

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta dopravní
Ústav aplikované informatiky v dopravě



Zhodnocení bezpečnosti tunelového nadstavbového systému

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Yevhenii Semyzhenko
Vedoucí práce: Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.
doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA
Rok: 2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Yevhenii Semyzhenko

Studijní program (obor/specializace) studenta:

bakalářský – ITS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Zhodnocení bezpečnosti tunelového nadstavbového systému**

Název tématu (anglicky): Safety assessment of the tunnel extension system

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Vypracujte rešerši potřeb tunelové technologie z hlediska SCADA prostředí u nás a v zahraničí.
- Analyzujte uplatnění bezpečnostních a funkčních prvků pro subsystemy připojené do řídicího systému (ŘS) tunelu.
- Proved'te diagnostiku subsystemů v tunelu pro zajištění bezpečnosti připojení do ŘS přes SCADA.
- Vypracujte návrh a doporučení uplatnění bezpečnostních prvků ve SCADA ŘS tunelu včetně reportů pro uživatele - správce.

Rozsah grafických prací: 10-20 obrázků

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Zelinka,T., Svítek, M.: Telekomunikační řešení pro informační systémy síťových odvětví, Grada 2009

Odborné články IEEE

Normy, standardy a odborné časopisy

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Martin Šrotýř Ph.D.

doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA

Datum zadání bakalářské práce:

8. října 2021

(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 bakalářské práce:

8. srpna 2022

- 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

L. S.

.....
doc. Ing. Vít Fábera, Ph.D.

vedoucí

Ústavu aplikované informatiky v dopravě

.....
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

.....
Yevhenii Semyzhenko

jméno a podpis studenta

V Praze dne.....8. října 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem k tomu pouze zdroje uvedené na konci práce, a to v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským.

V Praze dne: 08.08.2022

.....

Jméno a podpis studenta

Poděkování

Chtěl bych poděkovat panu docentu Ing. Tomášovi Tichému, Ph.D., a také panu Ing. Martinu Šrotýřovi, Ph.D za jejich velkou trpělivost, pomoc a návody v průběhu zpracování bakalářské práce.

.....

Jméno a podpis studenta

Název práce: Zhodnocení bezpečnosti tunelového nadstavbového systému

Autor: Yevhenii Semyzhenko

Obor: Inteligentní dopravní systémy

Druh práce: Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Martin Šrotýř, Ph.D.

doc. Ing. Tomáš Tichý, Ph.D., MBA

Ústav aplikované informatiky v dopravě, Fakulta dopravní, České vysoké učení technické v Praze

Abstrakt: Cílem této práce je analýza bezpečnosti tunelového nadstavbového systému na základě technologie SCADA. V této práci bude představena základní informace o systému SCADA, jeho hlavní součásti, principy a jejich vzájemná funkčnost. Také budou analyzované potřeby tunelové technologie z hlediska SCADA prostředí a provedení analýzy uplatnění subsystému do řídicího systému tunelu pomocí SCADA.

Klíčová slova: Tunelová bezpečnost, SCADA, Subsystém tunelu, Technická diagnostika, Automatizace, LIDAR, C2X

Title: Safety assessment of the tunnel extension system

Author: Yevhenii Semyzhenko

Abstract: The aim of this work is to analyze the safety of the tunnel extension system based on SCADA technology. In this work, basic information about the SCADA system, its main components, principles and their mutual functionality will be presented. The needs of tunnel technology in terms of the SCADA environment and the analysis of the application of the subsystem to the control system of the tunnel using SCADA will also be analyzed.

Key words: Tunnel safety, SCADA, Tunnel subsystem, Technical diagnostics, Automation, LIDAR, C2X

Obsah

ÚVOD -----	6
1 Analýza potřeb tunelové technologie z hlediska SCADA -----	7
1.1 Tunel-----	7
1.2 Co je SCADA? -----	8
1.3 Základní pojmy SCADA-----	9
1.4 Typy programu SCADA-----	12
1.4.1 Reliance 4-----	12
1.4.2 Aveva InTouch-----	13
1.4.3 PROMOTIC-----	13
1.4.4 SCADA Atvise-----	14
1.4.5 Porovnání SCADA programu -----	15
2 Možnosti aplikace SCADA pro tunelovou infrastrukturu -----	16
2.1 Úkoly SCADA-----	16
2.2 Analytické a predikční možnosti SCADA-----	17
3 Příklady využití SCADA systému pro řízení tunelové infrastruktury -----	20
3.1 Analýza na příkladě subsystému tunelu Valík (Česká Republika)-----	20
3.1.1 Automatizované řízení tunelu -----	21
3.1.2 Řídicí systém dopravy tunelu-----	23
3.1.3 Řídicí systém technologie tunelu-----	24
3.2 Analýza na příkladě DIA dopravního tunelu (Spojené arabské emiráty) -----	26
3.2.1 Komunikace -----	28
3.2.2 Rozvod -----	28

3.2.3	Osvětlení	28
3.2.4	Ventilace	30
3.2.5	Odvodnění	31
3.2.6	Požární systém	31
3.2.7	Alarmy	31
3.2.8	Kamerový dohled	32
3.2.9	Řízení dopravy	32
3.3	Závěr řešeršní části práce	33
4	Využití diagnostických přístupů v tunelové infrastruktuře	36
4.1	Prediktivní diagnostika	37
4.1.1	Technická diagnostika systému	37
4.1.2	Technická prognostika	39
4.1.3	Diagnostika subsystému tunelu	41
4.1.4	Doporučení pro zajištění diagnostiky	45
5	Návrhy a doporučení uplatnění bezpečnostních prvků	47
5.1	Kroky pro zlepšení kyberbezpečnosti řídicího systému SCADA	47
5.2	C2X v tunelové infrastruktuře	50
5.2.1	Přínosy C2X pro tunelovou infrastrukturu	51
5.2.2	Komponenty C2X	52
5.2.3	Technologie komunikace	53
5.3	Využití termokamer pro tunelovou infrastrukturu	54
5.3.1	Termografická diagnostika tunelových konstrukcí	54
5.3.2	Využití termokamer pro zvýšení bezpečnosti provozu tunelu	55
5.4	Technologie LIDAR	56
5.4.1	Princip technologie LIDAR	56
6	Návrh využití technologie LIDAR v tunelové infrastruktuře	58
6.1	Data sbíraná pomocí LIDAR	58

6.2	Velodyne LIDAR software	60
6.3	Technické parametry	61
6.4	Návrh technického řešení	63
6.5	Varianty využití LIDAR	64
6.6	Zhodnocení návrhu	65
7	Doporučení pro zvýšení bezpečnosti tunelové infrastruktury	66
7.1	Body doporučení	66
8	Závěr	70
9	Zdroje	72

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- C2C – Car to Car
- C2I – Car to Infrastructure
- C2X – Car to X(Everything)
- CCTV – Closed-circuit television
- CCU – Communication Control Unit
- CPU – Central processing unit
- DIA – Dubai International Airport
- DSRC – Dedicated short-range communications
- EPS – Elektrická požární signalizace
- GPS – Global Positioning System
- HMI – Human machine interface
- HPSV – High Pressure sodium vapour
- I/O – In/Out
- JP – Jízdní pruh
- LAN – Local area network
- LED – Light-Emitting Diode
- LHD – Lineární teplotní kabel
- LIDAR – Light Detection and Ranging
- MAN – Metropolitan Area Network
- OBU – OnBoard Unit
- PDZ – Proměnná dopravní značka
- PLC – Programmable Logic Controller
- PoE – Power over Ethernet
- PTO – Provozně technický objekt
- PTZ – Pan/tilt/zoom
- RAM – Random Access Memory
- ŘS – Řídicí systém
- RSU – Roadside Unit
- RTU – Remote terminal unit
- RUL – Remaining usefull life

- SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition
- SSZ – Světelné signalizační zařízení
- SW – Software
- TTF – Time to failure
- VMS – Variable Message Sign

Úvod

V dnešní době se svět rychle přibližuje k počátku průmyslu 4.0. Každé odvětví průmyslu, dopravy, administrace, stavby atd. se stará v určité míře o zavedení automatizace. Snížení vlivu lidského faktoru ve všech oblastech průmyslu a administrativy usnadňuje život, snižuje náklady a rovněž zvyšuje bezpečnost a rychlost provedení vybraných operací.

Práce, kterou mohou dělat stroje, by měly dělat stroje. Bohužel kvůli vlivu lidského faktoru mohou nastat různé excesy, od malých a neškodných k velkým a nenapravitelným. Automatizace by měla snížit možnost výskytu excesů. Zavedení automatického sběru dat a kontroly procesu v různých odvětvích ekonomiky, dopravy, administrativy by vedlo k novým možnostem v rozvoji, růstu produkce, zrychlení předávání dat, zvýšení pohodlí v dopravě a k celkovému zlepšení běžného života.

Tunelová infrastruktura je důležitým sektorem dopravy ve všech státech světa, pomocí tunelu se spojují těžko dostupná místa, je umožněna doprava pod vodou mezi ostrovy a také ve městech se skalnatým terénem je umožněna doprava mezi různými částmi města. Zavedení a zlepšení automatizace v tunelové infrastruktuře by vedlo ke snížení počtu dopravních nehod, zvýšení pohodlí cestování, snižování možnosti výskytu kongesce, snížení doby jízdy a zajištění bezpečnosti cestujících.

Cílem této práce je představit možnosti technologie SCADA, ukázat, jakým způsobem je umožněna automatizace tunelové infrastruktury, jaké systémy a subsystémy lze kontrolovat a jaké data sbírat. Také zde budou představeny základní informace o systému SCADA a způsob provádění kontroly tunelové infrastruktury pomocí nadstavbových systémů.

1 Analýza potřeb tunelové technologie z hlediska SCADA

1.1 Tunel

Tunel je podzemní objekt, kterým prochází pozemní komunikace, úlohou tunelu je zajištění spojení mezi těžko dostupnými místy.

Tunelové dílo se dělí na stavební a technologickou část. [1]

Technologie tunelu je rozdělena do tří celků:

- Dopravní systém
- Bezpečnostní systém
- Technická zařízení zabezpečující funkčnost tunelu

Dopravní systém

Dopravní systém má za úkol řízení dopravy, což provádí pomocí senzoru, aktorů a řídicího systému tunelu. Sensory v tunelu sbírají data, dopravní a fyzikální veličiny. Aktory jsou zařízení, která jsou umístěna před tunelem nebo uvnitř tunelových trub, jejich úkolem je ovlivnění dopravního toku a předávání informací řidičům. Mezi aktory patří SSZ a PDZ.[1]

Bezpečnostní systém

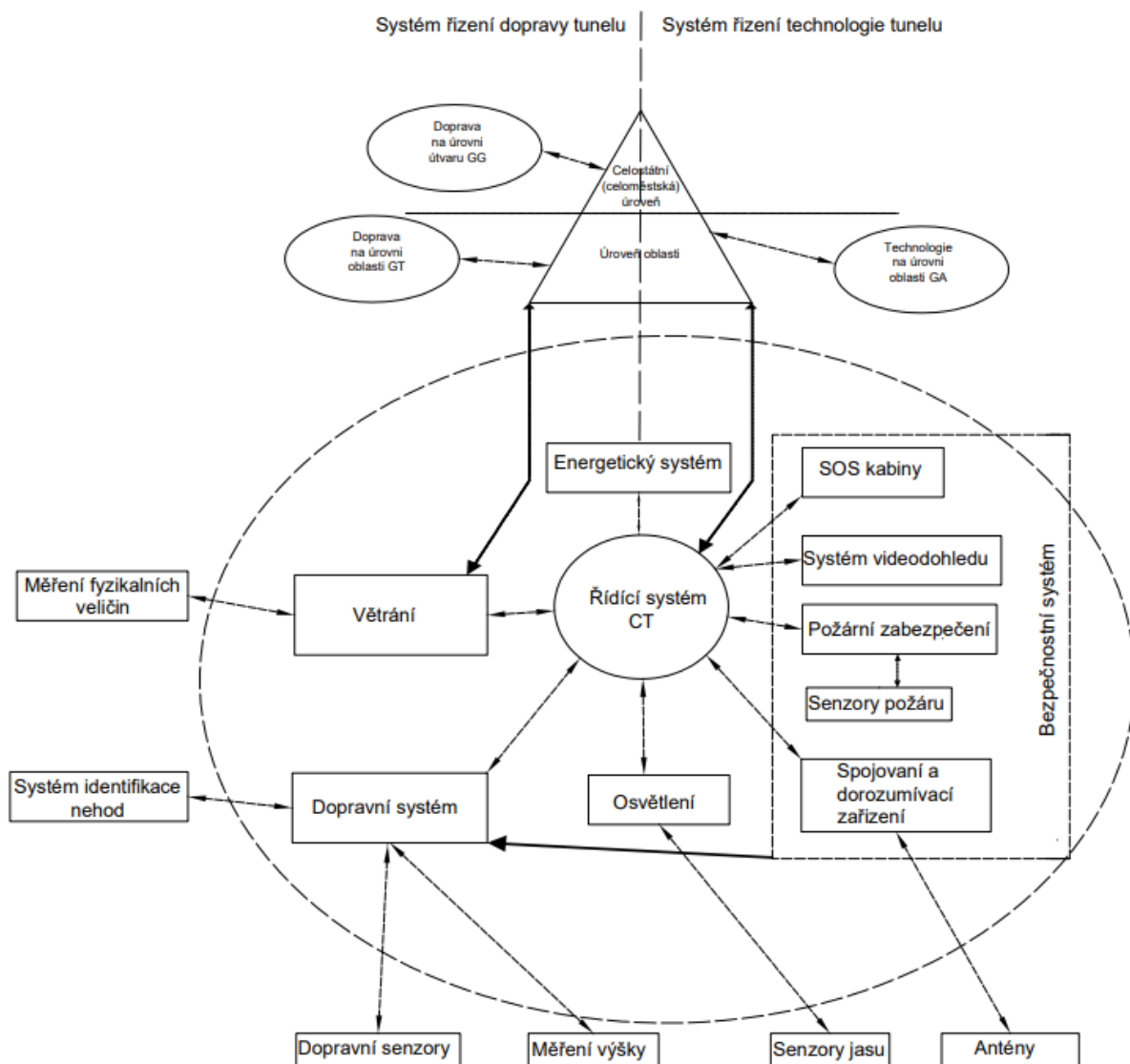
Bezpečnostní systém zajišťuje funkčnost bezpečnostních prvků tunelu. Úkolem systému je monitorování a kontrola situace v tunelu, při nouzové situaci spuštění nouzových protokolů, EPS, hlášení SOS. Mezi prvky bezpečnostního systému patří EPS, SOS kabiny, únikové cesty atd. [1]

Technická zařízení

Mezi technická zařízení tunelu patří například větrání, spojovací a dorozumívací zařízení, systém videodetekce, zásobování elektrickou energií, řídicí systém a osvětlení.

Technologie se dělí podle funkčních parametrů, mezi určitými systémy jsou vzájemné úzké vazby. Každý funkční prvek tunelu je součástí velkého systému, který je integrován do řídicího systému SCADA a zároveň je integrován do systému řízení dopravy na úrovni oblasti nebo

útvary. Pomocí systému SCADA jsou vstupní a výstupní proměnné k dispozici v libovolném čase řídicího systému.[1]



Obrázek 1: Subsystémy tunelu, jejich vazby a začlenění tunelu do dopravního systému oblasti a útvary, vlastní zpracování z TP98 [1]

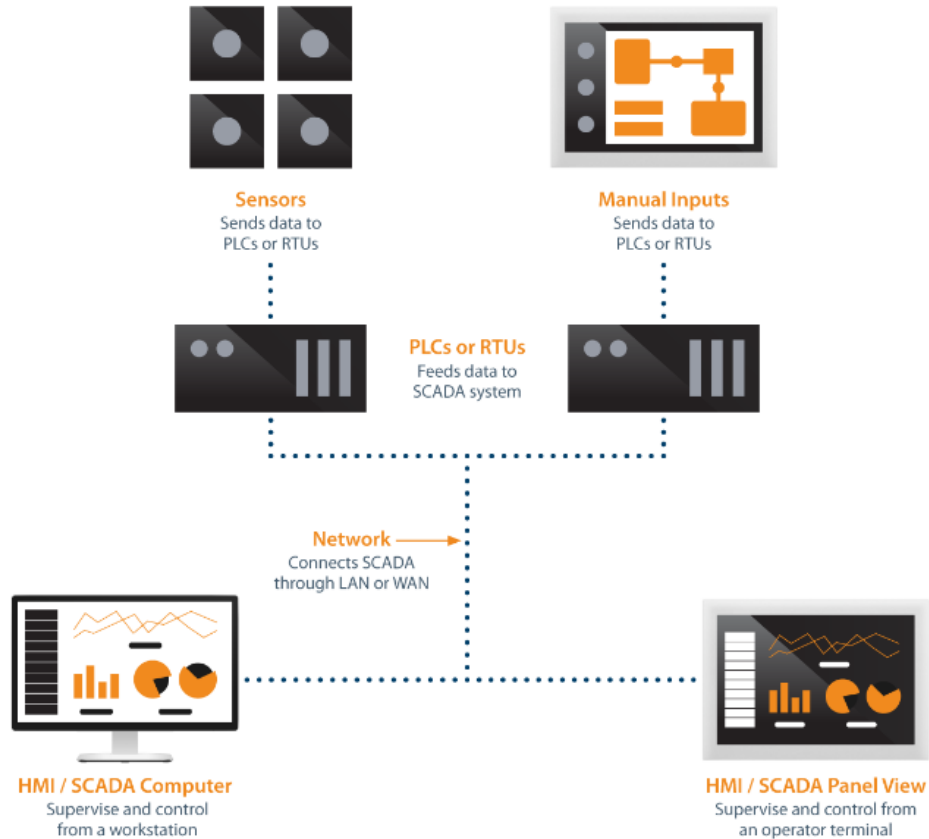
1.2 Co je SCADA?

Výraz SCADA pochází ze zkratky anglického sousloví *Supervisory Control And Data Acquisition*, tedy „dispečerské řízení a sběr dat“.

Systém SCADA slouží ke sběru dat ze senzorů a nástrojů umístěných ve vzdálených oblastech. Počítač poté tato data zpracuje a pohotově je předloží. Systém SCADA shromažďuje informace a přenáší je zpět do systému, zároveň poskytuje výstrahy, že došlo k úniku a zobrazuje

informace logickým a přehledným způsobem. Systém SCADA odečítá měřiče a v pravidelných intervalech kontroluje stav senzorů způsobem, který má minimální potřebu lidského faktoru.[2]

Basic SCADA Architecture



Obrázek 2: Architektura SCADA sítě a základní úkoly prvku [3]

1.3 Základní pojmy SCADA

HMI

Jedná se o rozhraní mezi člověkem a strojem, je to například vizualizační software, který umožňuje řídit procesy v tunelu, ovládat a měnit parametry pomocí aplikace na PC nebo na terminálu či mobilním zařízení (tablet, mobil atd.). HMI rovněž umožňuje sběr i archivaci dat a následnou analýzu.

PLC

Zkratka PLC pochází z anglického Programmable Logic Controller. Jedná se o průmyslový počítač, který je vybaven potřebným HW a SW, je určen pro řízení procesu v systému, ovládání strojů, zpracovávání a předávání informací. [4]

PLC systémy byly z počátku využívány zejména pro řízení výrobního procesu, kde nahradily napevno zapojená relé a zajišťovaly chod montážních linek i ovládání strojů. [4]

Ovšem průmyslová automatizace a robotizace se postupně začala rozrůstat i do ostatních oblastí lidské činnosti, proto se dnes s PLC systémy setkáme i v jiných než výrobních odvětvích.[4]

Každý PLC systém se skládá z dvou hlavních komponentů. Těmi jsou centrální procesorová jednotka (CPU) a digitální či analogové I/O moduly. [4]

CPU

Mikroprocesor, který spouští řídicí program. Jednotka načte data ze vstupních modulů a na jejich základě vyše příkazy výstupnímu modulu. [4]

I/O

Vstupní a výstupní moduly fungují v reálném čase jako datové rozhraní propojující CPU s ovládaným zařízením. Díky nim PLC systém zná a kontroluje aktuální stav ovládaných zařízení, který upravuje dle svého naprogramování. [4]

RTU

Zkratka RTU pochází z anglického Remote Terminal Unit, v systému SCADA slouží pro sběr dat a pak kóduje a předává data do HMI. Jednotka RTU sleduje analogová a digitální data a přenáší je do SCADA systému. Obsahuje vstupy a výstupy pro měření, snímání, řízení. Velkou výhodou RTU oproti PLC je jeho snadná instalace. Pro nastavení PLC je nutně mít specifický SW a znát určitý programovací jazyk. Pro nastavení RTU je možné využít standardní web rozhraní anebo využít instalační SW, který je součástí dodávky. RTU jsou velice odolné vůči klimatickým podmínkám, jsou hojně využívány v prostředích s extrémními teplotami a ve vzdálených lokalitách. [5]

Senzory

Senzory jsou používané pro získávání dat, která jsou následně interpretována do podoby informací. Mohou být analogové nebo digitální. Jsou určeny pro vzdálené měření, předávání dat a alarmování. Data se sbírají z řízeného systému a pak následně předávají do PLC nebo RTU. Senzory mohou sbírat různé typy dat, od rychlosti vozidla na vozovce do počtu lumenů/m² atd. Senzory jsou důležitým prvkem pro zajištění bezpečnosti a plynulosti provozu

v tunelu. Jsou hlavním zdrojem poskytování informací o provozu v tunelu pro celý řídicí systém. [6]

Akční členy

Prostřednictvím akčních členů působí regulátor přímo na regulovanou soustavu. Akční členy jsou prvky systému určené k využití zpracované informace, jejich prostřednictvím řídicí systém provádí manipulace řízením strojem. Jsou to relé, elektromotory, ventily, žárovky atd. Akční členy jsou dvupolohové (zavřeno/otevřeno) nebo spojité (plynulá regulace mezi mezními hodnotami). Data a parametry jsou posílány prostřednictvím PLC z terminálu který je ovládán systémem SCADA. [7]

OPC UA

OPC Unified Architecture (OPC UA) je průmyslový M2M komunikační standard a slouží obecně k výměně dat mezi různými průmyslovými systémy. Předchůdcem je standart OPC, který je založen na technologii COM/DCOM od firmy Microsoft (a proto funguje pouze v OS Windows). OPC UA je technologie založená na obecně používaných komunikačních standardech jako jsou TCP/IP, HTTP a SOAP. OPC UA může fungovat i na jiných platformách než Windows. OPC UA komunikaci lze zabudovat i do vlastních PLC automatů a jiných zařízení. Komunikační protokol OPC je založen na principu klient – server.[8]

OPC klient je software program, který přijímá data z OPC serveru ve formátu OPC a prezentuje tato data pro uživatele ve výhledu vizualizace, grafů, reportů apod. [8]

OPC Server je software program, který komunikuje se zařízením komunikačním protokolem (Modbus, MPI, PPI atd.), získaná data převádí do formátu OPC, a poskytuje je nadřazeným aplikacím ve formátu OPC. OPC serverů jsou stovky druhů v závislosti na použitém zařízení/komunikačním protokolu, pro který jsou určeny. [8]

Mezi světově nejznámější aplikace typu OPC klient – SCADA HMI patří: [8]

- InTouch (Wonderware)
- WinCC (Siemens)
- iFix (Intellution)
- Genesis 32 (Iconics)
- CitectScada (Citect)

- RSView32 (Rockwell Software)
- Lookout (National Instruments)

Z českých výrobců aplikací OPC klient - SCADA HMI lze jmenovat například tyto: [8]

- Aspic (Merz s.r.o.)
- ControlWeb (Moravské přístroje a.s.)
- Promotic (MICROSYS, spol. s.r.o.)
- Reliance (GEOVAP, spol. s.r.o.)

