



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta dopravní**

**Ústav Bezpečnostních technologií a inženýrství**

**Ocenění rizik při výpadku elektrické energie v metru**

**Risk Assessment at Failure of Electric Energy in Metro**

Diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Studijní obor: Bezpečnost dopravních prostředků a cest

Vedoucí práce: doc. RNDr. Danuše Procházková, DrSc.

**Bc. Jan Krákora**

---

**Praha 2015**



**K623 ..... Ústav bezpečnostních technologií a inženýrství**

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Jan Krákora**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – BD – Bezpečnost dopravních prostředků a cest**

Název tématu (česky): **Ocenění rizik při výpadku elektrické energie v metru**

Název tématu (anglicky): Risk Assessment at Failure of Electric Energy in Metro

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod
- Soubor poznatků o rizicích a jejich dopadech při selhání elektrické energie
- Data o pražském metru a jeho napájení elektrickou energií
- Metody zpracování dat založené na rizikovém inženýrství
- Dopady selhání elektrické energie a možné varianty řešení
- Návrh opatření pro zvládnutí kritické situace
- Závěr



Rozsah grafických prací: dle doporučení vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: D. Procházková: Krizové řízení pro technické obory. ISBN 978-80-01-05292-1. ČVUT, Praha 2013; Analýza a řízení rizik. ČVUT, Praha 2011, ISBN: 978-80-01-04841-2; Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury. ISBN 978-80-01-05245-7. ČVUT, Praha 2013, 223p.; : Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství. ČVUT, Praha 2011, ISBN: 978-80-01-04842-9, 369p.; Bezpečnost kritické infrastruktury. ČVUT, Praha 2012.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Danuše Procházková, DrSc.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2014**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2015**

- 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



doc. Ing. Václav Jirovský, CSc.

vedoucí

Ústavu bezpečnostních technologií a inženýrství

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Jan Krákora

jméno a podpis studenta

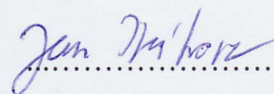
V Praze dne..... 31. května 2015

## **Deklarace**

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje 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, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).“

V Praze dne 23. 11. 2015



Bc. Jan Krákora

## Abstrakt

- **Autor:** Bc. Jan Krákora
- **Název diplomové práce:** Ocenění rizik při výpadku elektrické energie v metru
- **Škola:** České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní
- **Rok vydání:** 2015
- **Počet stran:** 75
- **Počet příloh:** 5

**Klíčová slova:** kritická infrastruktura, metro, elektrické napájení metra, bezpečí, bezpečnost, rizika, blackout

Cílem předložené diplomové práce je ocenění rizik vzniklých při výpadku elektrické energie v pražském metru. Předmětná práce ve svém úvodu definuje soubor poznatků o rizicích. Dále jsou uvedena data vztahující se k pražskému metru a jeho napájení elektrickou energií. Pomocí uvedených metod jsou analyzovány dopady selhání elektrické energie v pražském metru pro čtyři případy. Na závěr jsou navržena opatření pro zvýšení bezpečnosti metra.

## Abstract

- **Author:** Bc. Jan Krakora
- **Name of Diploma' Thesis:** Risk Assessment at Failure of Electric Energy in Metro
- **University:** Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation Sciences
- **Publication year:** 2015
- **Number of pages:** 75
- **Number of attachments:** 5

**Keywords:** critical infrastructure, metro system, metro train power supply, security, safety, risks, blackout

The goal of the presented Diploma' Thesis is the assessment of selected risks caused by electricity failure in the Praha metro system. In introduction to the Thesis it is a set of findings about risks. Further, there are data related to the Praha metro system and to its power supply. By help of methods presented in the Thesis are analyzed impacts of electricity failures in four different scenarios. At the end there are proposed measures for further improvement of safety.

## Poděkování

V první řadě bych rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce doc. RNDr. Danuši Procházkové, DrSc. za cenné rady, připomínky a vedení práce.

Dále bych rád poděkoval zaměstnancům Dopravního podniku hlavního města Prahy za poskytnutá data, rady, připomínky a především za ochotu diskutovat o problémech.

Na závěr bych rád poděkoval své rodině, která mi byla velkou oporou po celou dobu mého studia.

