2011. ISBN 978-80-227-3483-7
- [6] NEUGEBAUER Tomáš. *Vyhledávání a vyhodnocení rizik v praxi*. 3. Vydání. Woltres Kluwer ČR a.s., 2018. ISBN 978-80-7552-072-2
- [7] BENEŠOVÁ Malvína. Bakalářská práce. *Uplatnění prediktivní diagnostiky v tunelech*. České Vysoké Učení Technické v Praze, fakulta dopravní, 2020 <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/92496>
- [8] TP 154: Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací, Ministerstvo dopravy, březen 2024 Online na: [www.pjpk.cz](http://www.pjpk.cz)
- [9] DANEL Roman. Informační systémy. Vysoká Škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, fakulta strojní, 2013 [https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_041/Informa%C4%8Dn%C3%AD%20syst%C3%A9my.pdf](https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_041/Informa%C4%8Dn%C3%AD%20syst%C3%A9my.pdf)
- [10] Molnár Z.: Efektivnost informačních systémů. Grada, 2001. ISBN: 80-247-0087-5
- [11] Kajzar D.: Tvorba informačních systémů II. Opava: Slezská univerzita v Opavě, 2005. ISBN: 80-7248-288-2.

- [12] Vodopádový model (Waterfall model). In: ManagementMania.com [online]. Wilmington (DE) 2011-2024, 22.02.2015 Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/vodopadovy-model-waterfall-model>
- [13] BOEHM Barry W. Software engineering: Barry W. Boehm's lifetime contributions to software. Wiley-IEEE Computer Society Press. 2007. ISBN: 978-0-470-14873-0
- [14] Grossman Lukáš. Itnetwork.cz, Lekce 7 - Rational Unified Process a Metodiky řízení <https://www.itnetwork.cz/navrh/metodiky/rational-unified-process-a-metodiky-rizeni>
- [15] Třívrstvá architektura (Three-tier architecture). In: ManagementMania.com [online]. Wilmington (DE) 2011-2024, 05.12.2015 Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/trivrstva-architektura-three-tier-architecture>
- [16] SOA (Service Oriented Architecture). In: ManagementMania.com [online]. Wilmington (DE) 2011-2024, 22.10.2017 Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/service-oriented-architecture>
- [17] TOMAN Stanislav. Modelem řízená architektura. Online. Bakalářská práce. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. 2009. Dostupné z: <https://theses.cz/id/0jtdeg/>
- [18] Metrostav a.s., Projektová dokumentace tunelu Radejčín, 2015
- [19] Metrostav a.s., Projektová dokumentace tunelu Klimkovice, 2006
- [20] Metrostav a.s., Oprava stavební a technologické části tunelu Klimkovice, PS 611.10 Řídicí systém dopravy a technologie, Technická zpráva, 2019
- [21] Tichý T., Štefan J., Pixa R., Miklůšik I. Systém pro řízení, diagnostiku simulaci technologie v tunelech, ELTODO, a.s.
- [22] Tichý T., Štefan J., Miklůšik I. Systém pro analýzu a diagnostiku technologie v tunelech, ELODO, a.s. Silniční konference 2018
- [23] RKANCE SYSTEMS CZ S.R.O., Co je BIM – informační model budovy, 2024 <https://www.bimfo.cz/Co-je-BIM.aspx>
- [24] Bim.Point, Co je vlastně ten BIM, 2022 <https://www.bim-point.com/blog/a-co-je-vlastne-ten-bim>

- [25] Bim.Point, CDE Common Data Environment, 2022 <https://www.bim-point.com/cde-common-data-environment>
- [26] ZHANG CHI, Application of BIM in Highway Engineering. 2023 Online: [https://www.researchgate.net/publication/377743449\\_Application\\_of\\_BIM\\_in\\_Highway\\_Engineering](https://www.researchgate.net/publication/377743449_Application_of_BIM_in_Highway_Engineering)
- [27] DOUBEK, Šimon. *BIM metodiky do tvorby a údržby železničního tunelu*. České Vysoké Učení Technické v Praze, fakulta stavební, 2018
- [28] The R Foundation, What is R? Online: <https://www.r-project.org/about.html>
- [29] KVASNIČKA, MICHAL. Úvod do R, IS Masarykovy univerzity, 2016. Online: [https://is.muni.cz/el/econ/podzim2016/BPE\\_AVED/um/64916157/uvod\\_do\\_R.html](https://is.muni.cz/el/econ/podzim2016/BPE_AVED/um/64916157/uvod_do_R.html)
- [30] Benešová Malvína, Zpráva z dat. Metrostav, a.s. 2023
- [31] Benešová Malvína, Druhá část semestrální práce – Bayesovské sítě, 14PD ČVUT FD, 2024
- [32] IFMA What is Facility Management <https://www.ifma.org/about/what-is-fm/>