1.4 Typy programu SCADA

Níže uvedené programy jsou malou částí SW, který umožňuje tvorbu aplikací pro vzdálenou kontrolu a řízení tunelových a jiných systémů a infrastruktur. Téměř každý program ve SCADA prostředí je možné naprogramovat na určitou aktivitu a využívat ho v libovolném odvětví průmyslu, dopravy, telematiky atd.

1.4.1 Reliance 4

Reliance 4 je profesionální SCADA/HMI systém, který je určen pro vizualizace a kontrolu průmyslové, dopravní a stavební automatizace. Důvodem, proč je systém Reliance vysoce ceněn systémovými integrátory, je jeho snadné použití a uživatelsky přívětivé funkce, díky nimž je systém velmi rychlý a dobře se s ním pracuje. [9]

Data jsou získávána z řídicích systémů pomocí komunikačních driverů, nebo je SCADA systém napojený na OPC server, který komunikuje s hardwarem. Data jsou zpracovávána a pak ukládána do databází a prezentována ve výhledu schémat, grafu, tabulek atd. [9]

Systém Reliance je používán na mnoha místech v ČR i ve světě: [9]

- Vizualizace a ovládání tunelu Valík
- BIDVEST Czech Republic – Vizualizace a řízení chladicí strojovny a mrazírny
- Vizualizace a řízení provozu lanové dráhy Imperial v Karlových Varech
- Vizualizace a řízení pomocného provozu elektrárny Mělník
- Vizualizace a řízení procesů chlazení a zmrazování v Diviande ve Veenendaalu.

Pomocí systému Reliance je možné vytvořit spolehlivý a uživatelsky přívětivý systém pro řízení jakéhokoli dopravního nebo průmyslového systému.

Mezi výhody tohoto systému patří: [9]

- intuitivní, přehledné a moderní vývojové prostředí
- rychlý vývoj aplikací (RAD) vizualizace pro PC
- využití pro weby, tablety a chytré telefony
- rozsáhlá knihovna grafických objektů
- rychlá a kvalitní technická podpora

1.4.2 Aveva InTouch

InTouch byl vyvinutý firmou Aveva (dříve WonderWare) a je jedním z nejpoužívanějších systémů ve světě. Stejně jako v systému Reliance 4, je i zde SCADA/HMI. Tento systém umožňuje sledovat a regulovat průběh práce zařízení a umožňuje tvorbu vizualizačního prostředí pro kontrolu aktuálního stavu. [10]

Je to otevřený vizualizační HMI SW, mezi jehož hlavní výhody patří: [10]

- Vysoká výkonnost
- Flexibilita
- Možnost připojení k systému přes zařízení s jakýmkoliv webovým prohlížečem
- Kompatibilita s aplikacemi starších verzí
- Rozsáhlá podpora průmyslových protokolů
- Rozsáhlá knihovna symbolů

InTouch umožňuje využití I/O serveru od firmy Aveva, rovněž je možno využít komunikace přes OPC servery. [10]

1.4.3 PROMOTIC

Promotic je program vyvinutý firmou MICROSYS. Je to komplexní SCADA SW nástroj tvorby aplikací pro vizualizace, řízení a monitoring technologických procesů. Umožňuje vytvářet distribuované a otevřené aplikace a poskytuje uživatelsky přívětivé rozhraní pro jejich tvorbu. Do systému PROMOTIC jsou zabudované funkce pro jednoduché a rozsáhlé řídicí systémy. [11]

Výhody tohoto programu: [11]

- Rozsáhlá nabídka objektů PROMOTIC
- Automatické konverze obrazu do HTML a XML formátu
- Podpora Web technologie Internet/Intranet
- SQL rozhraní pro databáze
- Příznivá cena

Aplikace může ukládat data do externích zdrojů a také z nich data načítat. Takovým zdrojem může být PLC, IO/OI porty. Systém se propojuje se zařízením pomocí Ethernetu. Systém PROMOTIC je vysoce kompatibilní s různými zařízeními od firem Siemens Simatic, Mitsubishi, M-Bus atd. [11]

1.4.4 SCADA Atvise

Atvise je produktem firmy Bachmann Visutec GmbH. S OPC UA jako široce používaným rozhraním propojuje Atvise SCADA procesní data od všech známých výrobců regulátorů. Kromě toho dokážou aplikace Atvise® scada rychle a snadno komunikovat s databázemi a webovými službami. Komunikační modul Atvise connect umožňuje další rozšíření rozhraní a zajišťuje připojení přes Modbus, KNX, MQTT a BACNet, stejně jako přístup k řadičům Siemens a Rockwell bez OPC UA serveru. [12]

Procesní data, alarmy a interakce uživatelů lze snadno archivovat pomocí SCADA Atvise. Pro zajištění vysoce výkonného přístupu k archivovaným datům nabízí SCADA Atvise možnost rozdělení velkých datových dotazů do několika malých datových balíčků. Tímto způsobem klienti získají svá data okamžitě, aniž by museli dlouho čekat na dokončení načítání datových sad. Kromě toho je k dispozici čtyřicet agregačních funkcí pro další zpracování archivovaných dat, které lze použít například k určení středních hodnot, minim, maxim a podobně. [12]

S OPC UA jako rozhraním získává SCADA Atvise procesní data, informace o alarmech i historická data přímo z připojených datových zdrojů. Údaje jsou dále zpracovávány ve formě výpočtů nebo agregací a předávány ve zpracované formě do systémů vyšší úrovně prostřednictvím OPC UA. Takto implementované systémy zůstávají synchronizovány v celkové architektuře, a to vše bez ztráty informací nebo úprav rozhraní. [12]

Výhody tohoto programu: [12]

- Výkonný skriptovací engine

- Bezpečnost
- Dynamické zpracování alarmu
- Prostor pro individualizaci

1.4.5 Porovnání SCADA programu

Dále je představeno porovnání základních parametrů SCADA programu. Existuje hodně faktorů, podle kterých by bylo možné porovnat tyto systémy, pro jednoduchost zde budou hodnoceny podle škály od 1 do 5, kde 1 je nízké hodnocení a 5 vysoké.

Nejlepším výběrem jsou programy Aveva InTouch a SCADA Atvise, protože umožňují komunikaci s velkým počtem protokolů, jsou bezpečné, kompatibilní a velmi výkonné. Programy Reliance4 a Promotic mají nízkou cenu, vysokou flexibilitu modifikace, poměrně vysoký výkon a velké množství komunikačních možností. Každý z představených programů má možnost využití protokolu OPC UA.

Tabulka 1 : Porovnání SCADA programu

	Reliance 4	Aveva InTouch	Promotic	SCADA Atvise
Cena	●●●○○	●●●●●	●●○○○	—
Komunikační možnosti	●●●●○	●●●●●	●●●○○	●●●●●
Výkon	●●●●○	●●●●●	●●●●○	●●●●●
Kompatibilita	●●●○○	●●●●●	●●○○○	●●●●●
Flexibilita modifikace	●●●●●	●●●○○	●●●●○	●●●●○
Knihovna	●●●○○	●●●●○	●●●●○	●●●●●

2 Možnosti aplikace SCADA pro tunelovou infrastrukturu

2.1 Úkoly SCADA

SCADA je důležitou součástí dnešních řídicích systémů tunelové infrastruktury. Systém SCADA spojuje různé technologie k zajištění monitorování, sběru a zpracování dat a také k řízení a k úpravě parametrů. Základem pro kontrolu a ovládaní jakéhokoliv systému SCADA je HMI, který umožňuje uživatelům ovládat zdroje a zařízení. Informace od akčních členů SCADA dostává prostřednictvím OPC serveru, který dostává data z RTC nebo PLC, a ty získávají data od senzoru automaticky či manuálně. [13]

Pomocí SCADA systému je možné kontrolovat tyto tunelové subsystémy:

- Komunikační spojení RŠ tunelu
- Požární systém
- Rozvod
- Osvětlení
- Větrání
- Kamerový dohled
- Řízení dopravy/Dopravní značení
- Alarmy a varování

“V silničních tunelech má životně důležitý význam vybavení pro bezpečnost uživatelů. Operátor tedy musí tato zařízení stále sledovat, aby vyhodnotil jejich stav (funkční, mimo provoz) a provozní mód (automatický, manuální, nebo vypnutý). „[14]

“Mnohá zařízení mají samostatné řízení s využitím senzorů (osvětlení, větrání) podle stanovených prahových hodnot na vstupech. Jiná jsou zapínána a vypínána podle provozních podmínek. Je tedy vhodné, aby je operátor mohl ovládat dálkově (signalizace, proměnné dopravní značení, zábrany, větrání, osvětlení, čerpadla). „[14]

“Dále musí mít operátor u každého zařízení informace o délce provozního nasazení (počet hodin v provozu), neboť tato zařízení mohou mít velmi odlišný rozsah používání (stále, občas, nebo velmi zřídka). „[14]

“Funkce sledování, samostatného řízení a archivace dat velmi často zajišťuje jediný systém – systém dispečerského řízení a získávání dat (SCADA). „[14]

“Ve světě je používáno několik druhů systému SCADA a jejich výkonnost se neustále zlepšuje. Tyto systémy jsou v různých tunelech málokdy zcela identické, a to i v tunelech obdobných vlastností nebo provozovaných stejným správcem. „[14]

“ Nicméně jejich architektura vychází z určitých pravidel, která jsou poměrně rozšířená: [14]

- *sběr informací smyčkovými sítěmi*
- *řízení (zejména řízení programovatelnou logikou) v blízkosti vlastního zařízení*
- *oddělení sítí: sběr dat, přenos a dohled*
- *redundance některých subsystémů za účelem zvýšení jejich spolehlivosti. „*

2.2 Analytické a predikční možnosti SCADA

Do řízení a kontroly tunelových infrastruktur SCADA systémy přinášejí mnoho výhod a užitečných funkcí, které umožňují správci tunelu být takzvaně o krok napřed před nehodou. Jedná se o tyto funkce: [15]

- 1) Extrakce událostních a poruchových dat
- 2) Zavedení elektronického hlášení poruch
- 3) Analýza a vizualizace poruchových stavů

- **Extrakce událostních a poruchových dat**

Základem pro realizaci této koncepce je to, že tunelový systém obsahuje SCADA systém ve smyslu TP98, kapitola 1.2 «Tunel jako telematický systém». Systémy SCADA, které jsou určeny k řízení tunelu, mají různé typy poruchových žurnálů, v kterých jsou zapsány poruchy nebo vybočení z normálního stavu ve funkčních a bezpečnostních prvcích tunelového systému. Tyto stavy pak SCADA systém ukládá do databáze automaticky. Příčinou těchto hlášení ve SCADA systému může být údržba zařízení, špatné ovládání nebo SW chyba, ale také může

poukazovat na nebezpečnou poruchu v práci zařízení, zničení zařízení v důsledku dopravní nehody apod. [15]

Pomocí těchto hlášení lze včas opravit poruchy zařízení a tím předcházet výskytu nehod.

- **Elektronické hlášení poruch**

Systém SCADA je schopen rychle reagovat a informovat o poruchách zařízení, která jsou připojena k systému a mají diagnostiku. Například pokud dojde k výpadku napájení pomocného kontaktu, stykač vypadne a na základě toho lze zjistit, že vznikla porucha. Na druhou stranu existuje velké množství zařízení, která nemají výstupy zavedené do systému, a proto není možné poruchu zjistit včas. [15]

- **Analýza a vizualizace poruchových stavů**

Pomocí exportování datových souborů ze SCADA systému je možné vytvořit analytický systém, který umožní analyzovat stav a životnost technologických systémů a zařízení v tunelu. [15]

Společnost Eltodo a.s. vytvořila programové prostředí pod názvem FAILURE, což je program v prostředí EXCEL. Program využívá kontingenční tabulky, které jsou jednoduché pro každého uživatele. Vytvořený program FAILURE byl testován a je využíván v již existujících dopravních stavbách a tunelech. [15]

Na obr. 3 je vidět hlavní okno programu. [15]

- Sloupec 1 – Volba měsíce pro analýzu
- Sloupec 2 – Polohopis zařízení
- Sloupec 3 – Kompletní seznam zařízení pro analýzu
- Sloupec 4 – Typy všech možných poruch
- Sloupec 5 – Vlastní popis závady a množství výskytů

Mesic	Slopec15	Zarizeni	Chyba	Slopec11
1	095	MUK10-D-IS6cS7200...	chyba komunikace se zařízením	chyba komunikace se zařízením 2
2	096	MUK10-D-IS6eS7400...	chybné lamely v aktivním symbolu	chyba komunikace se zařízením 6
3	097	MUK10-D-IS6fS730000	otevřen kryt zařízení	chyba komunikace se zařízením 6
4	098	MUK10-D-IS6fS730004	podpětí napájeciho zdroje - nebezpečí výpadku	chyba komunikace se zařízením 11
5	099	MUK10-D-IS6fS730005	porucha červené žárovky	chyba komunikace se zařízením 11
6	100	MUK10-D-IS6gS7200...	porucha detektoru	chyba komunikace se zařízením 7
7	101	MUK15-D-IP22S71x...	porucha levé závořky	chyba komunikace se zařízením 6
8	102	MUK15-D-IP22S72x...	porucha pravé červené žárovky	chyba komunikace se zařízením 6
9	109	MUK16-D-IS6cS74xxx...	porucha pravé závořky	chyba komunikace se zařízením 6
10	114	MUK16-D-IS6fS74xxxx	porucha závořky	chyba komunikace se zařízením 6
(prázd...)	118	R01-D-B20axx00129	vadné LED v aktivním symbolu	chyba komunikace se zařízením 6
	120	R01-D-B20axx00134	vadné LED v neaktivním symbolu	chyba komunikace se zařízením 6
	122	R01-D-B20axx05129	chyba komunikace s Gantry serverem	chyba komunikace se zařízením 45
	123	R01-D-B20axx10109	(prázdne)	chyba komunikace se zařízením 23
	124	R01-D-B20axx10118		chybné lamely v aktivním symbolu 22
	126	R01-D-B20axx20134		chyba komunikace se zařízením 17
	128	R01-D-B20axx20136		chybné lamely v aktivním symbolu 6
	129	R01-D-B20axx30123		chyba komunikace se zařízením 2
	130	R01-D-B20axx30138		chyba komunikace se zařízením 1
				otevřen kryt zařízení 1

Obrázek 3: Náhled SW FAILURE s kontingenční tabulkou [15]

V rámci práce s tímto programem je možné provádět analýzu a dohledání technologických informací o stavu zařízení. Je možné dohledat veškerá zařízení v řešené oblasti, v kterých se v určitém období vyskytla chyba. [15]

Další výstup programu umožňuje například sledovat celkovou dobu činnosti všech ventilátorů v tunelu, což je vhodný nástroj pro ekonomické analýzy. [15]

3 Příklady využití SCADA systému pro řízení tunelové infrastruktury

Vybrané tunely byly řízeny pomocí nadstavbových systémů SCADA. V této kapitole bude provedena analýza toho, jak fungují a čím byly vybaveny ŘS tunelu.

3.1 Analýza na příkladě subsystému tunelu Valík (Česká republika)

Tunel Valík se nachází u města Plzeň. Je 380 m dlouhý a spadá do kategorie tunelu TC. Je tvořen dvěma tunelovými troubami, z nichž každá má dva jízdny pruhy a jeden odstavný.



Obrázek 4: Vjezd do tunelu Valík [16]

- ŘS tunelu Valík byl realizován pomocí SCADA/HMI Reliance a Tecomat. [17]

Řídicí systém tunelu má základní strukturu: [17]

- Hlavní dispečink je tvořen pomocí sítě počítačů v Policii ČR ve spolupráci s ŘSD

- Rezervní dispečink je umístěn přímo v tunelu v provozním technickém objektu.

ŘS tunelu je tvořen z dvou částí:

- Část dopravy v tunelu a předportálových úsecích
- Technologická část tunelu tvořená sítí PLC Tecomat TC700.



Obrázek 5: Hlavní dispečink a videostěna [17]

Ve Svojkovicích se nachází hlavní dispečink, který je ve vzdálenosti 25 km od tunelu. Ovládání dopravy a technologie probíhá pomocí PLC automatu, systém Reliance nabízí vizualizační prostředí pro kontrolu a ovládání tunelu. Dispečink je vybaven videostěnou 2x2 metry, která umožňuje videodohled pomocí kamer instalovaných v tunelu a také představuje informativní plochu pro kontrolu stavu subsystému tunelu, dopravní situace, hlášení nebezpečí atd. Pro distribuci dat a komunikaci v dispečinku je instalován specializovaný datový server, který spojuje ŘS tunelu se systémem Reliance. [17]

3.1.1 Automatizované řízení tunelu

ŘS tunelu je instalován tak, aby zásah dispečera byl minimalizován. Tunel řídí «sám sebe», řízení dopravy spočívá ve změnách dopravních stavů, pro přechod k přesnému dopravnímu stavu musejí být splněné určité přesně definované spouštějící podmínky. Spuštění dopravního

stavu může probíhat automaticky nebo ručně zásahem dispečera. Příkladem je výskyt požáru v tunelu, systém zaznamená, že v tunelu je požár, pomocí elektronického požárního systému (EPS) a spustí hlášení požárního nebezpečí, popřípadě dispečer zjistí pomocí videodetekce, že v tunelu je požár. [17]

Dopravní stavy rovněž mají různé režimy průběhů dopravy: [17]

- Standardní režim: 80 km/h
- Režim snížené rychlosti: 60 km/h
- Uzavření jednoho JP
- Plánované nebo havarijní uzavření tunelové trouby

Přechodem z jednoho stavu do druhého je sekvence mnohá změn, které byly naprogramovány do systému a tyto změny se provádějí na PDZ. Dopravní značení před a v tunelu tvoří jeden dopravní uzel. Jsou komunikačně připojena do optického kruhu a přímo řízena řídicím systémem dopravního uzlu. Sběrnice Profibus zajišťuje předání informací o stavu tunelu a dopravního značení přes paralelní vstupy a výstupy do systému DIS SOS, do kterého jsou přijímány zprávy o stavu mimoúrovňových křižovatek před tunelem a za ním včetně informací přicházejících z hlášení SOS v tunelu a pomocí této komunikace je ovlivňován provoz v tunelu. [17]

Dispečerská úroveň ŘS tunelu je určena k monitorování, prezentací a archivaci dat vyšším úrovním a také k zálohování dat o ručním zásahu dispečera, pomocí kterých se systém přizpůsobuje a s čím musí počítat při plnění svých funkcí. [17]

Propojení a funkce řídicího systému tunelu

Řízení a kontrolu dopravy v tunelu zajišťuje celkem 17 automatů PLC Tecomat.

Osm z nich je určeno k řízení dálničních portálů, PDZ a textových informačních tabulí.