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Seznam zkratk.....   | 10 |
| Úvod .....   | 11 |
| 1. Soubor poznatků o riziku a jeho dopadech při selhání elektrické energie ..... | 12 |
| 1.1. Základní pojmy .....  | 12 |
| 1.2. Riziko.....   | 13 |
| 1.3. Dílčí, integrované, integrální a průřezové riziko .....                     | 14 |
| 1.4. Strategie řízení bezpečnosti .....  | 14 |
| 1.4.1. Pojmy integrální a integrovaná bezpečnost.....                            | 15 |
| 1.4.2. Řízení bezpečnosti.....   | 15 |
| 1.4.3. Fáze řízení bezpečnosti.....  | 15 |
| 1.4.4. Úrovně řízení bezpečnosti .....   | 17 |
| 1.5. Kritická infrastruktura.....  | 18 |
| 1.5.1. Selhání kritické infrastruktury .....                                     | 19 |
| 1.5.2. Selhání elektrické přenosové soustavy .....                               | 19 |
| 1.5.3. Možné příčiny selhání elektrické přenosové soustavy .....                 | 20 |
| 1.6. Metro jako systém.....  | 20 |
| 1.6.1. Systémy systémů .....   | 20 |
| 1.6.2. Metro jako technologický systém systémů.....                              | 20 |
| 1.6.3. Problematika bezpečnosti složitých technologických systémů.....           | 21 |
| 1.7. Fyzika spojená s provozem metra.....  | 22 |
| 1.7.1. Dynamika pohybu soupravy metra.....                                       | 23 |
| 1.7.2. Magnetizační proudy .....   | 24 |
| 2. Data o pražském metru a jeho napájení elektrickou energií .....               | 25 |
| 2.1. Obecný popis pražského metra .....  | 25 |
| 2.2. Provozní režimy pražského metra.....  | 25 |
| 2.3. Energetická soustava pražského metra .....                                  | 26 |
| 2.3.1. Rozvodny elektrické energie PRE.....                                      | 26 |
| 2.3.2. Elektrická vedení vysokého napětí .....                                   | 27 |
| 2.3.3. Elektrické stanice.....   | 27 |
| 2.4. Systémy v pražském metru závislé na elektrické energii .....                | 30 |
| 2.4.1. Systém osvětlení .....  | 30 |
| 2.4.2. Vzduchotechnická zařízení.....  | 31 |



|        |  |    |
|--------|--|----|
| 2.4.3. | Sdělovací zařízení.....  | 31 |
| 2.4.4. | Zabezpečovací zařízení.....  | 33 |
| 2.4.5. | Strojní zařízení.....  | 36 |
| 2.5.   | Soupravy metra .....   | 36 |
| 2.5.1. | Souprava 81–71M .....  | 36 |
| 2.5.2. | Souprava M1 .....  | 37 |
| 2.5.3. | Technické parametry souprav 81-71M a M1 .....                              | 38 |
| 2.5.4. | Brzdné soustavy souprav metra.....   | 40 |
| 2.6.   | Dispečerská stanoviště .....   | 42 |
| 2.6.1. | Elektrodispečink .....   | 42 |
| 2.6.2. | Vlakový dispečink .....  | 43 |
| 2.7.   | Vybrané systémy režimu OSM.....  | 45 |
| 3.     | Metody zpracování dat .....  | 46 |
| 4.     | Dopady selhání elektrické energie .....                                    | 51 |
| 4.1.   | Vymezení řešeného problému .....   | 51 |
| 4.2.   | Předmět výzkumu .....  | 51 |
| 4.3.   | Výpadky rozvoden PRE a jejich přímý vliv na provoz pražského metra.....    | 52 |
| 4.4.   | Dopady selhání elektrické energie - čtyři případové studie.....            | 55 |
| 4.4.1. | Případová studie 1 .....   | 55 |
| 4.4.2. | Případová studie 2 .....   | 58 |
| 4.4.3. | Případová studie 3 .....   | 63 |
| 4.4.4. | Případová studie 4 .....   | 68 |
| 4.5.   | Zjištěné nedostatky .....  | 70 |
| 4.6.   | Výsledky porovnání shody normativu a skutečného technického provedení..... | 72 |
| 5.     | Návrh opatření pro zvládnutí kritické situace .....                        | 74 |
|        | Závěr.....   | 75 |
|        | Seznam literatury a zdroje .....   | 76 |
|        | Seznam tabulek.....  | 78 |
|        | Seznam obrázků.....  | 78 |

## Seznam zkratek

|        |   |
|--------|---|
| ASDŘ   | automatický systém dopravního řízení                          |
| ASDŘ-D | automatický systém dopravního řízení pro vlakový dispečink    |
| ASDŘ-E | automatický systém dopravního řízení pro elektrodispečink     |
| AVV    | automatické vedení vlaku                                      |
| DSM    | dopravní systém metra   |
| DT     | distribuční transformovna                                     |
| EPS    | elektrická požární signalizace                                |
| GVD    | grafikon vlakové dopravy                                      |
| HZS    | hasičský záchranný sbor                                       |
| IČV    | identifikační číslo vlaku                                     |
| IZS    | integrovaný záchranný systém                                  |
| JPO    | jednotky požární ochrany                                      |
| KI     | kritická infrastruktura                                       |
| MDT    | měnič a distribuční transformovna                             |
| OSM    | ochranný systém metra   |
| PRE    | Pražská energetika, a.s.                                      |
| SEČ    | středoevropský čas  |
| SoS    | systém systémů  |
| SR     | staniční rozhlas  |
| SZZ    | staniční zabezpečovací zařízení                               |
| UPS    | Uninterruptible Power Supply (zdroj nepřerušovaného napájení) |
| VKV    | velmi krátké vlny   |
| VZZ    | vlaková zabezpečovací zařízení                                |

## Úvod

Cílem lidské společnosti je žít v bezpečí s možností dalšího rozvoje. K tomu jsou potřeba veřejná aktiva [1], mezi která patří i kritická infrastruktura. Důležitou kritickou infrastrukturou, zajišťující dodávky elektrické energie z míst výroby do míst její spotřeby, je energetická infrastruktura. Další důležitou kritickou infrastrukturou, zajišťující přepravu lidí nebo zboží, je dopravní infrastruktura.