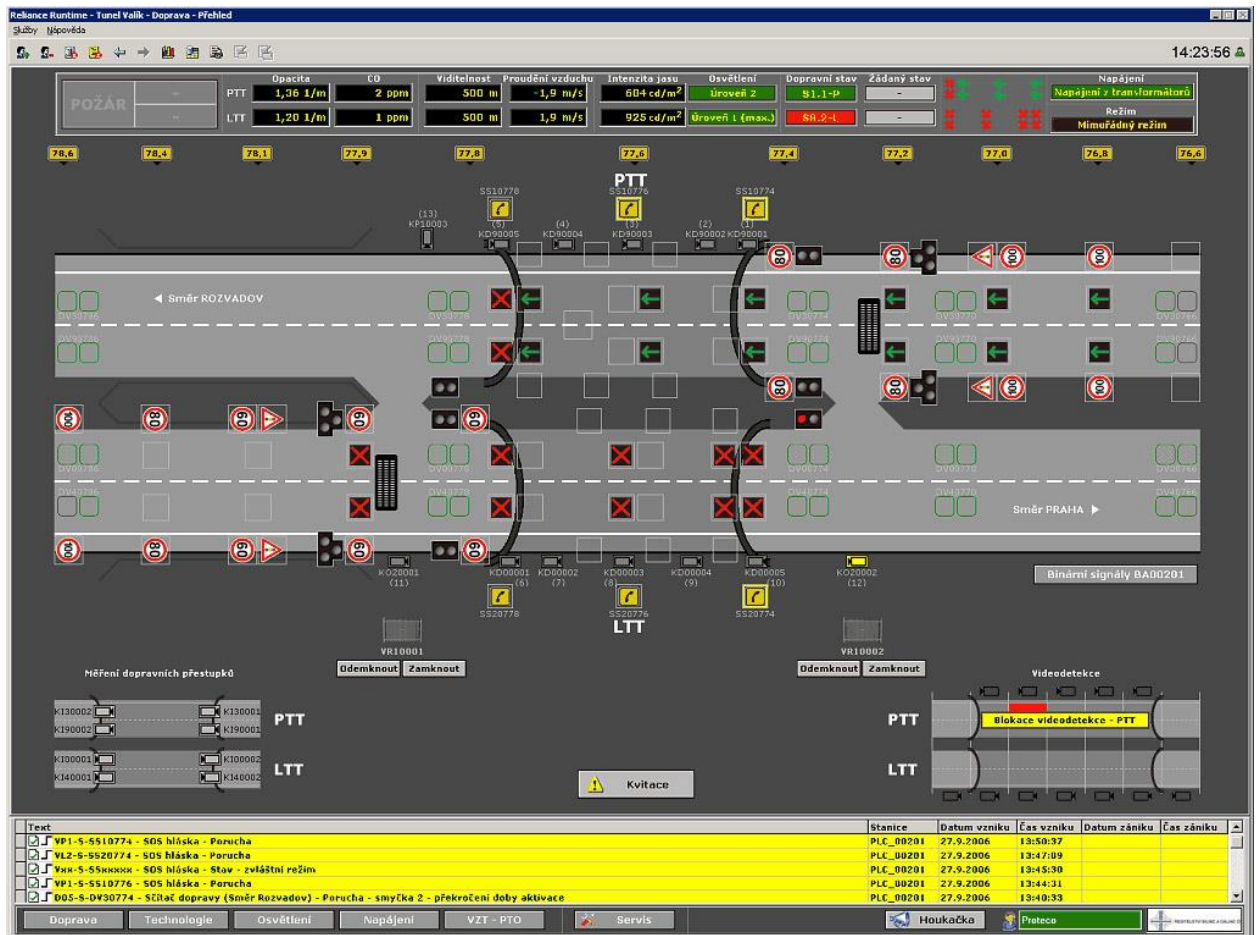
Šest dalších řídí vnitrotunelový portál, což je proměnné značení, sběr dopravních a okolních dat.

Ostatní PLC řídí dopravní technologie tunelu, pomocné a vzduchotechnické zařízení. PLC automaty v tunelu umožňují přímou komunikaci mezi senzory, akčními prvky a inteligentními zařízeními, což jsou videodetekce, proměnné značky a měřiče dopravních dat. [17]

3.1.2 Řídicí systém dopravy tunelu

PLC Tecomat TC700, který je umístěn v skříních MX, pomocí sériové komunikace zajišťuje ovládání dopravy řídicím systémem: [17]

- PDZ
- Snímače a senzory dopravních dat
- Zařízení pro provozní informace, textové tabule
- Hlášky SOS
- Videodetekce City Log
- Ozvučovací zařízení
- Identifikace dopravních přestupků
- Předání informace o dopravních stavech
- Sledování napájení, rozvodu a komunikace všech prvků systému tunelu



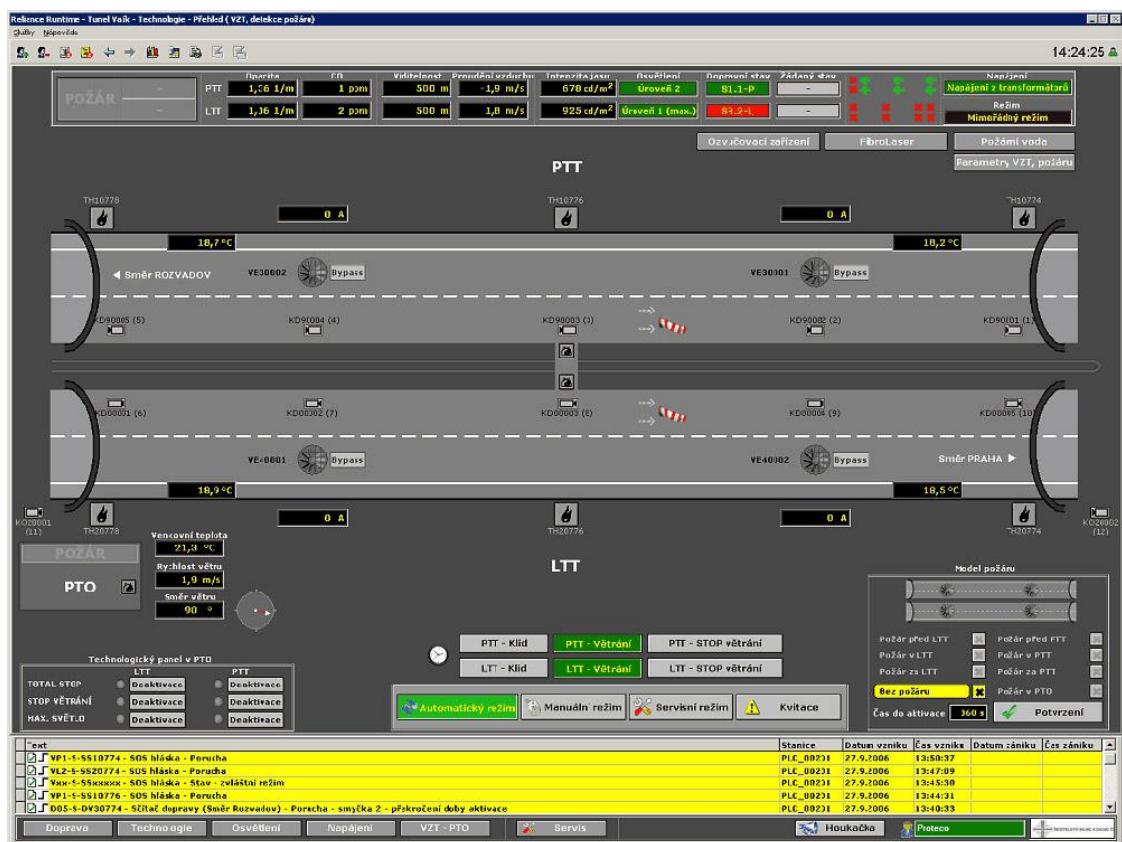
Obrázek 6: Ukázka rozhraní pro řízení dopravy v SCADA Relevance 4 [17]

3.1.3 Řídicí systém technologie tunelu

Řízením technologické části tunelu se zabývá PLC automat Tecomat s redundantní funkcí, který je umístěn v PTO a jeho úkolem je ovládání všech technologických systémů tunelu. [17]

Jedním z nejdůležitějších systémů je elektrická požární signalizace (EPS), která sestává z těchto částí: [17]

- ústředna EPS, připojená pomocí periferní jednotky přímo do hlavní a do záložní CPU
- fibrolaser připojený přes sériovou linku, záložně přes ústředny EPS
- tlačítka z hlásičů ve skříních SOS



Obrázek 7: Ukázka rozhraní pro řízení ventilace v SCADA Relevance 4 [17]

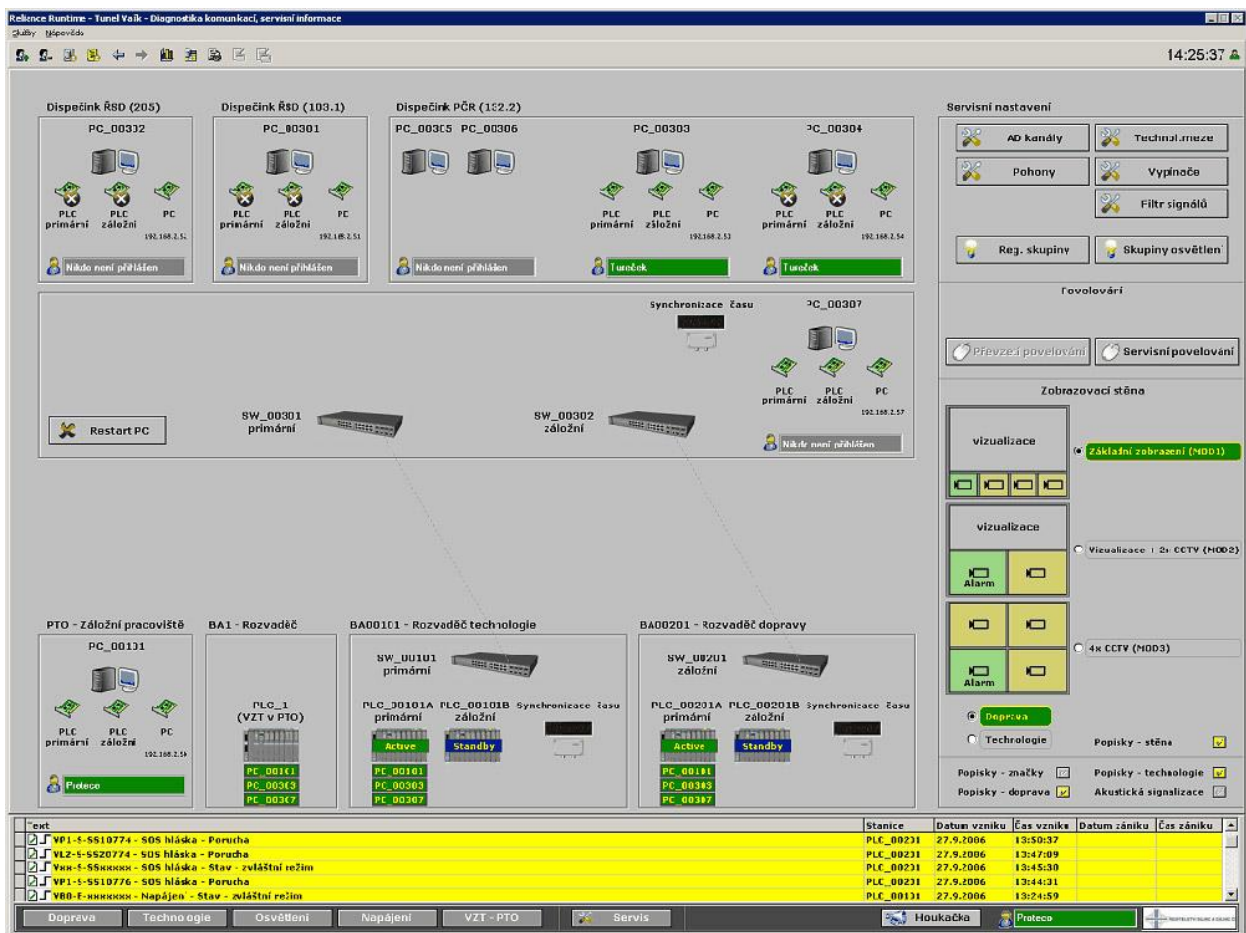
Pod správu řídicího systému technologie rovněž spadají: [17]

- elektrická zabezpečovací signalizace (EVS)
- ventilace
- akomodační a nouzové osvětlení tunelu

Automatizace kontroly a zabezpečování provozu tunelu také závisí na velkém množství fyzikálních veličin, pomocí kterých ŘS tunelu provádí řízení: [17]

- určování rychlosti a směru proudění a teploty vzduchu
- měření opacity a koncentrace CO
- detekce mlhy před tunelem
- sběr údajů z jasoměrů
- hlídání hladiny vody v požárních nádržích

Důležitým faktorem řízení technologie tunelu je i monitoring napájení a komunikace všech prvků technologie včetně vlastního systému. K tomu jsou využívány snímače paralelně připojené k silovým prvkům všech rozvaděčů. [17]



Obrázek 8: Ukázka rozhraní spojovacího a dorozumívacího zařízení v SCADA Relevance 4 [17]

3.2 Analýza na příkladě DIA dopravního tunelu (Spojené arabské emiráty)

Meziměstský tunel DIA je ~ 1.5 km dlouhý, nachází se ve městě Dubai a spadá do kategorie tunelu TA. Je tvořen dvěma tunelovými troubami, každá z nich má čtyři jízdní pruhy, pro oba směry. Primárně byl staven pro zlepšený «traffic flow» mezi městy Dubai a Sharjah.

Vybudovaný tunel byl vybaven plně automatizovanými a centralizovanými elektromechanickými službami pro monitorování a kontrolu výkonu tunelového systému pomocí SCADA. Zařízení pro provoz by mělo udržovat nepřetržitý tok informací pro operátory, které pomáhají dělat kritická rozhodnutí v nouzových situacích, jako jsou nehody nebo zastavení provozu. Celý tunel je celkově automatizovaný průmyslový subjekt, který běží sám o sobě. Úkolem operátorů je mít na očích události na obrazovce a na videostěně a vybírat vhodné nouzové plány pro určité situace. [19]



Obrázek 9: Vjezd do tunelu DIA [18]

Hlavní dispečink se nachází přímo v tunelu v «traffic control center» (TCC). [19]

Výbava dispečinku: [19]

- síť počítačů s nastaveným SCADA subsystémem
- AID (Advanced incident detection)

- webové Aplikace
- tiskárny pro tisk nouzových hlášení
- redundantní server

Dispečerů mohou monitorovat situace v tunelu a stav zařízení pomocí videostěny v dispečinku. Videostěna je velká 4x4 metry a je přímo připojená do SCADA serveru. Dispečer má možnost přepnout na jakoukoliv kameru v tunelu nebo v jiné kritické infrastruktuře tunelu. Proces automatizace tunelu vede k tomu, že systém může automaticky přepínat kamery a upozorňovat dispečera na různé události. Příkladem může být požár, zastavení vozidla, chodec v tunelu, a když se to stane, systém přepne na nejbližší kameru v sekci, kde se událost vyskytla. Všechny hlavní události a případy jsou spojeny s různými plány, které jsou uloženy do paměti SCADA serveru a při výskytu nouzového stavu tunelu jsou poskytnuty operátorovi nebo spuštěny automaticky. [19]



Obrázek 10: Hlavní dispečink a videostěna [19]

Úkolem SCADA v tunelu DIA je monitorování a kontrola těchto subsystémů a bezpečnostních prvků: [19]

- komunikace
- rozvod
- osvětlení
- ventilace
- kamerový dohled
- řízení dopravy
- požární systém
- odvodnění
- alarmy

3.2.1 Komunikace

Komunikační rozhraní SCADA je vyvinuto pro zobrazení stavu všech zařízení a sítí v celém systému. Pomocí tohoto rozhraní operátor může kontrolovat propouštění serveru, switchů, optických kabelů a vodičů, kabelů profibus a PLC automatů. [19]

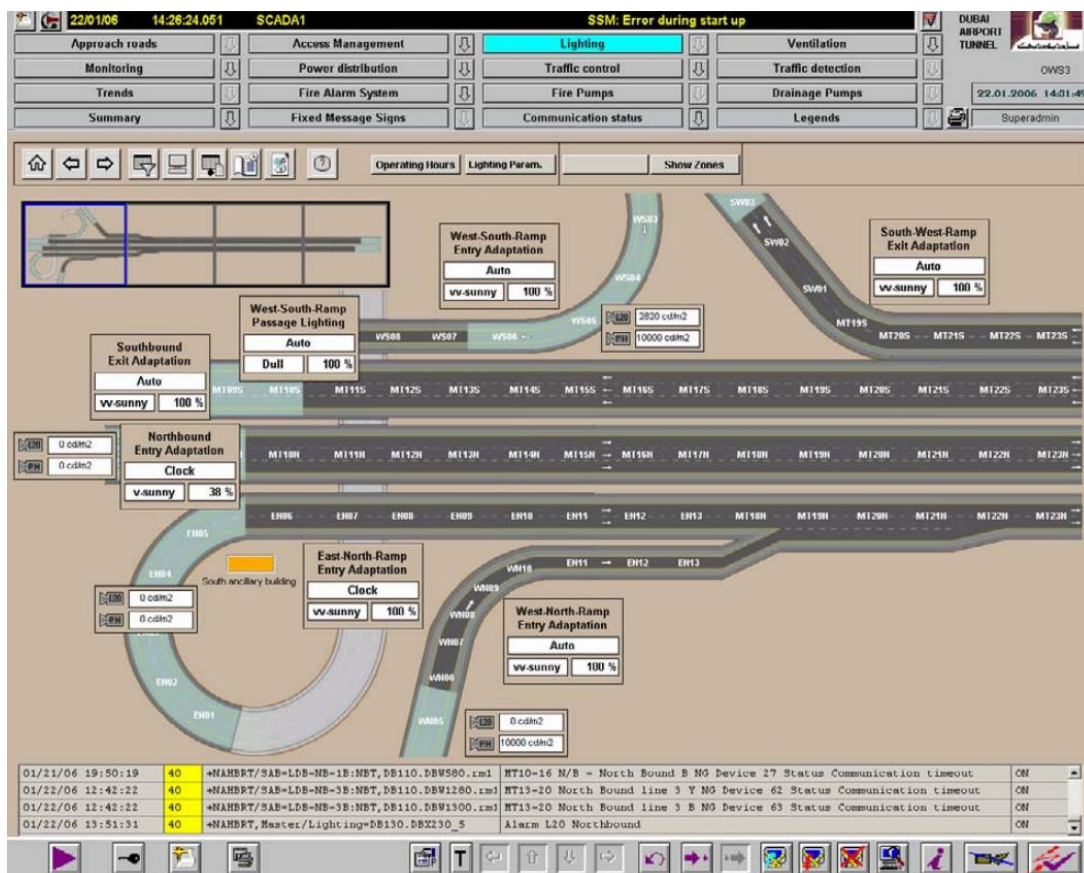
3.2.2 Rozvod

Obvod je napájen z různých zdrojů, což vede k tomu, že výpadek jakéhokoliv zdroje napájení nebude vést k výpadku celého systému. Ze stejné obrazovky je také zřejmá spotřeba energie každé rozvodny. Program SCADA nepřetržitě monitoruje stav každé napájecí sběrnice, která překonává související požadavky na osvětlení, větrání a čerpadla v případě výpadku napájení tak, aby udržovala pouze kritická zatížení napájená generátorem nebo nepřerušitelným zdrojem napájení. Stav elektrických parametrů a spotřeby energie lze také sledovat pomocí SCADA, stejně jako osvětlovací a ventilační systémy. [19]

3.2.3 Osvětlení

Systém řízení osvětlení DIA tunelu je jedním z nejsložitějších a nejpokročilejších systémů na světě. V nejdelším silničním tunelu na Blízkém východě je kontrolováno a monitorováno celkem 6400 lamp. Komponenty systému jsou distribuovány ve čtyřech rozvodnách a pomocných budovách. Jsou propojeny přes redundantní síť oddělenou od SCADA sítě. Každý ze 471 světelných okruhů je řízen a monitorován individuálně speciálně vyhrazenými

regulátory stmívání, problémy jsou okamžitě hlášeny a alarmy jsou vyvolány prostřednictvím hlavního řídicího systému. Řídicí stanice hlavního osvětlení je napojena na centrální SCADA řídicí systém tunelů. Odtud může být systém provozován a monitorován. V případě nouze se specializovaní inženýři mohou přihlásit do systému z jakéhokoli místa na světě pomocí zabezpečeného připojení k internetu. SCADA zajišťuje automatické a ruční ovládání osvětlení celého tunelu a ramp v závislosti na úrovni vnějšího osvětlení a dopravních podmínkách. Tyto informace jsou sestaveny do vyhrazených obrazovek rozhraní osvětlení, na SCADA a osvětlovacích serverech a na terminálech HMI u každé osvětlovací skříně v tunelu a rozvodnách, jak je znázorněno na obr. 11. Osvětlení hlavních trub je rozděleno do 5 primárních stupňů. Stupeň 1 je noční osvětlení a realizováno pomocí zářivkových svítidel namontovaných na obou stranách stropu tunelu. Stupně 2 až 5 zajišťují zesílení osvětlení pomocí vysokotlakých sodíkových par (HPSV) ve vstupních a výstupních oblastech portálu. Odkaz na úroveň slunečního světla tyto HPSV jsou odpovídajícím způsobem ztlumeny, zatímco fluorescenční světlo je monitorováno pouze a 20 % je připojeno k napájení UPS během nouzových situací výpadku proudu. V průběhu požáru jsou všechna světla 100% funkční s maximálním osvětlením. [19]



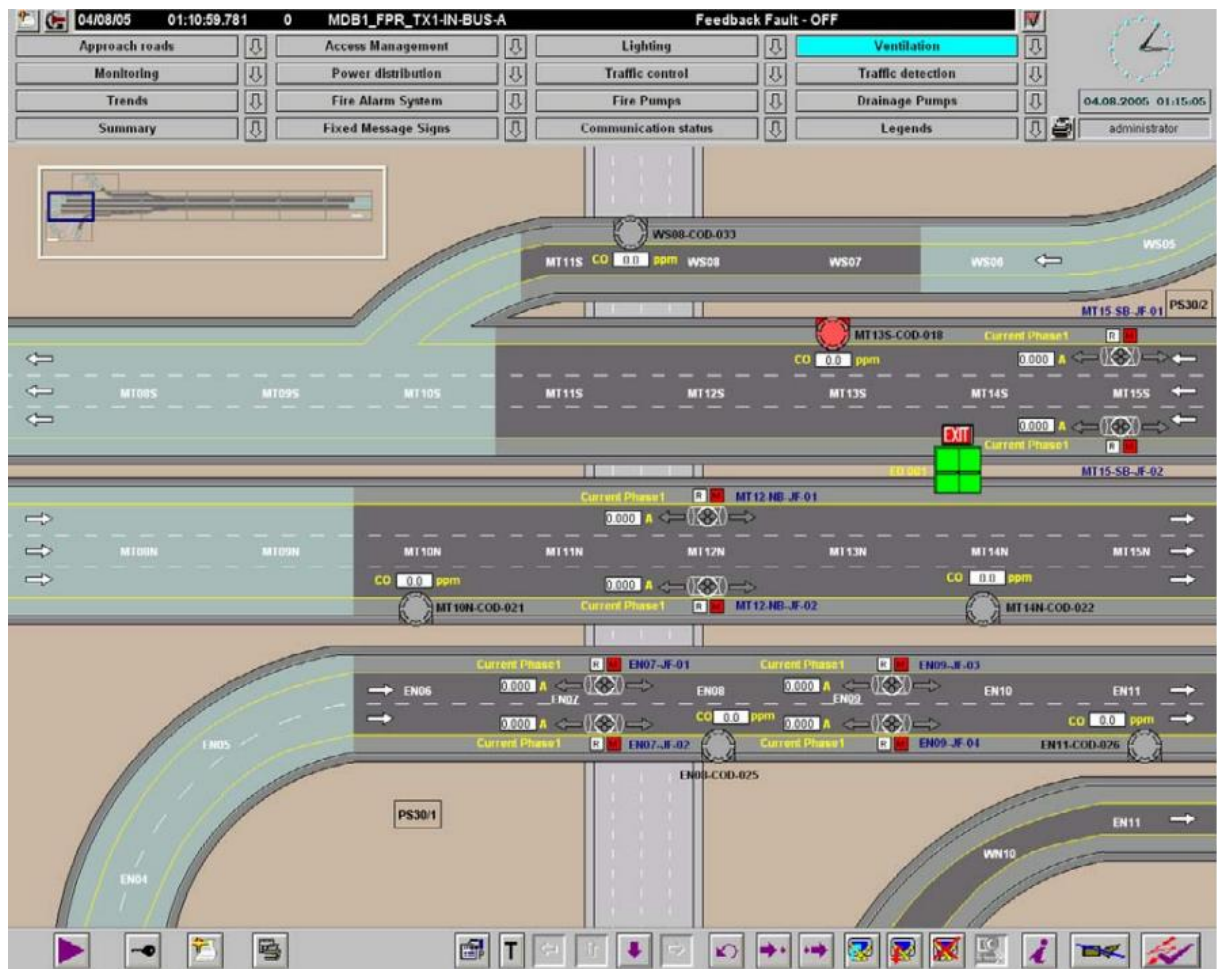
Obrázek 11: Ukázka rozhraní pro řízení osvětlení v SCADA DIA [19]

3.2.4 Ventilace

Centrální SCADA systém zajišťuje automatické a ruční řízení ventilace pro hlavní i rampové tunelové trouby, jak je zřejmé z obr. 12. Ventilace je automaticky řízena na základě naměřených hodnot koncentrace CO a viditelnosti v krocích nezávislých na každé trubici. Hlavní směr otáčení proudových ventilátorů je ve směru dopravního toku, zatímco reverzní směr je opačný k dopravnímu toku. [19]

Existují tři režimy řízení SCADA proudových ventilátorů: [19]

- nízký: automatické na základě úrovní CO.
- střední: ruční ovládání SCADA operátorem.
- vysoký: zesílení a SCADA bere řízení v případě požáru



Obrázek 12: Ukázka rozhraní pro řízení ventilace v SCADA DIA [19]

3.2.5 Odvodnění

V tunelu DIA jsou čtyři odvodňovací čerpací stanice a každá je vybavena třemi ponornými čerpadly a kompletní potrubní sítí a senzory. Všechna čerpadla musejí být v automatickém režimu, aby bylo možné kdykoli vypustit vodu bez přímého dohledu obsluhy. Proces vypouštění začne na základě přijatých signálů hladiny vody. Různé hladiny vody řídí počet čerpadel, která jsou provozována v souladu s vestavěnou sekvencí příkazů. Uvolnění konkrétního čerpadla závisí na úrovni redukce vody a aktivní sekvenci. Senzory nepřetržitě přenášejí analogové signály pro kontrolu kvality. V případě, že jeden parametr překročí určitý limit, všechna čerpadla jsou zastavena najednou. [19]

3.2.6 Požární systém

Požární systém tvoří dvě složky, a to požární poplach a požární čerpací stanice. Požární poplach je rozpoznán po zjištění stavu redundantního kabelu LHD, ručních tažných stanic, skříní požárních hadic a hasicích skříní prioritou vzhledu kouře CCTV ve videu. Taková detekce změny barvy výše uvedených prvků na obrazovce SCADA. Jiné události mohou být také považovány za rovnající se LHD, ale vyžadují vizuální ověření operátora. LHD v tomto tunelu generuje první alarm, pokud teplota dosáhne 60 °C. Druhý alarm vyšší úrovně následuje po dosažení 85 °C, což je považováno za nebezpečnou hodnotu. Po ohlášení požárního poplachu je z velínu spuštěn blikáč a siréna a automaticky zazvoní zvonek vyhrazeného telefonu nainstalovaného v kanceláři civilní obrany. Kamery CCTV nejbližší k požáru jsou automaticky zapnuty na videostěně. Po potvrzení provozovatelem jsou do místa požáru dopraveny hasičské sbory. [19]

3.2.7 Alarmy

SCADA systém byl vyvinut pro evidenci všech aktivit v tunelu a pro tisk každé události pomocí řádkové tiskárny. Alarmy a události prohlížeč umožňuje selektivně zkoumat v jakémkoli aspektu provozu tunelu. Alarmy jsou klasifikovány na základě úrovně důležitosti a dopadu na výkon a provoz tunelu. Červené alarmy představují nejvyšší úroveň jako je požár nebo dopravní nehody, což znamená zastavení vozidla. Zelené alarmy mají druhou prioritu a mají něco společného se stavem zařízení nebo výskytem jiných událostí. Černé alarmy znamenají schválení této události. [19]

3.2.8 Kamerový dohled

CCTV systém je propojen se SCADA protokolem OPC. Tento druh softwarového rozhraní je nutný k tomu, aby SCADA mohl přepínat kamery ručně nebo automaticky v případě předdefinovaných událostí. Nakonec událost, kterou zachytila kamera nejbližší k události, se zobrazí na videostěně. Cenné informace, jako je objem provozu a stav, lze získat kliknutím na ikony kamer na obrazovce SCADA. Celkem je uvnitř tunelu 103 CCTV kamer, 8 PTZ (Pan/Tilt/Zoom) kamer na portálech a 4 «Dome» kamery v rozvodnách a 2 v budově TCC. Kamery CCTV jsou seřazeny na obou stranách tunelu, aby udržovaly dva pruhy pokrytí pro každou jednotku kromě pěšiny a ramene. CCTV kamery jsou pokročilého typu technologie a mohou produkovat různé signály zpětné vazby do systému SCADA na kvalitu videa a také přítomnost kouře. Video stream všech kamer je uložen na speciálně vyhrazených digitálních videorekordérech, které lze přizpůsobit tak, aby vyhovovaly flexibilnímu úložnému času. Uložený materiál lze kdykoli načíst a automaticky aktualizovat pomocí systému. [19]

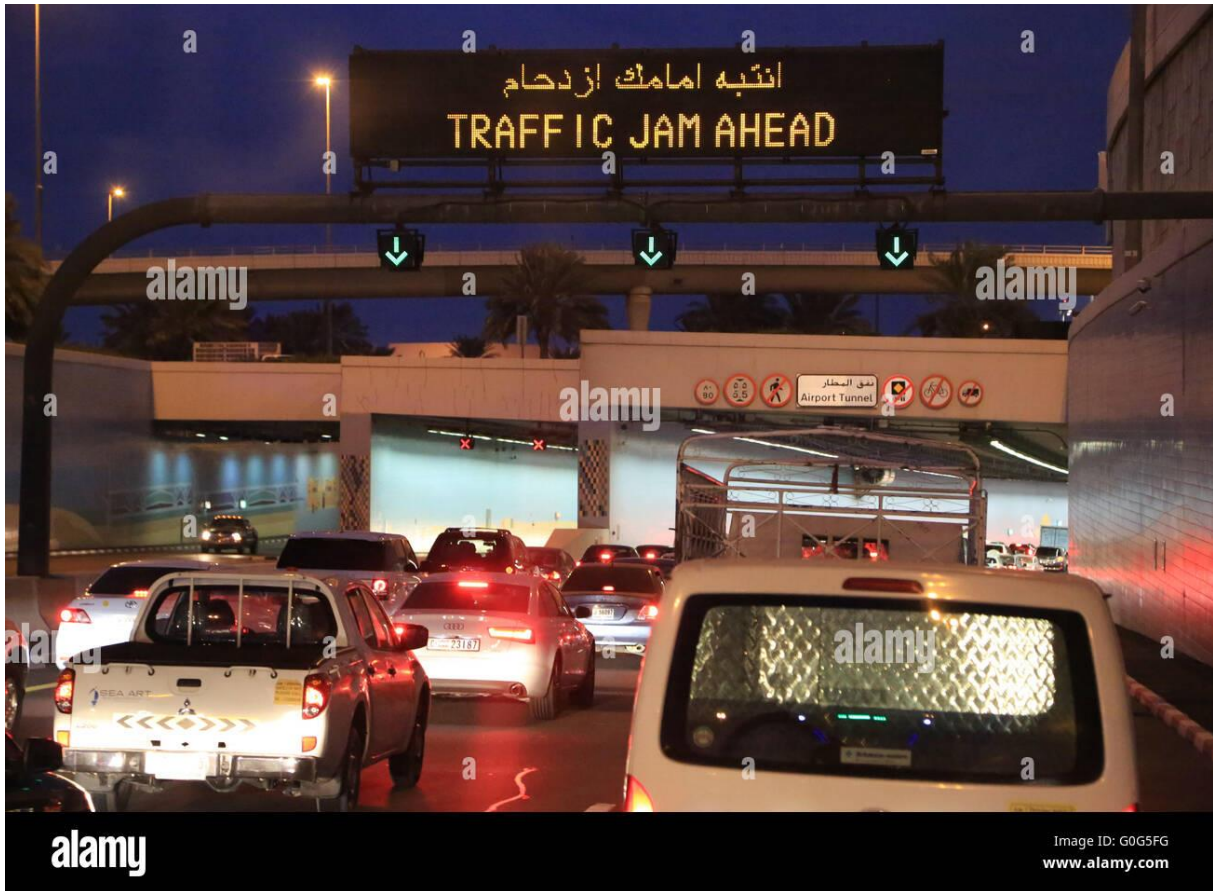
3.2.9 Řízení dopravy

Řízení dopravy v tunelu DIA poskytuje prostředky k monitorování a kontrole následujících dopravních aspektu v každém jízdním pruhu: [19]

- Počítání počtu vozidel
- Průměrná rychlost vozidel
- Obsazenost
- Rozestup mezi vozidly

Monitorování pomocí speciálního typu CCTV kamery, kterým se říká detektory, jsou umístěny s určitým zaměřením úhlu a oblasti pokrytí. Všechny umístěné kamery umožňují plné pokrytí celých oblastí uvnitř tunelu včetně ramen a chodníků. Video zaslané systému pro získání užitečné informace má dva důležité cíle. Prvním cílem je poskytnout přehled o dopravním toku v tunelu, který je provozovatelům zobrazen jako volitelný. Druhým cílem je pomoci serveru SCADA při rozhodování o nežádoucích událostech, jako je přechod pro chodce nebo zastavení automobilu. Pomoci LED značek, jmenovitě VMS dohází ke řízení provozu v tunelu. Jsou zde dva typy nainstalovaných značek VMS, první je s jedním řádkem textového zobrazení a druhý se dvěma řádky textového zobrazení, jak je znázorněno na obr. 13. Oba mohou zobrazovat

arabské a anglické symboly. Celkový počet značek VMS je devět jednořádkového typu v tunelu a tři dvouřádkového typu u vjezdů do tunelu. [19]



Obrázek 13: Ukázka LUS LED značky pro řízení dopravy na vjezdu tunelu DIA [20]

3.3 Závěr rešeršní části práce

V rešeršní části práce byly představeny základní pojmy o SCADA systému, jeho funkce, jakým způsobem vykonává své úkoly, a co potřebuje pro zajištění normálního provozu.

Základní pojmy:

- HMI
- PLC
- RTU
- Senzory
- Akční členy
- OPC UA

Funkce SCADA systému:

- Sběr dat
- Manipulace a kontrola subsystému tunelu
- Prezentace dat správci
- Zpracování a archivace dat

Pomocí SCADA systému je možné kontrolovat tyto tunelové subsystémy:

- Komunikační spojení RŠ tunelu
- Požární systém
- Rozvod
- Osvětlení
- Větrání
- Kamerový dohled
- Řízení dopravy/Dopravní značení
- Alarmy a varování

Také byly představeny programy umožňující práce se SCADA systémem:

- Reliance 4
- Promotic
- Aveva InTouch
- Atvise SCADA

Dále byla provedená analýza dvou tunelů, které využívají pro své řízení SCADA systém. Byly představeny informace o určitých subsystémech jednotlivých tunelů pro vytvoření představy o principu funkce každého subsystému.

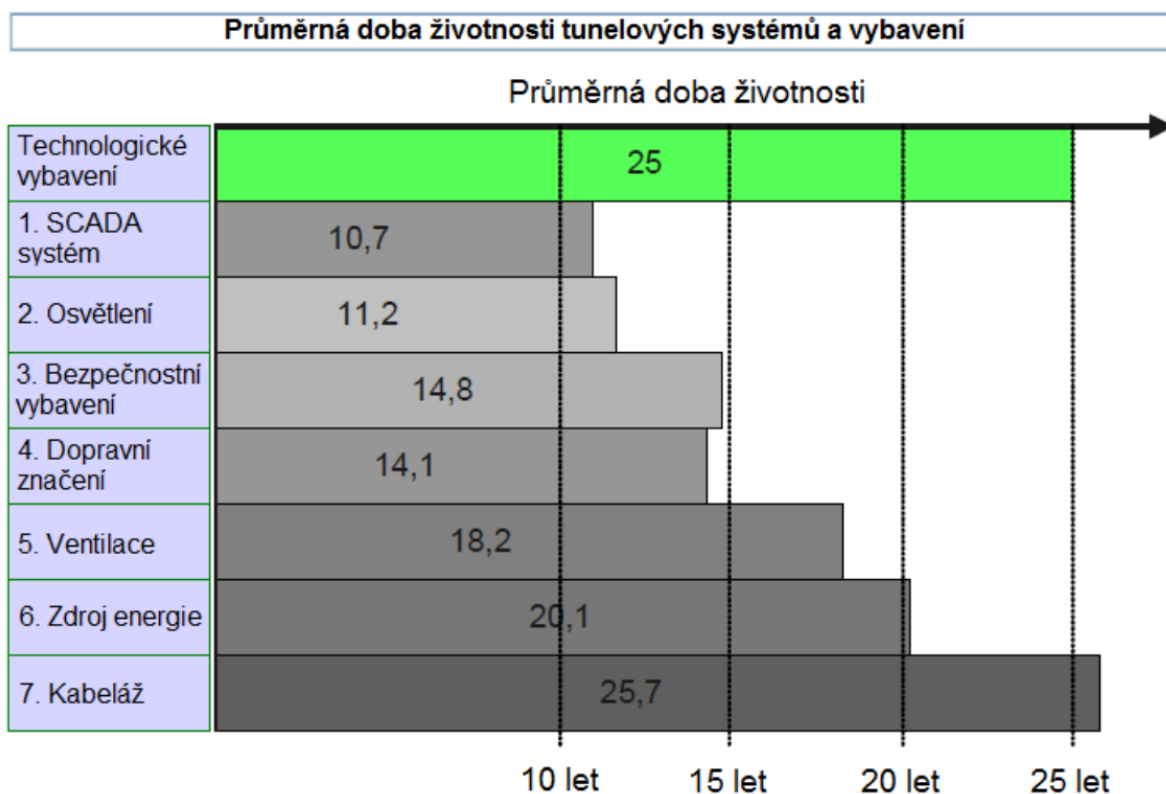
Díky analýze je možné pochopit, jak funguje tunel, jaký provoz subsystémy zajišťují, jak je zajištěna bezpečnost a pohodlí účastníku dopravy. Z rešerší je zřejmé, že SCADA systém je velice důležitým prvkem pro bezpečnost tunelového provozu, zdokonalení tohoto systému ve spojení se zvýšením spolehlivosti subsystému tunelu by vedlo ke zvýšení bezpečnosti, pohodlí a rychlosti provozu v tunelu. Oba tunely jsou vystavěny a zařízeny podle norem manuálu PIARC, oba řízeny pomocí SCADA systému a mají minimální rozdíly ve vybavení subsystémů, které jsou vázané na specifické potřeby každého tunelu a podmínek provozu před, uvnitř a za tunelem. V tunelu DIA jsou využívány značky VMS pro řízení dopravy v tunelu

pomoci předání textových informací účastníkům provozu. V tunelu Valík jsou využívány LED značky jen pro označení maximální rychlosti provozu. SCADA systém v tunelu Valík je zajištěn pomocí programu Reliance 4. V tunelu DIA SCADA systém a program byl vyvíjen speciálně pro tento určitý tunel. Je důležité zdůraznit, že oba tunely jsou různé, a mají různé účely, Valík je tunelem dálničním, a tunel DIA je meziměstským, kvůli tomu jsou rozdíly v technickém vybavení.

4 Využití diagnostických přístupů v tunelové infrastruktuře

Každé zařízení má svůj životní cyklus, a je tomu tak i v tunelu. Životní cyklus je důležitý pojem, s nímž souvisí bezpečnost, údržba a náklady na údržbu tunelu. Dysfunkce kriticky důležitého zařízení může mít vliv na bezpečnost v tunelu, což může vést k vysokým nákladům na nápravu, popřípadě k havárii. Životní cyklus zařízení je závislý na čase, s průběhem času se zvyšuje počet a frekvence výskytu chyb a poruch zařízení. Údržba může výrazně prodloužit životnost systému, ale také ovlivní výši nákladů na provoz tunelového systému. Pro zajištění řádného provozu a funkcí tunelu je nutné zajistit vhodnou správu zařízení a pravidelnou údržbu.

Moderní SCADA ŘS umožňují sběr nejrůznějších dat od fyzických a dopravních veličin až po hlášení poruch a chyb. Archivace a analýzy těchto dat umožňuje odhadování doby životnosti jednotlivých zařízení. Na základě těchto dat lze plánovat údržbu, opravy a odhadovat finanční náklady.



Obrázek 14: Průměrná doba životnosti tunelových systémů [15]

4.1 Prediktivní diagnostika

Prediktivní diagnostika je souhrnem činů a analýzy dat, cílem je sbírání relevantních údajů z různých prvků subsystému tunelu a poté jejich analýza, která umožňuje predikci poruch. Pro prediktivní diagnostiku využíváme data, která už byla nasbíraná, tzv. data historická. Využití prediktivní diagnostiky umožňuje provozovateli zmenšit náklady na údržbu tunelu. [21]

Údržba tunelu je dvojího typu:

- Korekční – údržba bezprostředně po poruše
- Preventivní – prováděné několikrát v roce, cílem je preventivní eliminace možných budoucích poruch pomocí výměny selhávajících komponentů.

Při použití prediktivní diagnostiky musíme vždy brát v úvahu dva důležité pojmy, které jsou úzce svázané. Je to **Technická diagnostika** a **Technická prognostika**. [21]

- Technická diagnostika – oblast znalostí zahrnující teorii, metody a prostředky ke stanovení aktuálního technického stavu objektu. [23]
- Technická prognostika – oblast znalostí zahrnující teorii, metody a prostředky ke stanovení představy o budoucím technickém stavu objektu. [23]

4.1.1 Technická diagnostika systému

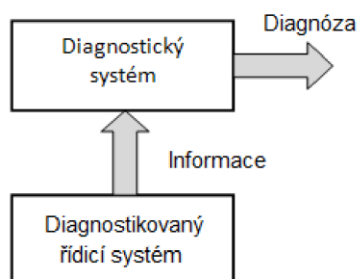
Úlohou technické diagnostiky je analýza a zkoumání technického stavu tunelu, ověření funkčnosti systému a subsystému. SCADA systémy v tunelu vykonávají funkční diagnostiku. Kromě aktuálního technického stavu systému (technická diagnostika) se rovněž provádí diagnostika technického stavu systému v minulosti (technická genetika), která se zabývá historickými daty o činnostech v systému, které mohly vest k výskytu chyb nebo poruch, což umožňuje předcházení podobným situacím v budoucnosti. [21]

Technická diagnostika může mít různé cíle a úlohy a nabývat různých forem: [21]

- Funkční diagnostika
- Testovací diagnostika
- Periodická diagnostika
- Průběžná diagnostika

- **Funkční diagnostika**

Diagnostický systém má za úkol pouze analýzu signálů vytvářených diagnostikovaným systémem při jeho činnostech. Činnost zařízení v tunelu se diagnostikuje pomocí předání signálu na pomocný kontakt při výpadku napájení, nebo analýzou mimo tolerančních hodnot v případě zabloudění programu. [21]



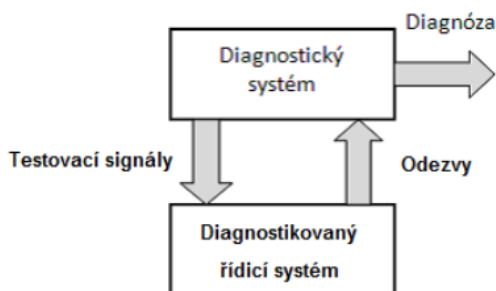
Obrázek 15: Princip funkční diagnostiky [21]

- **Testovací diagnostika**

Diagnostický systém má za úkol zavádění testovacích vstupních signálů do diagnostikovaného systému a následnou analýzu výstupních signálů. Pomocí tohoto typu diagnostiky je možné predikovat výskyt poruch, které se neprojeví okamžitě, ale časem mohou mít vážný dopad na bezpečnost v tunelu a vest k nebezpečným stavům. [21]

Jsou dva typy testovací diagnostiky: [21]

- Servisní – Diagnostika se provádí v okamžiku nefunkčnosti diagnostikovaného systému.
- Provozní – Diagnostika se provádí v okamžiku provozu objektu a testovací signály nesmějí ovlivňovat činnost diagnostikovaného systému.



Obrázek 16: Princip testovací diagnostiky [21]

- **Periodická diagnostika**

Provádí se pravidelné v určitých intervalech, při diagnostice se funkce diagnostikovaného systému přeruší. Diagnostiku možné provést celkově nebo po částech. Pokud přerušení funkčnosti systému není možné, diagnostika se musí provést v určitém časovém intervalu, který má časový prostor pro tento diagnostický test nebo pro jeho určitou část. [21]

- **Průběžná diagnostika**

Úkolem průběžné diagnostiky je sledování a vyhodnocování signálů bez ovlivnění funkce sledovaného systému. Průběžná diagnostika se může provádět pomocí vnějších zařízení nebo jako vnitřní, pomocí SW nebo HW kontroly signálu. [21]

4.1.2 Technická prognostika

Technická prognostika má za cíl předpovídat technický stav systému v určitém časovém okamžiku v budoucnosti. [22]

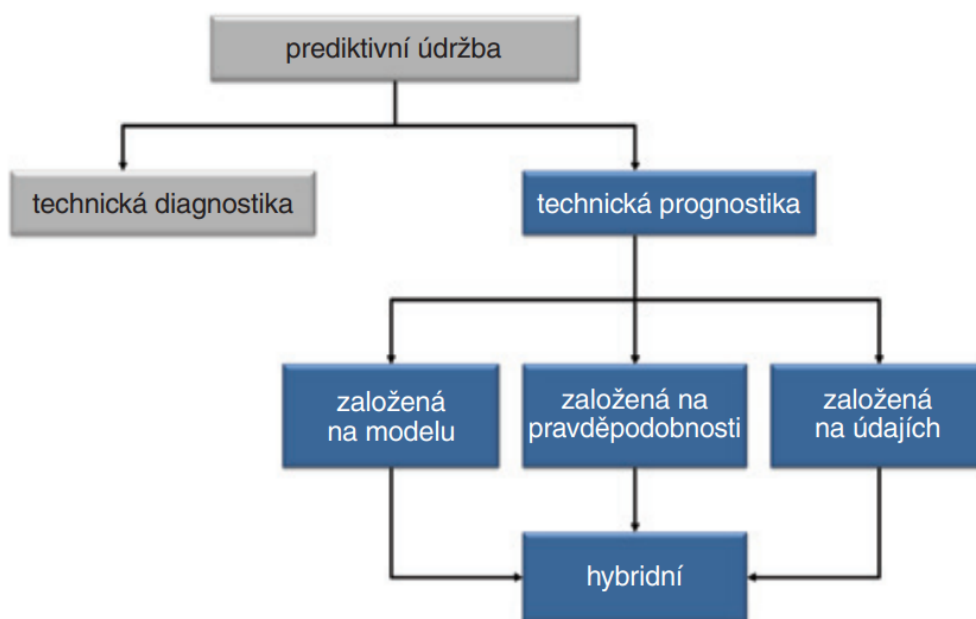
Základem pro využití prognostiky je určování hodnot dvou důležitých parametrů: [22]

- Time to failure (TTF) - určitý časový interval představující čas od určitého časového bodu do okamžiku výskytu poruchy. Tento parametr není indikátorem úplného přerušení funkčnosti zařízení.
- Remaining useful life (RUL) - určitý časový interval představující čas od určitého okamžitého časového bodu do okamžiku úplného přerušení funkčnosti zařízení.

Tyto parametry ukazují informace o pravděpodobnosti a rovněž to, v jakém prognostickém výhledu jejich hodnoty budou platné. V dnešní době existuje určité množství prognostických metod, každá má své výhody a nevýhody, v reálném světě většinu potřeb pokrývá jejich kombinace a společné využití. [22]

Prognostické metody lze rozdělit do těchto skupin: [21]

- Data driven prognosis – prognostika na základě údajů
- Model-based prognosis - prognostika s použitím modelu
- Probability-based prognosis – Prognostika založená na pravděpodobnosti



Obrázek 17: Rozdělení prognostických metod v kontextu prediktivní diagnostiky [21]

- **Prognostika na základě údajů**

Metody patřící do této skupiny používají a zpracovávají objektivní údaje, které byly získané pomocí sledování provozovaného zařízení. Naměřené parametry a hodnoty vstupů a výstupů jsou důležitým indikátorem, pomocí kterého je možné posuzovat technický stav zařízení a také úroveň opotřebení. Metody prognostiky na základě údajů se řídí předpokladem, že statistická charakteristika údajů je vcelku stabilní až do okamžiku výskytu v selhání systému. Tento typ prognostiky využívá teorie rozpoznání vzoru, která závisí na velkém množství různých technik a principů, jedna se o multivariační statistické metody, metodu «black box», grafické metody, metodu analýzy signálu atd. Velkou výhodou použití tohoto typu prognostiky je schopnost této metody provádět transformace a redukce velkých souborů údajů do mnohem menších souborů s vyšší kvalitou dat a významných údajů. Pokud se jedná o kvalitu dat, tato metoda je závislá na kvalitě a kvantitě získaných dat, v závislosti na těchto parametrech dat a efektivnost prognostiky může růst nebo klesat. [21]

- **Prognostika s použitím modelu**

Využití tohoto typu prognostiky vyžaduje existenci přesného matematického nebo fyzikálního modelu zařízení. Princip rezidua je základním parametrem pro odhad doby do selhání zařízení. Využití principu rezidua spočívá v porovnání výstupu z reálného provozovaného zařízení a

jeho přesného matematického modelu. Za normálního provozního režimu zařízení rezidua jsou malá, naopak to je při selhání, kdy rezidua jsou poměrně velká. Hlavními výhodami využití tohoto typu prognostiky je: [21]

- Možnost použití fyzikálních znalostí o systému při sledování
- Odvozování parametrů přímo z modelu
- Adaptace modelu z možnosti sledování degradace zařízení

Využití této metody má úspěch v oblasti navrhování, kde obvykle jsou k dispozici přesné matematické modely, a také je možné přidání degradačních modelů pro zjištění životnosti jednotlivých komponentů. [21]

● **Prognostika založená na pravděpodobnosti**

Jedná se o jednu z nejstarších metod prognostiky, která je nejméně citlivá k přesnosti dat. Pro svoji funkčnost se využívají pravděpodobnostní funkce, které byly parametrizované pro určitá zařízení. Nejčastěji se používá normální, Weibullovo a exponenciální rozdělení pravděpodobnosti. Pro stanovení přesnosti a pravděpodobnosti odhadu využívá tato metoda tzv. meze určitosti. [21]

4.1.3 Diagnostika subsystému tunelu

Pomocí výše uvedených metod diagnostik a prognostik je možné a nutně provádět pravidelné kontroly stavu zařízení. Každý subsystém tunelu má určitý vliv na bezpečnost provozu v tunelu, výpadek jednoho z těchto subsystémů může vést k nehodě. Většina událostí v tunelu se stává kvůli uživatelům tunelu (zastavení vozidla, nehoda, požár), tyto události přímo neovlivňují technologie tunelu, ale je velmi důležité, aby při výskytu těchto událostí technologie tunelu vykonala akci, pro kterou byla projektovaná. SCADA systém tunelového řízení má propojení s každým subsystémem, v případě nouze aktivuje potřebné systémy, a reaguje na událost tak, jak je nastaven, proto systém musí vědět, co dělat, když nějaký subsystém nebo jeho prvek má výpadek.

Následující tabulka se nazývá « matice události » a jejím účelem je ukázat, jak by systém musel reagovat ve stavu výpadku nějakého prvku subsystému. V uvedené tabulce jsou uvedeny nouzové a havarijní stavy a jsou představena zařízení, jejichž dysfunkce je kritická či dokonce bezpečnostně kritická, a to ve vztahu k uživatelům tunelu. Bezpečnostní kritická zařízení by měla neprodleně zabránit vjezdu vozidel do oblasti s krizí, aby nebyli ohroženi další účastníci

provozu a nezvyšovat se počet uživatelů v nebezpečí. V tabulce byly použité různé barvy pro zvýšení přehlednosti. Zelená barva označuje, že selhání dané technologie neohrožuje životy nebo bezpečnost v tunelu, žlutou jsou označeny kritické technologie (K), červenou bezpečnostně kritické (BK). [15]

Tabulka 2: Matice událostí [15]

Událost	Reakce systému	Senzory	K/BK	Aktory	K/BK
Zastavení, nehoda	<ul style="list-style-type: none"> – automatická identifikace v čase – bezprostřední omezení/zastavení dopravy 	dopravní detektory	K	světelná návěstidla,	BK
		úsekové měření	-	závory	K
		SOS boxy	-	PDZ B1	BK
Požár	<ul style="list-style-type: none"> – automatická identifikace v krátkém čase – bezprostřední zastavení dopravy – informování účastníků 	videodetekce kouře	BK	ventilace	K
		liniový hlásič	BK	světelná návěstidla,	BK
		požární tlačítka	-	PDZ B1	BK
		SOS boxy	-	závory	K
				Nouzový zvukový systém	BK
Výpadek VZT s dlouhodobějším překročením koncentrací	zastavení dopravy	detektory CO, NOX	K	světelná návěstidla,	K
		opacity	K	PDZ B1	-
Výpadek VZT, ale hodnoty škodlivin jsou pod průměrem	<p>žádná</p> <p><i>Tento stav nepočítá s tím, že zrovna v této situaci může vzniknout požár</i></p>	detektory CO, NOX	K	světelná návěstidla,	-
		detektor opacity	K	závory	-
Výpadek osvětlení hlavní soustava	<ul style="list-style-type: none"> – automatický přechod na náhradní osvětlení – omezení rychlosti <p><i>Pokud by nesvitilo omezení rychlosti nutno zastavit provoz</i></p>	senzory škodlivin	K	světelné značky B20a	K
		dopravní detektory	K	PDZ B1	-
		CCTV	K	závory	-
Výpadek osvětlení náhradní nefunguje, ale svítí normální	<p><i>Není řešena situace, kdy zároveň vypadne i hlavní – nutno okamžitě zastavit dopravu</i></p>	senzory škodlivin	-	světelná návěstidla,	K
		dopravní detektory	-	PDZ B1	K
		CCTV	-	závora	K
Výpadek ovládání dopravních značek	<p><i>Stav je nebezpečný kádkoli je nutno omezit rychlost nebo zastavit provoz, např. při výpadku osvětlení, nehodě</i></p>	senzory škodlivin	-	světelná návěstidla,	K
		dopravní detektory	-	PDZ B1	K
		CCTV	-	závora	K
Výpadek napájení značek	<p><i>Značky jsou napájeny po sekcích, takže nehrozí nebezpečí</i></p>				
Výpadek ŘS ale lze zapnout ventilaci (funguje)	<p><i>Při funkčním ovládní značek, signálů a závor</i></p>	požární senzory		světelná návěstidla,	BK
		senzory škodlivin		PDZ B1	BK
EPS, CCTV, SOS boxy a telefon)		CCTV		závora	K
				PDZ B20a	K
Výpadek ŘS nelze zapnout ventilaci (funguje EPS, CCTV, SOS boxy a telefon)	<p>Požaduje se okamžitě zastavení dopravy</p> <p><i>BK aktory lze ovládat, pokud ne => přenosné zařízení</i></p>			světelná návěstidla	BK
				PDZ B1	BK
				závora	K
Výpadek EPS	<p>Tunel se provozuje, musí fungovat měření škodlivin a CCTV</p>	senzory škodlivin	K	světelná návěstidla	K
		CCTV	K	PDZ B1	K
		dopravní detektory	-	závora	K
Výpadek nouzového zvukového systému				Nouzový zvukový systém	BK
Celkový výpadek hlavního napájení	pracují UPS a záložní zdroj (generátor)	dopravní detektory	K	světelná návěstidla,	K
		CCTV	K	PDZ B1	K
		úsekové měření	-	závora	K
Výpadek UPS při funkčnosti hlavního napájení		dopravní detektory	K	světelná návěstidla,	-
		CCTV	K	PDZ B1	-
		úsekové měření	-	závora	-
Výpadek záložního zdroje při funkčnosti UPS	<p>Při poruše hlavního i záložního zdroje nutně okamžitě zastavit provoz</p>			světelná návěstidla,	BK
				PDZ B1	BK
				závora	K

Dále budou popsány kroky pro zajištění bezpečnosti v tunelu v případě požáru a havarijní situace, a to, co by mělo mít zálohované napájení pro správnou funkčnost.

Dopravní značky: Nejprve je důležité zastavit provoz vozidel pomocí světelných signálů S1a s červeným světlem « Stůj ». Musí být zajištěna jejich funkčnost, tzv. zálohované napájení a ovládaní. [15]

Pro zákazové značky B1 « Zákaz vjezdu všech vozidel » je nutně zajistit napájení z různých sekcí, a také zajistit redundantní ovládaní. Vzhledem k tomu, že tyto značky využívají mechanické přestavování symbolu, je nutně provádět pravidelné kontroly funkčnosti, protože tyto typy značek jsou náchylnější k poruchám v případě nepříznivých klimatických podmínek. [15]

Jinou možností zastavení provozu je využití mechanických zabrán, které je možné považovat za kritické zařízení. Pomocí kombinace značek B1, světelných signálů a závor je možné vytvořit redundantní systém. [15]

Řídicí systém: Hlavní řídicí stanice je podstatnou částí řídicího systému. Řídí podřízené PLC a komunikuje s dispečerskými pracovišti v lokálním velínu. Dále zajišťuje záznam dat a umožňuje řízení zásadních technologických celků nebo nouzové odstavení vybraných zařízení. Reakce ŘS v případě mimořádné situace musí být automatická a co nejrychlejší. Musí být zajištěno redundantní komunikační vedení k PLC a k jednotkám vzdálených vstupů a výstupů. Velmi důležitým požadavkem pro zabezpečení bezpečnosti tunelu je pravidelná diagnostika SW ŘS tunelu pro zajištění jeho plné funkčnosti. [15]

Senzory požáru: Pro zajištění včasné a co nejrychlejší identifikace požáru se používá řada různých senzorů a systémů, každý z těchto systémů má určité funkční vlastnosti. Využívají se různé typy liniových hlásičů, videodetektory, termokamery, detektory kouře a plynu. Pomocí využití několika různých systémů detekce požáru lze vytvořit redundantní systém pro okamžitou detekci požáru. [15]

Pokud nastane situace, v níž se vyskytne požár, je to velké nebezpečí pro uživatele tunelu, kteří budou chtít uniknout požáru. Funkce informování uživatelů tunelu o možnostech uniknutí požáru má na starosti nouzový zvukový systém. Také je velmi důležitá správná funkčnost ventilačního systému. [15]

Nouzový zvukový systém: Úkolem systému je informovat uživatele tunelu o možných cestách úniku požáru, při správném sledování pokynů tohoto systému by účastníci provozu měli bezpečně uniknout. Je tento systém zaražen do kategorie bezpečnostně kritických. [15]

Ventilační systém: Ventilační systém je navrhován specificky pro každý tunel. V prvních minutách po výskytu požáru je zásadně důležité pro správce tunelu zajistit rozvrstvení kouře. Je tvořen několika skupinami ventilátorů, napájených z různých zálohových zdrojů. [15]

Může nastat situace, kdy se vyskytne výpadek osvětlovacího nebo energetického systému, tyto situace mohou zvýšit riziko nebezpečí pro uživatele tunelu a je zásadně důležité zajistit plnou funkčnost těchto systémů. [15]

Energetický systém: Úkolem tohoto systému je napájení všech subsystémů a jejich prvků. Dle podmínek TP98 je nutné, aby systém napájení byl vícenásobně zálohován. Obvykle je tento systém dvojnásobně zálohován pomocí dvou separátních a nezávislých rozvodů. [15]

Osvětlení: Normální osvětlení je vícenásobně zálohováno pomocí využití náhradního a nouzového osvětlení, výpadek normálního osvětlení neměl by ohrožovat životy účastníků provozu tunelu. [15]

Pro zajištění normálního a bezpečného provozu tunelu musí být zajištěno jejich zálohové napájení a ovládání, také by měla být prováděna pravidelná diagnostika subsystémů a jejich prvků pro snížení možnosti výskytu poruch nebo úplného výpadku systému.

4.1.4 Doporučení pro zajištění diagnostiky

Na základě provedené analýzy diagnostických a prognostických přístupů jsem došel k závěru, že pro zlepšení existujících přístupů je možné využít tyto kroky:

- **Provádění pravidelných kontrol zařízení**

Je nutně zajistit pravidelné kontroly a údržby zařízení pro eliminaci možnosti výskytu nežádoucí poruchy při normálním provozu tunelu. Vytvoření a použití žurnálu kontrol by mělo jasně snížit možnost výskytu poruchy. Pro zajištění prognostiky by měly být vytvořené žurnály předchozích poruch a událostí, které by zdokonalily možnosti predikce. Je nutně zapojit do diagnostiky zkušené odborníky pro zlepšení představy o technickém stavu zařízení v tunelu.

- **Zabezpečení kyberbezpečnosti SCADA systému**

SCADA systém je má své zřejmé výhody, jeho slabina je ovšem v bezpečnosti. V dnešní době je kyberbezpečnost takového bezpečnostně kritického systému jako SCADA velice důležitá. Výpadek systému, odpojení od řízení nebo jakékoli jiný útok zvenčí může vést k vážným haváriím s následkem usmrcení účastníků provozu. Nejprve je nutné zajistit bezpečnostní připojení ke všem prvkům a subsystémům tunelu. Dále je důležité eliminovat nežádoucí připojení ke SCADA systému a vytvořit bezpeční síť pro komunikace mezi SCADA a subsystémy tunelu, zajistit autorizace pro různé správce a pracovníky tunelu. Rovněž je nutné určit osobu s určitou úrovní kompetence možného zásahu do řízení tunelu. Je také nutné vytvořit postupy pro minimalizaci škod a normalizaci funkčnosti SCADA systému v případě útoku na systém.

- **Vytvoření modelu systému**

Pomocí vytvoření identického modelu tunelu je možné provádět analýzu, diagnostiku a prognostiku zařízení bez vlivu na provoz tunelu. Pomocí modelu bylo by možné modelovat scénáře s výskytem poruch a nehod, čímž bylo by možné vytvořit nové nebo vylepšit staré a vytvořit kroky pro normalizaci provozu v případě výskytu poruchy.

- **Tréninky pro správce na simulátorech**

V dnešní době existuje velké množství různých simulátorů. Je možné vytvořit simulace poruchy nebo havarijní situace. Pomocí tréninku na simulátorech by měl správce tunelu možnost nacvičit postupy při výskytu poruchy. Po tréninku by měli zaměstnanci vědět, co a kdy musejí dělat a jaké kroky mají provádět v určité situaci.

5 Návrhy a doporučení uplatnění bezpečnostních prvků

Bezpečnost v tunelu je velmi důležitým faktorem, každý den se objevuje stále více technologií, které mohou zlepšit bezpečnost, pohodlí a rychlost během použití tunelu. K zajištění bezpečnosti se v tunelu používá velké množství technologií a systémů. V průběhu času mohou být některé technologie zastaralé nebo potřebují upgrade.

Doporučení pro zavedení nových systémů bezpečnosti v tunelu

Následující doporučení jsou určena k ukázce nových technologií a zlepšení aktuálních technologických systémů v tunelové infrastruktuře. Cílem této kapitoly je prezentace nových trendů v rozvoji bezpečnosti tunelových komunikací, kyberbezpečnosti a detekce. Zdokonalení těchto technických prvků by vedlo k růstu bezpečnosti, snížení nákladů na údržbu tunelu, zabezpečení nepřerušitelné funkčnosti SCADA ŘS atd.

5.1 Kroky pro zlepšení kyberbezpečnosti řídicího systému

SCADA

SCADA systémy obsahují počítače a aplikace, které mají klíčové funkce při poskytování základních služeb. Jsou součástí kritické infrastruktury tunelu a vyžadují ochranu před různými hrozbami, které existují v kybernetickém prostoru. Tím, že umožňují sběr a analýzu dat a řízení zařízení ze vzdálených míst, poskytují sítě SCADA velkou účinnost a jsou proto hojně používány. Představují však také bezpečnostní riziko. SCADA sítě byly původně navrženy tak, aby maximalizovaly funkčnost, s malou pozorností věnovanou bezpečnosti. Výsledkem je robustní výkon, spolehlivost, flexibilita, zatímco bezpečnost těchto systémů je často nedostatečná. Kvůli tomu jsou některé sítě SCADA potenciálně zranitelné vůči narušení služby, přesměrování procesů nebo manipulaci s provozními daty, což by mohlo vést k obavám o veřejnou bezpečnost nebo k vážnému narušení kritické infrastruktury. [24]

Následující kroky se zaměřují na konkrétní opatření, která je třeba podniknout ke zvýšení bezpečnosti SCADA sítí:

- **Identifikace všech připojení k sítím SCADA**

Provedení důkladné analýzy rizik pro posouzení rizika a nutnosti každého připojení k síti SCADA. Rozvíjení komplexního pochopení všech připojení k síti SCADA a toho, jak dobře jsou tato připojení chráněna. [24]

Je nutně identifikovat a vyhodnotit následující typy připojení: [24]

- LAN a MAN sítě
- Internet
- Bezdrátová síťová zařízení
- Modem nebo telefonické připojení

- **Odpojení nežádoucích připojení k síti SCADA**

Pro zajištění nejvyššího stupně bezpečnosti systémů SCADA je nezbytné izolovat síť SCADA od ostatních síťových připojení v co největší míře. Jakékoli připojení k jiné síti představuje bezpečnostní rizika, zejména pokud připojení vytvoří cestu z internetu nebo na internet. Ačkoli přímé spojení s jinými sítěmi může umožnit efektivní a pohodlné předávání důležitých informací, nezabezpečená připojení nestojí za riziko; izolace SCADA sítě musí být primárním cílem pro zajištění potřebné ochrany. [24]

- **Vyhodnocení a posílení bezpečnosti všech zbývajících připojení k síti SCADA.**

Je nutně provést penetrační testování nebo analýzu zranitelnosti všech zbývajících připojení k síti SCADA, aby bylo možné vyhodnotit způsob ochrany těchto připojení. Tato informace ve spojení s procesy řízení rizik umožňuje vytvoření robustní strategie ochrany pro všechny cesty do SCADA sítě. Vzhledem k tomu, že síť SCADA je stejně bezpečná jako její nejslabší spojovací bod, je nezbytné implementovat firewall, systémy detekce narušení a další vhodná bezpečnostní opatření v každém vstupním bodě. Pravidla firewall musejí být nakonfigurovaná tak, aby zakazovala přístup ze sítě SCADA a do sítě a byla co nejkonkrétnější při povolování schválených připojení. [24]

- **Zpevnění sítě SCADA odstraněním nebo zakázáním nepotřebných služeb.**

Řídicí servery SCADA postavené na komerčních nebo open-source operačních systémech mohou být vystaveny útoku prostřednictvím výchozích síťových služeb. V co největší míře je nutně odebrat nebo deaktivovat nepoužívané služby a síťové domény, aby se snížilo riziko přímého útoku. To je velmi důležité, když jsou sítě SCADA propojeny s jinými sítěmi. Není možné povolit službu nebo funkci v síti SCADA, pokud důkladné posouzení rizik důsledků povolení služby/funkce neprokáže, že výhody služby/funkce převažují nad potenciálem zneužití bezpečnosti. Kromě toho úzká spolupráce s dodavatelem SCADA systému je potřebná pro identifikaci bezpečných konfigurací a koordinaci všech změn v operačních systémech, aby bylo možné zjistit, že odstranění nebo vypnutí služeb nezpůsobí poruchy v řídicím systému. [24]

- **Odmítnutí proprietárních protokolů ochrany systému.**

Některé SCADA systémy používají jedinečné, proprietární protokoly pro komunikaci mezi zařízeními a servery. Bezpečnost systémů SCADA je často založena pouze na utajení těchto protokolů. Bohužel protokoly poskytují velmi málo skutečné bezpečnosti. [24]

- **Využití bezpečnostních funkcí poskytovaných dodavatelem zařízení a systémů**

Většina SCADA systémů nemá žádné bezpečnostní prvky. Majitelé SCADA systémů musejí trvat na tom, aby jejich dodavatel do systému implementoval bezpečnostní funkce ve formě oprav nebo upgradů produktů. Je nutné provést analýzu každého SCADA zařízení a zjistit, zda jsou přítomny bezpečnostní funkce. Tovární nastavení zabezpečení jsou často nastavena tak, aby poskytovaly maximální použitelnost, ale minimální bezpečnost. Je potřeba nastavit všechny bezpečnostní funkce tak, aby poskytovaly maximální úroveň zabezpečení. Povolení nastavení pod maximální bezpečnost je možné pouze po důkladném posouzení rizik důsledků snížení úrovně bezpečnosti. [24]

- **Implementování interních a externích systémů detekce narušení a zavedení monitorování incidentů.**

Pro účinné reagování na kybernetické útoky je potřeba vytvořit strategii detekce narušení, která zahrnuje upozornění správců sítě na škodlivou síťovou aktivitu pocházející z interních nebo externích zdrojů. Monitorování systému detekce narušení je nezbytné 24 hodin denně. Kromě toho musejí být zavedeny postupy reakce na incidenty, které umožňují účinnou reakci na jakýkoli útok. [24]

- **Technický audit SCADA zařízení a sítí**

Technické audity SCADA zařízení a sítí jsou velmi důležité pro efektivitu zajištění bezpečnosti. K dispozici je mnoho komerčních a open-source bezpečnostních nástrojů, které umožňují správcům systému provádět audity svých systémů/sítí za účelem identifikace aktivních služeb a běžných zranitelností. Použití těchto nástrojů nevyřeší systémové problémy, ale odstraní "cesty nejmenšího odporu", které by útočník mohl využít. Je nutně provádět analýzu zjištěných chyb, aby bylo možné zjistit jejich význam a podle potřeby provést bezpečnostní opatření. Opakované testování systémů po nápravných opatřeních je nutně pro odstranění jejich zranitelnosti. [24]

- **Vyhodnocení všech vzdálených připojení k síti SCADA**

Jakékoli místo, které má připojení k síti SCADA, může být cílem. Je nutně identifikovat a posoudit jakýkoli zdroj informací, včetně vzdálených telefonních/počítačových sítí/optických kabelů, které by mohly být využity, rádiové a mikrovlnné spoje, počítačové terminály a bezdrátové přístupové body k místní síti. Zabezpečení webu musí být «naučené» k detekci nebo zabránění neoprávněnému přístupu. [24]

5.2 C2X v tunelové infrastruktuře

Bezpečný provoz silničních tunelů vyžaduje komplexní a podrobné informace o všech procesech v dopravním prostoru, aby bylo možné rychle a vhodně reagovat na nebezpečné situace. Informace jsou tedy poskytovány různými senzory. Prostřednictvím zařízení pro přenos dat jsou připojeny k centrální řídicí technologii a umožňují provozním nebo monitorovacím střediskům vyššího řádu vyvodit přímé či nepřímé závěry o nesrovnalostech v dopravním prostoru. Incidenty, které vyžadují zásah řídicí techniky nebo obsluhy jsou například dopravní kongesce, pomalá vozidla, poruchy vozidel, vozidla s nesprávným řízením, předměty na vozovce, osoby na vozovce, kluzká vozovka, nehody, vozidla v ohni atd. Výměna údajů získaných ve vozidle s řídicí technologií na straně infrastruktury proto má vysoký potenciál pro zvýšení bezpečnosti v silničních tunelech. [25]

C2X (Car-to-Everything) je technologie komunikace mezi vozidlem a jakoukoli entitou. Je to spojení několika technologií komunikace do jednoho souboru: [25]

- Car to Car (C2C)
- Car to Infrastructure (C2I)

Nejvyšší význam pro tunelovou infrastrukturu má spojení komunikace C2C spolu s C2I. Data jsou přenášena mezi vozidly, dopravní infrastrukturou a řídicími centry a jsou zpracována efektivně. Bezdrátová komunikace mezi jednotlivými vozidly (C2C) nebo mezi vozidly a infrastrukturou (C2I) v kombinaci s různými senzory ve vozidle umožňuje přímou, rychlou a spolehlivou detekci kritických incidentů. K tomu musejí být data získaná z C2X zpracována v reálném čase a přenesena do řídicí jednotky vyššího řádu. Pro zajištění funkčnosti a spolehlivé práce systému je nutné mít na straně infrastrukturní a vozidlové určité komunikační prvky. [25]

5.2.1 Přínosy C2X pro tunelovou infrastrukturu

Všeobecné a konstantní předání informace mezi uživateli tunelu a jeho provozovatelé má velký význam pro zvýšení bezpečnosti a pohodlí při použití tunelu. Uživatelům mohou být poskytnuty údaje o poloze nejbližšího nouzového východu nebo telefonu, omezení rychlosti v tunelu, instrukce během nouzového stavu atd. Pro provozovatele a stejně tak i pro uživatele tunelů je nezbytné, aby plánované nebo neplánované dopravní události byly identifikovány pomocí ŘS tunelu, například v případě požáru, což může významně snížit čas odezvy celého systému na výskyt nouzové situace. [25]

Řízení dopravy umožňuje provozovatelům tunelů vydávat doporučení pro odklon v případě incidentů v tunelech. Tyto funkce jsou velmi důležité pro zvýšení bezpečnosti provozu. C2X rozšiřuje dostupné instalace a funkce související s řízením provozu nebo je může dokonce nahradit. Upozornění na pomalá vozidla, vozidla, která se porouchala nebo na překážky na vozovce poskytují uživatelům tunelu velké vylepšení bezpečnosti, pokud lze následně zabránit kolizím. [25]

Nouzové systémy jako eCall nezávisle hlásí, jakmile palubní senzory zaznamenají vážnou kolizi. Po aktivaci naváží spojení s nejbližším tísňovým voláním prostřednictvím mobilního rádia, poskytují tísňovým službám relevantní údaje o okolnostech nehody, např. čas, přesnou polohu havarovaného vozu pomocí GPS, počet cestujících atd. Důležitým předpokladem je, že v tunelu je k dispozici mobilní rádiové připojení. Tuto technologii lze také použít k přenosu pokynů jednotlivým vozidlům a jejich cestujícím. Ty však mohou být slyšet pouze uvnitř vozidla prostřednictvím palubních reproduktorů. [25]

Rychlé odhalení incidentů v tunelu má zásadní význam. Při zkrácení doby detekce se počet osob ohrožených incidentem zřetelně snižuje, protože bezpečnostní systémy mohou být aktivovány dříve, např. uzavření tunelu, aktivace ventilace atd. [25]

Technologie C2X nabízí velmi dobrou alternativu k detekci videa, protože incidenty, pro které se používá detekce videa, mohou být také spolehlivě detekovány pomocí C2X. Pomocí technologie C2X nelze plně nahradit systémy videodetekce. Obrázky jsou užitečné a důležité pro operátory při posuzování situace v tunelu. [25]

Technologie C2X může poskytnout obrovské množství dat, která následně mohou být využita pro analýzu dopravních, nouzových a jiných situací v tunelu. [26]

Jedná se o data tohoto typu: [26]

- Doba jízdy ve sledovaném úseku
- Průměrná rychlost
- Zpoždění jízdy ve sledovaném úseku
- Detekce dopravní kongesce ve sledovaném úseku
- Detekce brzdícího/zastaveného vozidla a směru pohybu vozidla
- Zrychlení/zpomalení vozidla
- Použití řídicích jednotek vozidla
- Počet osob ve vozidle
- Přibližování polohy nouzového vozidla v tunelu
- Poloha nehody, stojícího vozidla nebo nákladu
- Informace o nebezpečné události/poloze v tunelech, informace o evakuaci atd

Využití technologie C2X může přinést obrovský skok v rozvoji vozidel s autonomním řízením. Starší přístupy při rozvoji vozidel s autonomním řízením byly založeny na navigaci pomocí senzoru ve vozidle. C2X umožňuje komunikaci car-to-car, předání informace mezi vozidly usnadňuje výpočty v každém autonomním vozidle. Pokud by například existoval tunel, v kterém jsou jen autonomní vozidla, tak použití technologie C2X by mohlo vést k výskytu plně harmonického provozu s minimálním procentem výskytu havárie. [26]

5.2.2 Komponenty C2X

Vozidlové komponenty

Kromě komponentů určených k vytvoření komunikace mezi vozidlem a infrastrukturou je nutné, aby vozidlo obsahovalo bezpečnostní komponenty. Jsou to bezpečnostní zařízení, která má skoro každé moderní vozidlo:

- Airbag

- Senzory světla
- ESP
- ABS
- Senzory havarijního brzdění
- Systémy varování před kolizi
- Atd

Pomocí využití dat a informací od těchto zařízení je možné značně snížit čas na odezvu ŘS tunelu při nouzové nebo havarijní situaci. [25]

Velmi důležitou komunikační jednotkou je Communication Control Unit (CCU). Úkolem tohoto zařízení je provádět komunikaci vozidla s jeho okolím pomocí WLAN nebo mobilní sítě. Sbírá data z indikátoru a senzoru ve vozidle a následně je připravuje k předání v okamžiku komunikace s ostatními entitami v okolí. [25]

Komponenty infrastruktury

Na infrastrukturní straně zajišťuje provoz komunikace s vozidly Road-side-unit (RSU). Je to stanice u silnice, jejímž hlavním úkolem je přijímání dat a informací od vozidel a v případě nutnosti jejich předání jiným vozidlům. RSU je tedy bodem komunikace mezi vozidly v silničním provozu a infrastrukturními jednotkami, ŘS tunelu, a dispečinkem atd. [26]

RSU obsahuje CCU, který zajišťuje připojení pomocí WLAN. Kvůli potřebě vysoké propustnosti RSU je připojen pomocí LAN sítě v kombinaci s ethernetem. [21] RSU také zajišťuje předávání informací mezi vozidlem a ŘS tunelu. RSU nejen přenáší data, ale také je předzpracovává. [26]

5.2.3 Technologie komunikace

Hlavním úkolem C2X je komunikace, výměna dat a informace. Základem funkčnosti komunikace v technologii C2X je WLAN, což je komunikace prostřednictvím rádiové sítě. Kromě WLAN je také používán standard DSRC (Dedicated Short-Range Communications). DSRC má rovněž název ITS-G5, tento standard umožňuje oboustrannou komunikaci mezi vozidly a infrastrukturou. Nový standard LTE umožňuje zvýšit rychlost předání informací a otevírá nové možnosti v rozvoji technologie C2X. [26]

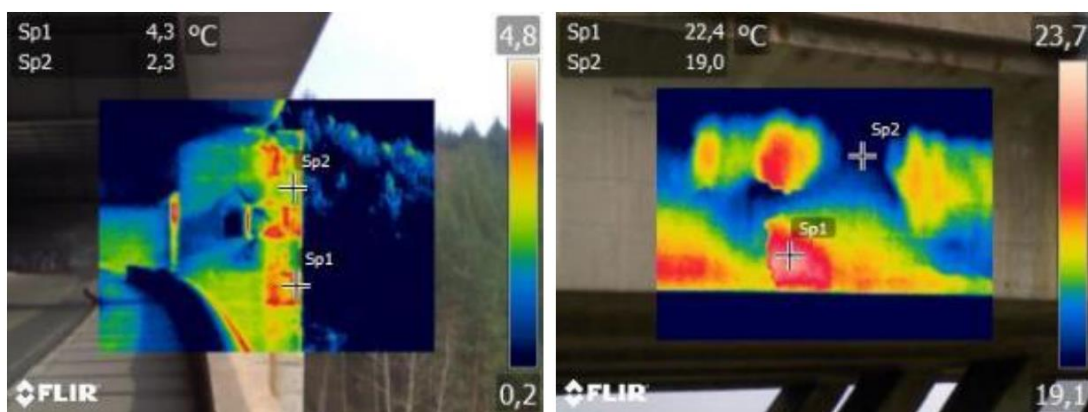
5.3 Využití termokamer pro tunelovou infrastrukturu

5.3.1 Termografická diagnostika tunelových konstrukcí

Infračervená termografie je metoda diagnostiky pomocí termokamer, umožňující detekci a lokalizaci poruch ve stavebních konstrukcích tunelu. Pomocí této diagnostiky je možné dedikovat vady, které nejsou viditelné na povrchu konstrukce. Princip diagnostiky spočívá v detekci infračerveného záření, záření má každé těleso, jehož teplota je vyšší než nula. Výsledkem této diagnostiky je termogram, což je obraz záření na objektu. [27]

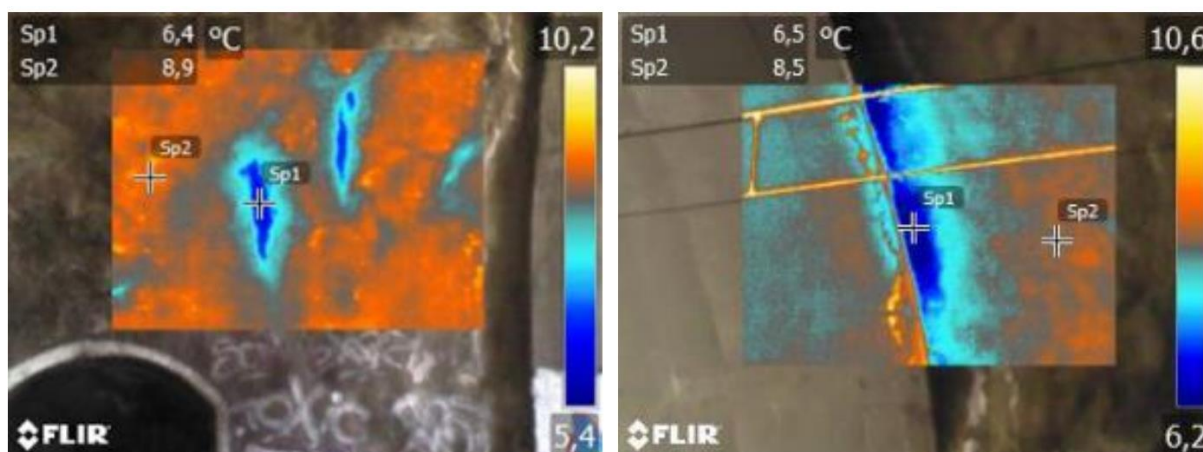
Typy poruch, které je možné detekovat pomocí termokamer

Delaminace je oddělení vnitřních vrstev materiálu, často je důsledkem koroze betonu. Pomocí termografické diagnostiky je možné snadno a rychle detekovat její výskyt. Na obrázku č. 18 je možné vidět rozdíl teplot na stavební konstrukci a tento rozdíl poukazuje na výskyt delaminace. [27]



Obrázek 18: Delaminace betonové vrstvy, delaminované oblasti mají vyšší teplotu – červená barva v termogramu [27]

Zjišťování přítomnosti vody. Voda uvnitř stavební konstrukce může vést k velmi nebezpečným destrukcím. Včasná detekce tohoto jevu může provozovatelům komunikace ušetřit velké množství peněz a možná i zachránit životy. Princip detekce spočívá v tom, že kapalina při odpařování odebírá teplo ze svého okolí, což umožňuje snadno detekovat výskyt této události. Z obrázku 19 je zřejmé, že modrá barva je chladnější místo, což ukazuje na průsak vody v konstrukci. [27]



Obrázek 19: Termogram z měření v tunelu s viditelnými průsaky vody – modrá barva [27]

5.3.2 Využití termokamer pro zvýšení bezpečnosti provozu tunelu

Termokamery mají řadu výhod oproti obyčejnému CCTV kamerovému dohledu. V tunelech se termovizní kamery používají ke sledování dopravních toků nebo k detekci incidentů v rané fázi. V jiných aplikacích, jako například hašení požáru, jsou termovizní kamery spolehlivým doplňkem lidského vidění, protože mohou pomoci hasičům vidět kouř nebo detekovat horká místa. Termovizní technologie využívá informace o teplotě přicházející z určitého prostředí. Nepotřebuje k provozu žádné světlo, proto má některé zřetelné výhody oproti vizuálním kamerám, a dokonce i lidskému vidění. [27]

Výhody využití termokamer oproti CCTV jsou následující: [27]

- Jednou z největších výhod termovizních kamer v oblasti bezpečnosti tunelu je to, že mohou účinně vidět přes mnoho typů kouře. To z nich činí ideální technologii pro reakce na mimořádné situace, aby bylo možné najít cestu tunelem naplněným kouřem nebo pro systémy detekce incidentů, aby včas zjistily incidenty.
- Světlo slunce zaslepuje obyčejné videokamery, které potom neukazují vozidla, lidi a zvířata. Termokamery ignorují toto oslnění a reagují pouze na tepelné signály, které detekují.
- Světlomety aut mohou být problémem pro CCTV kamery, ale nikoliv pro termokamery. Termokamery jsou imunní vůči svícení světlometu, takže mohou jasně sledovat situaci.
- Videokamery mohou neukázat chodce, cyklisty, zvířata, a dokonce i auta, pokud jsou ve stínu. To platí zejména při vstupu nebo výstupu z tunelu, který může být uvnitř tmavý kvůli stínům a velmi jasný zvenku kvůli slunečnímu záření. Ale protože termální

kamery vidí teplo, nikoli světlo a v tepelném světě nejsou žádné stíny, neovlivní to vizualizaci.

- V noci vypadá dálnice pro videokameru jako nezřetelná řada světél, což znemožňuje smysluplný sběr dat a hodnocení incidentů. Termokamery ale vidí tepelné podpisy vozidel jasně na velkou vzdálenost. Poskytují jasný přehled o silnicích pro povědomí o zaparkovaných vozidlech nebo jiných nebezpečích.

5.4 Technologie LIDAR

LIDAR (Light detection and ranging) je technologie, která je založená na principu měření doby šíření laserového paprsku odraženého od nějakého objektu v prostoru. Předchůdci technologie LIDAR jsou technologie Sonar a Radar, ale na rozdíl od nich technologie LIDAR využívá laserové pulzace místo rádiových. Systémy LIDAR umožňují mapovat okolní prostor rychlostí světla. [28]

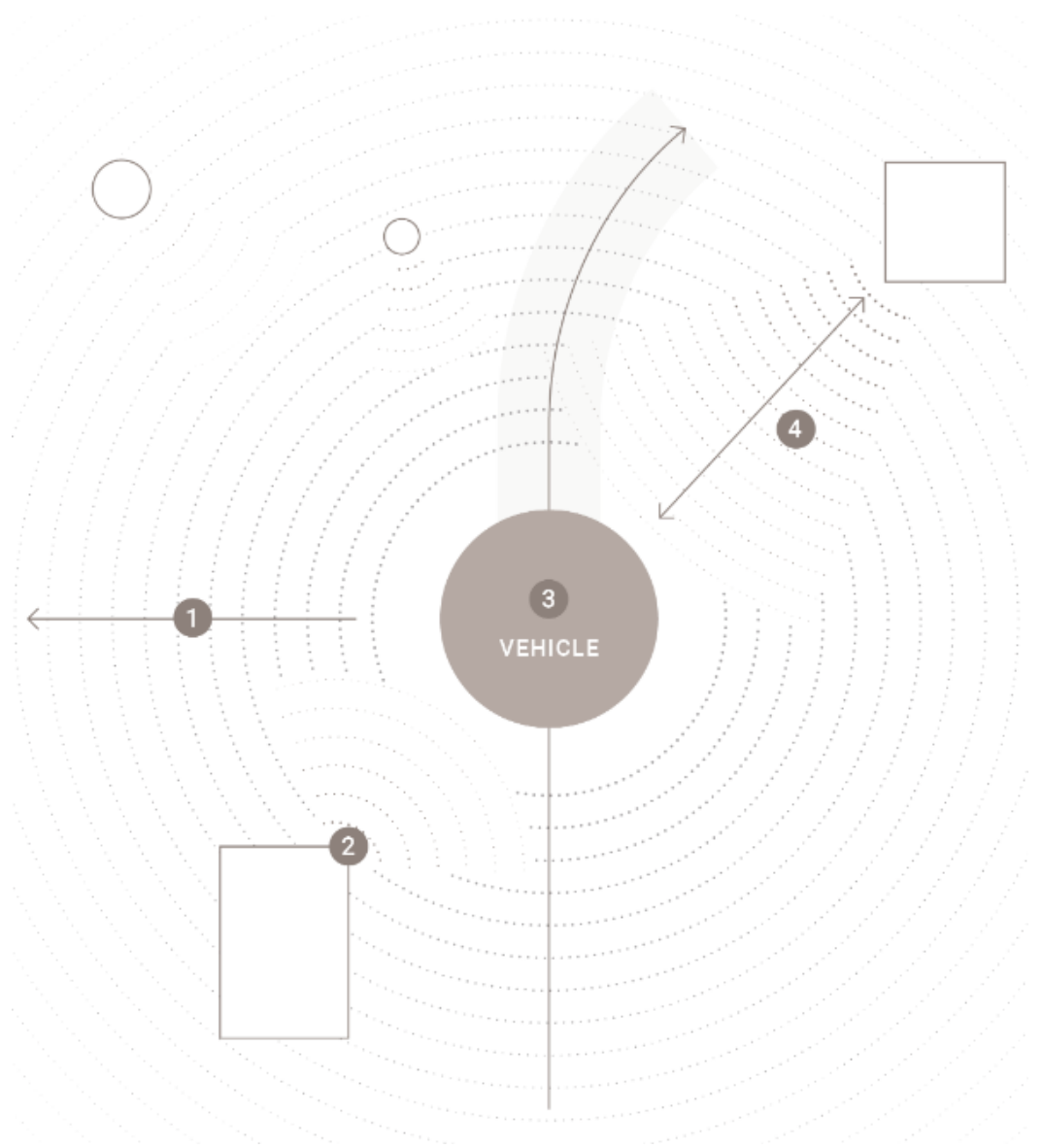
5.4.1 Princip technologie LIDAR

Funkce LIDAR jsou velmi podobné funkci sonaru, rozdíl mezi nimi je v rychlosti. LIDAR funguje rychlostí světla, která je mnohem vyšší než rychlost zvuku. LIDAR systémy vysílají laserové vlny, které cestují ven ve všech směrech, dokud se nedostanou do kontaktu s objektem, což má za následek ozvěnu zvukové vlny, která je přeměrována zpět ke zdroji. Vzdálenost objektu je vypočtena na základě času, než se ozvěna vrátí ve vztahu ke známé rychlosti světla. [28]

Systém LIDAR se skládá ze čtyř hlavních komponentů: vysílač emitující laserové impulsy, přijímač zachycující pulzní ozvěny, optický analytický systém pro zpracování vstupních dat a výkonný počítač pro vizualizaci živého trojrozměrného obrazu okolí systému. [28]

Na obrázku 20 je zobrazen princip funkčnosti LIDAR [28]

1. Laserová vlna pohybuje od vozidla ve všech směrech do okamžiku kontaktu s jakýmkoli objektem
2. Po kontaktu ozvěna vrátí k vozidlu
3. Vozidlo se systémem LIDAR přijímá signál a zpracovává ho
4. Systém LIDAR vypočítá vzdálenost objektu na základě doby pohybu vlny k objektu a od něho zpět k vozidlu



Obrázek 20: Princip funkce LIDAR [28]

6 Návrh využití technologie LIDAR v tunelové infrastruktuře



Obrázek 21: RSU LIDAR [29]

LIDAR je možné využít jako RSU, vzhledem k tomu, že stávající dopravní senzory neposkytují údaje o trajektorii, jsou 360stupňové senzory (LIDAR) vhodnou volbou, protože detekují okolní objekty s vysokou přesností. Mohou také fungovat v řadě světelných podmínek, ve dne i v noci. Jednotky systému LIDAR umožňují sbírat velké množství dat, která by pak mohla být využita pro vytvoření aktivních bezpečnostních systémů.[29]

6.1 Data sbíraná pomocí LIDAR

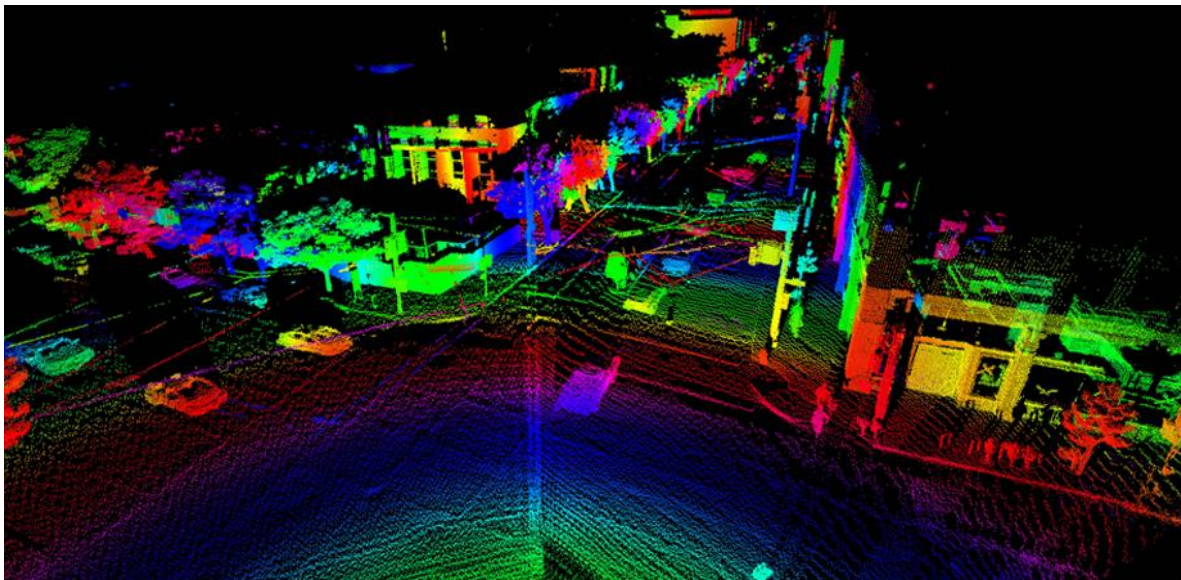
Současné dopravní senzory samostatně neposkytují správci dopravní infrastruktury úplnou představu o dopravním stavu na sledovaném úseku. Pomocí technologie LIDAR je možné

vytvořit 3D prostředí, pomocí něhož je možné sledovat dopravní situace v reálném čase, bez nutnosti předzpracování. LIDAR využívá od 8 do 128 laserových paprsků, které se pohybují od RSU k okolním objektům rychlostí světla. [29]

Pomocí této technologie je možné v reálném čase nasbírat velký počet různých typu dat: [29]

- Rychlost vozidla
- Přesná poloha vozidla
- Trajektorie vozidla
- Rozměr vozidla
- Hustota provozu
- Rozestup mezi vozidly

Protože pomocí LIDAR je možné vytvořit 3D prostředí v reálném čase, správce může zrychlit reakce při výskytu nouzové situace. Standardní kamerový dohled předává správci informace o provozu ve výhledu 2D obraz, LIDAR umožňuje sledovat dopravní situace bez slepých zón. Pomocí 3D prostředí je možné jasně a rychle detekovat nežádoucí předměty na vozovce, výskyt chodce na vozovce, havárie vozidel, požáry atd. Oproti standardnímu kamerovému dohledu LIDAR není ovlivněn počasím ani světlem. [29]



Obrázek 22: Ukázka 3D prostředí vytvořeného pomocí LIDAR [30]

6.2 Velodyne LIDAR software

Společnost Velodyne LIDAR poskytuje analytický software pro zpracování dat z RSU LIDAR. Vella Development Kit umožňuje provádět hlubokou analýzu dat, která může značně ovlivnit řízení provozu, zvýšit bezpečnost a pohodlí. [31]

Software Vella nabízí mnoho funkcí vhodných pro analýzu dat správcem: [31]

- Detekce a klasifikace pohybujících se objektů
- Záznamy o předkolizních situacích
- Analýza dat předchozích nehod a havárií
- Analýza dat o přejezdu na červenou/žlutou

Analyzační software Vella může prezentovat analyzovaná data s přesným časem ve výhledu: [31]

- Mapa s přesnou polohou interakce vozidlo-vozdlo/vozdlo-chodec
- Záznam 3D prostředí při výskytu nehody nebo předkolizní situace
- Graf

Pomocí těchto nástrojů má správce možnost vytvořit nové přístupy ke zvýšení bezpečnosti provozu, například analyzovat data předchozích havárií a díky tomu porozumět tomu, co vedlo ke kolizi a jakým způsobem by bylo možné jí uniknout.









Obrázek 23: Ukázka záznamu s 3D prostředí LIDAR [33]

6.3 Technické parametry

Dále budou představeny technické parametry řady LIDAR na příkladě nabídky společnosti Velodyne.

Nejatraktivnější volbou je LIDAR typu Alpha Prime. Oproti jiným má největší rozsah, počet laserů a provozní teplotu, může navázat připojení z rychlosti až 1000 Mbps. Na druhou stranu je velmi drahý, minimální cena je 320.000,- Kč. Jinou variantou je LIDAR typu HLD-32 nebo UltraPuck. UltraPuck má oproti HDL-32 vhodnější hodnoty provozní teploty, větší rozsah a má nižší spotřebu. Cenové vyhrává HDL-32, stojí 35.000,- Kč, oproti tomu UltraPuck stojí 50.000,- Kč. Nejlevnější variantou je výběr mezi LIDAR typu Puck, Puck-LTE a Puck Hi-Res, které mají podobné technické parametry, ale Puck LTE nabízí možnost využití LTE připojení, a má nejnižší hmotnost 590 g. Puck a Puck HI-Res mají hmotnost 830 g. Každý z představených LIDAR má zajištěnou ochranu před kapalinou IP67.

Senzor	HDL-32	Puck	Puck LTE	Puck Hi-Res	UltraPuck	Alpha Prime
						
Rozsah	až 100 m	100 m	100 m	100 m	200 m	až 300 m
Počet laserů	32	16	16	16	32	128
FOV horizontální	360°	360°	360°	360°	360°	360°
FOV vertikální	41,33°	30°	30°	20°	40°	40°
Obnovovací frekvence	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz	5-20 Hz
Spotřeba	12 W	8 W	8 W	8 W	10 W	23 W
Ethernet	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	100 Mbps	1000 Mbps
Provozní teplota	-10°C to +60°C	-10°C to +60°C	-10°C to +60°C	-10°C to +60°C	-20°C to +60°C	-20°C to +60°C

Tabulka 3 :Technické parametry LIDAR [32]

6.4 Návrh technického řešení

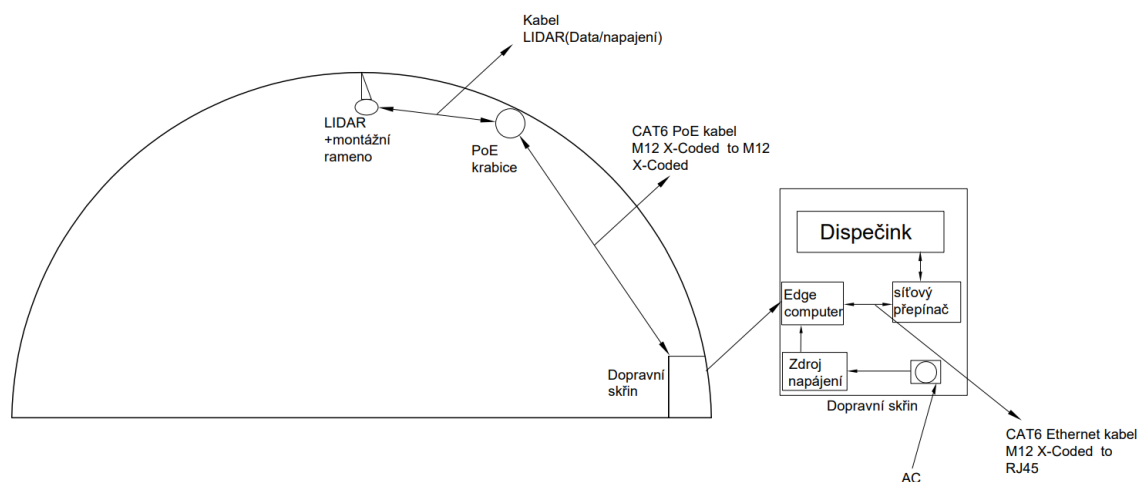
Dvě varianty umístění LIDAR:

- Na vjezdu a výjezdu z tunelu
- Uvnitř tunelu

V případě umístění na vjezdu a výjezdu je nutné nainstalovat minimálně dva LIDARY s rozsahem až 100 m.

V případě umístění uvnitř tunelu, pokud délka tunelu je 1000 m, je nutné nainstalovat minimálně tři LIDARY typu Alpha Prime s rozsahem až 300 m.

LIDAR je možné nainstalovat pod střechu tunelu pro zajištění největší oblasti pokrytí. Pro instalaci LIDAR pod střechu je nutné použít montážní rameno, které umožní využít 360° FOV LIDAR.



Obrázek 24: Ukázka návrhu technického řešení umístění LIDAR, vlastní zpracování [34]

Pro zajištění přenosu dat a napájení mezi LIDAR a PoE krabicí je možné použít standardní kabel připojení, který je představen spolu s LIDAR. Úkolem PoE krabice je zajistit napájení a přístup do sítě pomocí jednoho kabelu. Připojení mezi PoE krabicí a edge počítače je nutné zajistit pomocí CAT6 PoE kabel M12X to M12-X. Tento typ kabelu je dosti drahý, ale jeho hlavní výhodou je jeho přenosová rychlost, která zajišťuje připojení s rychlostí do 1GB/s, což je velmi důležité pro rychlé předání dat do ŘS tunelu. Předání informace od LIDAR do ŘS je zajištěno pomocí edge počítače a jeho úkoly jsou předzpracování dat a zrychlení procesu předání informace. Náklady na zakoupení edge počítače jsou vysoké, střední cena výkonného počítače je více než 35.000,- Kč, ale velkou výhodou je jeho výpočetní kapacita. Společnost OnLogic nabízí řadu edge počítačů,

jedním z nich je OnLogic Carbon 80, který je vybaven CPU 12 generace I9-12900E se standardní pracovní frekvencí 2,3-5.0 GHz a má 16 jader. 32 GB RAM umožní zpracovávat velký objem dat bez jakéhokoli zpoždění. Tento počítač nabízí velké množství portů, umožňujících připojit ethernet s rychlostí až 2.5Gb/s a také je možnost využít připojení 4G pomocí zabudované WI-FI. Je odolný k nízkým a vysokým teplotám, může fungovat v teplotním rozsahu od -40 °C až do +70°C. Cena takového počítače je více než 60.000,- Kč. Spojení mezi edge počítačem a síťovým prepínačem je zajištěno pomocí kabelu CAT6 ethernet M12 X-coded to RJ45, X-coded kabely mají vždy 8 pinů oproti A, B, C, D-coded kabelům. Využití síťového prepínače je nutné pro přeměrování dat z edge počítače do dispečinku nebo ŘS tunelu. Komunikace mezi edge počítačem a dispečinkem probíhá prostřednictvím TCP/IP. Pro napájení celého systému je nutné zajistit zdroj s parametry 12-48 V DC a 330 W.

6.5 Varianty využití LIDAR

- **Sběr a hluboká analýza dat**

LIDAR nabízí možnost sbírat a analyzovat velké množství dat různého typu. Pomocí vytvoření 3D prostředí přenáší data reálného světa do virtuálního, čímž umožňuje správci analyzovat situace na sledovaném úseku a dostávat přesné informace o účastnících provozu v reálném čase. Kromě toho, pomocí SW Vella, je možné provádět analýzu starších dat s důležitými událostmi, díky čemuž správce může najít kritický bod, v kterém se nejčastěji stávají nehody a provést změny v provozu.

- **Data pro řízení dopravy**

Operace s provozem: Díky datům z LIDAR správce může analyzovat provoz a změnit přístup k řízení dopravy. Má možnost například zvýšit rychlost, bezpečnost a pohodlí provozu a také může eliminovat kongesce.

Plánování provozu: Správce má možnost provádět plánování provozu díky datům představeným prostřednictvím LIDAR. Měl by proto rozumět tomu, jakým způsobem vést provoz a také by měl mít představu o modelu dopravy a určitých podmínkách a situacích, které mohou ovlivnit provoz.

Mobilita budoucnosti: LIDAR je důležitým komponentem v autonomních vozidlech. V dnešní době poskytovatelé autonomních vozidel provozují autonomní provoz vozidel díky mapám, které byly vytvořeny pomocí LIDAR a nainstalovány do palubního počítače vozidla. Instalace LIDAR v každém autonomním vozidle je velice nákladná. Využití LIDAR ve spojení s RSU by umožnilo

zlepšit provoz autonomních vozidel v tunelu. Díky komunikaci LIDAR – RS – OBU by bylo možné vytvořit konstantní výměnu informací mezi účastníky provozu a infrastrukturou, čímž by bylo umožněno předání důležitých bezpečnostních informací přímo řidiči.

- **Zvýšení efektivity a doby odezvy záchranných služeb**

Nehoda v tunelu je velmi nebezpečná situace, každá sekunda může stát někoho život. Díky 3D prostředí, které je možné sledovat v reálním čase, správce může okamžitě zjistit výskyt nouzové situace, kromě toho SW Vella má v sobě mnoho varovacích algoritmů, které by mohly v případě nouze zrychlit dobu odezvy na výskyt nouzové situace. Díky tomu, že LIDAR zná přesnou polohu vozidla, v jakém je stavu a co přesně se ve vozidle děje, by bylo možné vytvořit systém komunikace mezi ŘS tunelu a dispečinkem záchranných služeb, které by dostávaly informace o nehodách v rozsahu několika vteřin s přesnou informací o poloze nehody, čase a počtu ohrožených životů a také o charakteru nehody.

6.6 Zhodnocení návrhu

Využití systému LIDAR v tunelové infrastruktuře by mělo přinést hodně užitečných funkcí. LIDAR sbírá velké množství užitečných dat, která by mohla být využita pro plánování dopravy a k vytvoření modelu dopravy v tunelu a před tunelem. Také by tento systém mohl být přínosný pro zajištění plynulého provozu záchranných služeb v tunelovém úseku. SW, který je používán spolu s LIDAR, nabízí funkce analýzy a alarmování. Tento SW by při správném nastavení měl možnost splňovat velké množství požadavků správce. 3D prostředí které je nabízeno systémem LIDAR umožňuje správci komunikace kontrolovat situace v reálním čase, s časem by mohl celkově nebo částečně nahradit kamerový dohled, kvůli tomu že nezávisí na okolních podmínkách počasí a světla. Dále by byl atraktivním řešením pro zvýšení pohodlí a bezpečnosti pro autonomní vozidla, pomocí komunikace LIDAR-RSU by bylo možné předávat informace od ŘS přímo řidiči prostřednictvím palubního počítače ve vozidle. Ve spojení s jinými už existujícími systémy LIDAR by mohl velice silně ovlivnit provoz v tunelu, změnit to, jakým způsobem je vedena doprava a ukázat, kde jsou kritické a nebezpečné body.

7 Doporučení pro zvýšení bezpečnosti tunelové infrastruktury

Tunelové systémy jsou důležitou součástí dopravní sítě jakéhokoliv města, každý den je využívají desítky tisíc účastníků provozu, je velmi důležité zajistit bezpečnost, rychlost a pohodlí provozu. Tunely jsou jedním z nejvíce ohrožených úseků komunikace. V případě nehody uvnitř tunelu následky mohou být katastrofické. Využití velké řady různých bezpečnostních systémů může značně snížit šance na výskyt nehody a někdy i předejít jí. Technologické zařízení, kterým je vybaven tunel, má za úkol zabezpečit bezpečnost a plynulý provoz. Je nutné, aby byly vždy ve funkčním technickém stavu. Pro zajištění vysoké úrovně bezpečnosti správce tunelové infrastruktury by měl správně stanovit požadavky pro zajištění bezpečnosti, provádět analýzu bezpečnosti a taky najít rovnováhu mezi náklady a přínosy pro dosažení potřebné úrovně bezpečnosti.

7.1 Body doporučení

Dále budou představena určitá doporučení, která by mohla pomoci zvýšit bezpečnost, zajistit plynulost provozu a omezit šance na výskyt nehody nebo výpadku bezpečnostně kritických zařízení.

- **Pravidelná diagnostika zařízení**

Technologická zařízení v tunelu fungují v celodenním provozu, je nutné, aby vždy byla ve funkčním technickém stavu. Výpadek bezpečnostně kritických zařízení by mohl značně zvýšit šance na výskyt nehody. Správce tunelu by měl provádět pravidelné diagnostiky zařízení pro zabezpečení spolehlivosti jejich funkce. Je nutné také využít prognostické metody, díky kterým je možné předejít výpadku zařízení, provést nutné opravy nebo výměnu zařízení. Příklad využití – Zavedení seznamu pravidelných diagnostik, se sledováním stavu aktuálních technických stavů zařízení. Seznam s informacemi o stavech zařízení umožní personálu sledovat změny v stavech a okamžitě je v případě potřeby opravovat.

- **Trénink personálu**

Rychlá reakce správce na výskyt nehody je zásadním faktorem snížení následků havárie. Znalost kroků při výskytu nouzové situace může zachránit životy a zmenšit vliv nehody na infrastrukturu. Je nutné vypracovat postupy určující přesné kroky pro různé nouzové situace, které je nutné splnit v případě její výskytu. Provádění pravidelných tréninků zajistí spolehlivost personálu a připravenost personálu k výskytu nehody. Tréninky oborníků v oboru tunelové bezpečnosti by mohly jasně zlepšit znalosti personálu, prezentovat nové přístupy ke snížení vlivu nehody a také poukázat na chyby v jednotlivých případech. Příklad využití – provedení semináře, který má za úkol představit personálů nové trendy v rozvoji bezpečnosti, nebo prezentovat jakoukoliv jinou problematiku.

- **Využití simulátoru a modelu**

Pomocí simulátoru je možné vytvořit identický model tunelového systému. Využití simulátoru je nutné pro zvýšení spolehlivosti personálu a zajištění schopnosti personálu reagovat správnými ději v případě výskytu nouzové situace. V simulátorech je možné vytvořit scénář jakékoliv nouzové situace, výpadku bezpečnostně kritických zařízení, havárie, požáru. Při využití simulátorů a scénářů havarijních situací nejsou ohroženy životy, ani infrastruktura tunelu, díky tomu se personál může poučit z vlastních chyb a špatných řešení. Simulace by měly být nastaveny tak, aby personál měl vykonat určité kroky pro dosažení cíle, a to při omezené době pro řešení úkolů. Je nutné vytvořit bodové hodnocení podle toho, za jakou dobu byl splněn test a podle toho, kolik nutných kroků bylo splněno. Díky bodovému hodnocení je možné pochopit, kdo není připraven k vykonání svých úkolů v případě nouzové situace. Příklad využití – v simulátoru je vytvořen model určitého tunelu, s vytvořeným scénářem výskytu požáru, úkolem personálů je splnit určité kroky pro minimalizaci následků nehody, zabezpečit bezpečnost účastníků provozu, předat nutné informace IZS a splnit vše úkoly v intervalu požadované doby.

- **Analýza nehod**

Pomocí provedení analýzy nehod by bylo možné mít představu o tom, proč k té nehodě došlo, jaké činy vedly k nehodě a jakým způsobem by bylo možné uniknout výskytu nehody. Využití záznamu z kamerového dohledu umožní provedení analýzy. Pro zvýšení jakosti analýzy je možné využít systém LIDAR, který nabízí 3D prostředí se záznamy havarijních situací a také situací, kde se blížilo k nehodě. Díky analýze by bylo možné snížit šance výskytu nehody, pomocí změn v modelu provozu a eliminace bodů s nejčastějším výskytem havárie. Výskyt

požáru v tunelu je jedním z nejnebezpečnějších jevů, je možné provést analýzu vzniklých požárů v jiných tunelech pro vytvoření představy o tom, jakým způsobem je nutné postupovat v případě výskytu nehody takového typu. Příklad využití – provedení analýzy nehody pomocí záznamu z kamerového dohledu, pochopení, co vedlo k havárii, a jak by se jí dalo předejít, co je nutné udělat, aby se v budoucnosti této nehodě bylo možné vyhnout.

- **Zavedení nových bezpečnostních systému**

Jedním z nejdůležitějších úkolů správce tunelu je zabezpečení bezpečnosti a její zlepšení. V dnešní době na trhu technologií je nabízeno obrovské množství různých systémů, které by mohly ovlivnit bezpečnost provozu do určité míry. Pomocí zavedení nových systémů by bylo možné eliminovat existující bezpečnostní slabosti. Nové bezpečnostní systémy ve spojení se SCADA systémem by mohly zvýšit bezpečnost, pohodlí a rychlost provozu tunelu. S narůstajícím počtem bezpečnostních systémů SCADA systém by mohl stát plně automatickým a provoz v tunelu by byl řízen automatizovaně, s minimálním vlivem lidského faktoru. Příklady nových bezpečnostních systémů jsou prezentovány v kapitole 5, nejvýznamnějším je systém LIDAR.

- **Zabezpečení kyberbezpečnosti systému SCADA**

SCADA systém je ohrožen kybernetickými útoky, jeho bezpečnost je jeho slabou stranou. Pro správce infrastruktury je důležité zabezpečit jeho bezpečnost. Jakýkoliv útok na SCADA systém může vést ke katastrofickým následkům, dokonce kvůli útoku mohou být ohroženy životy účastníků provozu. V odstavci 5.1 byla představena určitá doporučení a kroky pro zvýšení bezpečnosti SCADA systému.

- **Analýza provozu**

Správce tunelu může využít různé přístupy k analýze stávajícího provozu, pomocí analýzy je možné vytvořit modely provozu, provést průzkumy pro zjištění nejlepšího modelu provozu. Je nutné, aby v tunelu byl zajištěn plynulý a rychlý provoz. Analýza by mohla ukázat to, kde by bylo nutné provést změny, omezit rychlost. Správné modelování provozu v tunelu by vedlo ke zvýšení rychlosti a pohodlí provozu. V odstavci 6.2 byl představen SW, který nabízí spolehlivé analyzační nástroje. Spolu s technologií LIDAR by to umožnilo provádět hlubokou analýzu provozu.

- **Systém zajišťující okamžité a rychle předání informace dispečinku záchranných služeb o nouzových stavech**

V situaci, kdy nastane havárie, požár nebo další událost, zásadními faktory omezení následků jsou rychlá reakce a dojezd IZS. Správce tunelu by měl zajistit systém konstantní komunikace s dispečinkem IZS pro umožnění co nejrychlejší reakce na nehodu. Bylo by nutné vytvořit systém alarmování, který by měl za úkol předávat přesné informace o nehodě, přímo k dispečerům IZS. V průběhu několika vteřin by dispečer IZS dostal informace o přesné poloze nehody, počtu ohrožených životů a charakteristice nehody. Také by bylo nutné vytvořit plán omezení provozu tunelu a zajištění možnosti rychlého dojezdu do místa nehody pro složky IZS. Příkladem pro toto doporučení by mohl být systém LIDAR, díky tomu, že ve spojení s SW Vella, nabízí alarmovací nástroj, který umožní předat složkám IZS informace o nehodě, počtu ohrožených životů, charakteru nehody, a to v rozsahu několika vteřin.

- **Sankční systémy**

Je nutné zajistit důsledné vymáhání pokut, řidič musí vědět, že narušení pravidel v tunelu může vést k vážným následkům. Nedbalé řízení v tunelu by bylo možné omezit pomocí vážného zvýšení pokut. Díky využití v tunelu kamerového dohledu je možné zajistit přesnou identifikaci vozidla a jeho řidiče, v případě opakujících narušení by měl řidič být omezen v možnosti řízení vozidla na určitou dobu. Vážné zvýšení pokut by mohlo zajistit odpovědnost řidiče, každý řidič by vždy měl ve hlavě myšlenku, že nedbalé řízení vede k seriózním trestům. Pokuty v řadě několika desítek tisíc by měly vytvořit psychický tlak na řidiče a díky tomu i zajistit jeho zodpovědnost. Příklad – revize existujících pokut a trestů, vážné zvýšení pokut za nedbale řízení, těsná spolupráce s Policií ČR pro správné vymáhání pokut, zajištění možnosti sledování provozu pro zmenšení doby reakce policie na výskyt nezodpovědného řidiče.

8 Závěr

Cílem této práce bylo představit možnosti SCADA systému, jeho funkce, výhody a přínosy pro tunelovou infrastrukturu, analyzovat jeho bezpečnost, zapojení subsystémů a jejich prvků. Práce byla vypracovaná podle základních zásad v zadání a podle rad a pokynů vedoucích práce.

V rámci kapitoly 1 byly představeny základní pojmy týkající se tunelu, jeho subsystémů a systému řízení dopravy a technologie tunelu. Dále byly představeny základní pojmy systému SCADA, jeho úkoly a principy komunikace mezi jednotlivými prvky systému. Také byly uvedeny základní pojmy v souvislosti s jednotlivými prvky důležitými pro zajištění funkčnosti SCADA systému. Pro jasnou představu o reálných SCADA systémech byly analyzovány a předány informace o řadě programů zabývajících se těmito systémy.

V kapitole 2 byly analyzovány možnosti využití SCADA pro tunelovou infrastrukturu. Byly představeny vhodné analytické funkce SCADA umožňující provádět hlubokou analýzu stavu zařízení v systému, sbírat data o poruchách a provádět analýzu využití prvků subsystémů, také byl uveden seznam subsystémů, které mohou být řízeny pomocí SCADA.

Hlavním úkolem při vypracování kapitoly 3 bylo analyzovat již vybudované tunely, využívající SCADA systém pro řízení a sběr dat. Kapitola 3 je určena k vysvětlení toho, jak v reálném světě funguje SCADA ve spojení s tunelovou infrastrukturou.

V kapitole 4 byly představeny základní pojmy týkající se diagnostiky a prognostiky a byly zde uvedeny popis a definice jednotlivých typů prognostik a diagnostik a principy jejich využití.

Kapitola 5 byla věnována návrhům nových systémů a bezpečnostním opatřením, která by bylo možné využít pro zvýšení bezpečnosti v tunelu. Pro každý uvedený systém byly představeny varianty jejich využití v tunelu a rovněž výhody a přínosy, které by mohly tyto systémy nabídnout pro tunelovou infrastrukturu.

V kapitole 6 byl představen návrh využití systému LIDAR pro tunelovou infrastrukturu. Byla provedena analýza možností tohoto systému, jeho fungování, a bylo uvedeno, jaká data sbírá. Byl proveden návrh technického řešení, byla představena schémata s jednotlivými prvky nutnými pro plnou funkčnost systému, byla nabídnuta potřebná zařízení pro zajištění systému. Dále byly představeny možné varianty využití systému LIDAR, přičemž každá nabízená varianta využití má určité výhody a přínosy pro tunelovou infrastrukturu.

SCADA je velmi přínosnou technologií, umožňující vzdálené řízení, sběr dat, monitorování a kontrolu situace v řízeném systému. Má slabost ve smyslu kyberbezpečnosti, ale díky přípravě personálu, jeho školení a vhodné autorizaci, je možné vyhnout se možným útokům a zabezpečit částečnou bezpečnost. Pro zlepšení bezpečnosti je nutně oddělit SCADA síť od vnějšího světa, omezit nežádoucí připojení, provádět pravidelné kontroly výskytu virů, nežádoucích programů a připojení. SCADA má za úkol snížit vliv lidského faktoru na řízení tunelu, zvýšit bezpečnost a pohodlí provozu.

Správci tunelové infrastruktury by měli pravidelně hledat a zhodnocovat varianty zavedení nových bezpečnostních systémů. Dnešní bezpečnost v tunelu je ještě velmi závislá na rychlosti reakce správce a rychlosti jeho zásahu do řešení havarijní situace. Je nutně analyzovat různé možnosti zavedení automatizovaných bezpečnostních systémů pro zmenšení vlivu lidského faktoru.

Pro správce je velmi důležité provádět pravidelné kontroly a diagnostiky zařízení, pro eliminaci možnosti výskytu poruch. V případě havárie, nehody, požáru tunel je velmi nebezpečným místem, správci by měli představit systém, který by mohl jasně zvýšit rychlost předání informace o nouzové situaci v tunelu záchranným službám. V případě nouzové situace každá sekunda může stát někomu život. Proto byl nabízen systém LIDAR, který umožňuje sbírat informace o nouzových stavech a nabízí informace o přesné poloze nehody a ohrožených účastnících. Pomocí předzpracování těchto informací systémem LIDAR by bylo možné nainstalovat systém komunikace se záchrannými službami, který by mohl zrychleně předávat přesné a nutné informace.

Návrh systému LIDAR byl proveden proto, že dnešní systémy sběru dat nenabízejí správci úplnou představu o provozu na sledované komunikaci. LIDAR vytváří 3D prostředí sledované komunikace a umožní správci vidět tam, kde CCTV kamery nemůžou. S růstem počtu autonomních vozidel na pozemních komunikacích by bylo nutně zajistit komunikaci mezi autonomními účastníky provozu a infrastrukturou, pro zajištění předání bezpečnostních informací. Díky komunikaci LIDAR-RSU-OBU je možné tuto komunikaci zajistit.

Možnosti využití systému SCADA jsou velmi široké, s rostoucím počtem napojených bezpečnostních systémů je možné vytvořit bezpečný a rychlý provoz v tunelu. Pro správce je důležité vždy analyzovat novinky na trhu bezpečnostních technologií. Ve spojení s velkým množstvím bezpečnostních systémů SCADA by bylo možné vytvořit v tunelu zónu bezpečného provozu řízeného počítačovým systémem. Časem jistě budou představeny nové bezpečnostní systémy, které by měly výrazně zvýšit bezpečnost dnešního systému SCADA.

9 ZDROJE

- [1] Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací. In: *Pjpk.cz* [online]. MD ČR, 2004 [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_98.pdf
- [2] Co je SCADA systém: architektura a jeho fungování. In: *Cs.jf-parede.pt* [online]. Hundeshagen Digital Media [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://cs.jf-parede.pt/what-is-scada-system>
- [3] MILLER, John. *What Is SCADA and How It Increases Efficiency* [online]. In: . 10.10. 2018 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://www.tiga.us/blog/what-is-scada-and-how-it-increases-efficiency>
- [4] *CO JE PLC NEBOLI PROGRAMOVATELNÝ LOGICKÝ AUTOMAT* [online]. In: . Kosmonosy: DREAMland, spol. s r.o. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://dreamland-plc.cz/plc-programovatelny-logicky-automat/>
- [5] *Kompaktní RTU* [online]. In: . Ostrava: ELVAC [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: <https://www.rtu.cz/domu/produkty/kompaktni-rtu>
- [6] HOTAŘ, Vlastimil. *Senzorika pro vizualizaci technologické scény: Základní principy zdrojového vidění, robot vision, bin-picking* [online]. In: . Liberec: TUL FS, 2019 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://elearning.tul.cz/mod/resource/view.php?id=200383>
- [7] BEDNÁŘ, Antonín. *Akční členy pohony* [online]. In: . 2016 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18499648-Akni-cleny-pohony-elektricke-motory-zakladni-vlastnosti-elektrickeho-motoru-jsou-urceny.html>
- [8] *CO JE OPC? OPC SERVER? OPC KLIENT?* [online]. In: . Liberec: FOXON, 7. SRPEN 2013 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://foxon.cz/blog/prakticka-teorie/159-co-je-opc-opc-server-opc-klient>
- [9] GEOVAP, SPOL. S R. O. *Reliance prehled* [online]. In: . [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.reliance-scada.com/cs/products/reliance4-scada-hmi-system#page=overview>
- [10] PANTEK. *Aveva InTouch HMI* [online]. In: . [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.pantek.cz/aveva-intouch-hmi/>
- [11] MICROSYS, SPOL. S R.O. *Co je PROMOTIC* [online]. In: . Ostrava [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.promotic.eu/cz/pmdoc/WhatIsPromotic/WhatIsPromotic.htm>
- [12] *Atvise® product portfolio* [online]. Eisenstadt: Bachmann Visutec [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.atvise.com/en/products/atvise-overview>

- [13] LOSHIN, Peter. *SCADA (supervisory control and data acquisition)* [online]. 2021 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.techtarget.com/whatis/definition/SCADA-supervisory-control-and-data-acquisition>
- [14] *MANUÁL SILNIČNÍCH TUNELŮ: PIARC* [online]. In: . 2019 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://tunnels.piarc.org/cs/provozni-bezpecnostni-doporuceni-zarizeni-systemy/scada>
- [15] *Životní cyklus technologií v tunelech pozemních komunikací* [online]. In: . MD ČR, 2013 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Veda-a-vyzkum/Certifikovane-metodiky/Silnicni-metodiky/Zivotni-cyklus-technologie-v-tunelech-pozemnich-ko/Zivotni-cyklus-technologie-v-tunelech-pozemnich-komunikaci.pdf.aspx>
- [16] DEML, Jakub. *Proč můžeme jezdit v tunelech jen 80 km/h? Důvod překvapí* [online]. In: . 21. 11. 2018 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/proc-muzeme-jezdit-v-tunelech-jen-80-km-h-duvod-prekvapi-21000549>
- [17] *Vizualizace a ovládání tunelu Valík, prvního dálničního tunelu v Česku* [online]. In: . GEOVAP, spol. s r. o [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.reliance-scada.com/cs/success-stories/transportation/visualization-and-control-of-the-valik-tunnel-the-first-highway-tunnel-in-the-czech-republic>
- [18] *No buses allowed to enter Dubai airport tunnel* [online]. In: . khaleejtimes, 2016 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.khaleejtimes.com/uae/no-buses-allowed-to-enter-dubai-airport-tunnel>
- [19] ABDUL SALAM, Ahmed O. *Automation and control of DIA transportation tunnel* [online]. IEEE, 2007, 2007, 1-7 [cit. 2022-05-11]. ISBN 978-1-4244-1281-5. Dostupné z: doi:10.1109/MED.2007.4433701
- [20] MEYER, Erich. *Traffic Jam in the Dubai Airport tunnel*, [online]. In: . [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.alamy.com/stock-photo-traffic-jam-in-the-dubai-airport-tunnel-103617796.html>
- [21] KRUPA, Miroslav. *Technická prognostika v kontextu prediktivní údržby* [online]. In: . Automa, 2012 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/9344.pdf
- [22] TICHÝ, Tomáš, Jiří BROŽ, Zuzana BĚLINOVÁ a Petr KOUBA. *Predictive diagnostics usage for telematic systems maintenance* [online]. In: . 2020 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9134051>

- [23] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky teorie a praxe* [online]. In: . Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <http://interdiago.vsb.cz/pl/book/MetodyTechnickeDiagnostiky.pdf>
- [24] *21 Steps to Improve Cyber Security of SCADA Networks* [online]. In: . Office of Energy Assurance U.S. Department of Energy [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: <https://www.oe.netl.doe.gov//docs/prepare/21stepsbooklet.pdf>
- [25] MAYER, Georg. *Potentials of integrating C2X communication into tunnel operations control technology* [online]. In: . Graz, 2018 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/337632299_POTENTIALS_OF_INTEGRATING_C2X_COMMUNICATION_INTO_TUNNEL_OPERATIONS_CONTROL_TECHNOLOGY
- [26] BROŽ, Jiří, Tomáš TICHÝ, Vangelis ANGELAKIS a Zuzana BĚLINOVÁ. Usage of V2X Applications in Road Tunnels. *Applied Sciences*. 2022, 2018, **12**(9). ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app12094624
- [27] JANKŮ, Michal a Josef STRYK. *Uplatnění termografie při diagnostice objektů dopravní infrastruktury* [online]. In: . MD ČR, 2018 [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Veda-a-vyzkum/Certifikovane-metodiky/Silnicni-metodiky/Methodika-Uplatneni-termografie-pri-diagnostice-ob/Methodika_Termografie.pdf.aspx
- [28] What Is Lidar & How Is It Making Self-Driving Cars Safer?. In: *Faraday Future* [online]. FF Team, 2016 [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: <https://www.ff.com/us/futuresight/what-is-lidar/>
- [29] *Roadside LIDAR helping to build smart and safe transportation infrastructure* [online]. 2021 [cit. 2022-07-12]. Dostupné z: https://velodynelidar.com/downloads/#new_roadside_lidar_for_smart_transportation_infrastructure
- [30] BURKHART, Ford. It's a 3D world: Sensing a bright future for lidar. In: *Spie.org* [online]. 31.03.2022 [cit. 2022-08-02]. Dostupné z: <https://spie.org/news/its-a-3d-world-sensing-a-bright-future-for-lidar-?SSO=1>
- [31] *Vella Development Kit* [online]. In: . [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://velodynelidar.com/products/vella/>
- [32] *Product comparison* [online]. In: . [cit. 2022-08-01]. Dostupné z: <https://velodynelidar.com/product-comparison/>

- [33] *Intelligent Infrastructure: Data-Driven Infrastructure* [online]. [cit. 2022-07-23]. Dostupné z: <https://velodynelidar.com/webinars/free-webinar-intelligent-infrastructure-data-driven-infrastructure>
- [34] *Why Intelligent Infrastructure? Why Now? Traffic Operations* [online]. In: . 05.2022 [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://velodynelidar.com/webinars/free-webinar-intelligent-infrastructure-traffic-operations/>

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Subsystemy tunelu, jejich vazby a začlenění tunelu do dopravního systému oblasti a útvary, vlastní zpracování z TP98 [1]
- Obrázek 2: Architektura SCADA sítě a základní úkoly prvků [3]
- Obrázek. 3: Náhled SW FAILURE s kontingenční tabulkou [15]
- Obrázek. 4 Vjezd do tunelu Valík [16]
- Obrázek. 5 Hlavní dispečink a videostěna [17]
- Obrázek. 6 Ukázka rozhraní pro řízení dopravy v SCADA Reliance 4 [17]
- Obrázek. 7 Ukázka rozhraní pro řízení ventilace v SCADA Reliance 4 [17]
- Obrázek. 8 Ukázka rozhraní spojovacího a dorozumívacího zařízení v SCADA Reliance 4 [17]
- Obrázek. 9 Vjezd do tunelu DIA [18]
- Obrázek. 10 Hlavní dispečink a videostěna [19]
- Obrázek. 11 Ukázka rozhraní pro řízení osvětlení v SCADA DIA [19]
- Obrázek. 12 Ukázka rozhraní pro řízení ventilace v SCADA DIA [19]
- Obrázek 13 Ukázka LUS LED značky pro řízení dopravy na vjezdu tunelu DIA [20]
- Obrázek 14: Průměrná doba životnosti tunelových systémů [15]
- Obrázek 15 Princip funkční diagnostiky [21]
- Obrázek 16 Princip testovací diagnostiky [21]
- Obrázek 17 Rozdělení prognostických metod v kontextu prediktivní diagnostiky [21]

Obrázek 18 Delaminace betonové vrstvy delaminované oblasti mají vyšší teplotu – červená barva v termogramu [27]

Obrázek 19: Termogram z měření v tunelu s viditelnými průsaky vody – modrá barva [27]

Obrázek 20: Princip funkce LIDAR [28]

Obrázek 21: RSU LIDAR [29]

Obrázek 22: Ukázka 3D prostředí vytvořeného pomocí LIDAR [30]

Obrázek 23: Ukázka záznamu s 3D prostředí LIDAR [33]

Obrázek 24: Ukázka návrhu technického řešení umístění LIDAR, vlastní zpracování [34]

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání SCADA programu

Tabulka 1: Matice události [15]

Tabulka 2: Technické parametry LIDAR [32]