Dopravní i energetická infrastruktura jsou vzájemně propojené, a tudíž i vzájemně závislé. Příkladem předmětné závislosti je pražské metro, které by bez dodávek elektrické energie nebylo schopno provozu. Předmětem práce je sledování prvku dopravní infrastruktury, kterým je pražské metro, při výpadku elektrické energie.

Cílem práce je ocenění rizik, která vzniknou v pražském metru při výpadku elektrické energie. Předložená práce je psána jako veřejná, a proto respektuje zajištění bezpečnosti pražského metra.

Sestavení diplomové práce vychází z metodiky řešení problémů, tj. kromě úvodu, závěru a seznamu literatury obsahuje charakteristiku vybraného problému, koncept jeho řešení, data o problému, metody použité pro řešení problému, výsledky řešení a návrhy opatření na zajištění bezpečí lidí v pražském metru i okolí při výpadku elektrické energie.

# **1. Soubor poznatků o riziku a jeho dopadech při selhání elektrické energie**

Kapitola ve svém úvodu definuje základní pojmy spojené s rizikovým inženýrstvím. Poté je uvedena obecná definice rizika a definice rizika dílčího, integrovaného, integrálního a průřezového. V dalším odstavci jsou vysvětleny pojmy spadající pod strategické řízení bezpečnosti. V následujícím odstavci je definována kritická infrastruktura a možnosti jejího selhání. Další odstavec je věnován metru a jeho definici z hlediska systémového inženýrství. V posledním odstavci jsou zmíněny vybrané fyzikální zákonitosti spojené s provozem metra.

## **1.1. Základní pojmy**

V úvodním odstavci jsou definovány pojmy: bezpečí, bezpečnost, nebezpečí, nebezpečnost, pohroma, nouzová situace, kritická situace, chráněná aktiva a přístup All Hazard Approach.

### ***Bezpečí***

Bezpečí je stav lidského systému, při kterém vznik újmy na chráněných zájmech má přijatelnou pravděpodobnost [1].

### ***Bezpečnost***

Bezpečnost je soubor opatření a činností k zajištění bezpečí a udržitelného rozvoje lidského systému [1].

### ***Nebezpečí***

Nebezpečí je stav lidského systému, při kterém vznik újmy na chráněných zájmech má vysokou pravděpodobnost [1].

### ***Nebezpečnost***

Nebezpečnost je soubor vlastností a charakteristik prvků, látek, pohrom, procesů a činností, které na chráněných zájmech působí nebo za jistých podmínek mohou způsobit újmu (zdroj zranění, škod a ztrát) [1].

### ***Pohroma***

Pohroma je jev, který vede nebo může vést ke značné škodě (nepřijatelnému dopadu) na chráněných zájmech [1].

### ***Nouzová situace***

Nouzová situace je situace, kterou v území či objektu vyvolá vznik pohromy. V české legislativě se pro některé nouzové situace používá označení mimořádná událost, kalamita, selhání apod. [1].

### ***Kritická situace***

Je situace, při které je vyhlášen krizový stav (stav nebezpečí, nouzový stav, stav ohrožení státu, válečný stav) k tomu, aby po odezvě bylo možno též aplikovat nadstandardní opatření, zdroje, síly a prostředky [1].

### ***Chráněná aktiva***

Jsou komponenty, vazby a toky v lidském systému, které jsou nutné pro jeho bezpečí a udržitelný rozvoj. Jsou prioritně ochraňovány a zahrnují životy, zdraví a bezpečí lidí, majetek, životní prostředí, veřejné blaho, technologie a infrastrukturu [1].

### ***All Hazard Approach***

Princip označuje způsob, ve kterém při řízení entity se berou v úvahu všechny možné pohromy, které mohou danou lokalitu postihnout [1].

## **1.2. Riziko**

Definice pojmu riziko je v současné odborné praxi v České republice velice rozdílná. Některé definice rizika staví na pravděpodobnosti výskytu, některé na očekávané hodnotě a jiné na neurčitosti a nejistotě. Některé definice chápou riziko subjektivně a epistemicky v závislosti na míře znalostí, kdežto jiné definice definují riziko jako ontologickou entitu nezávislou na hodnotiteli rizika. Riziko není událost, pravděpodobnost, fyzický objekt ani fyzikální jev. Podle práce [2] riziko neexistuje samo o sobě, je vždy vyjádřením vztahu mezi dvěma a více veličinami jako jsou: četnost, aktiva, hrozba, zranitelnost, závažnost, dopady, důsledky, kapacity, protipatření, závažnost, a možnost výskytu [2]:

- $R = \text{četnost} * \text{důsledky}$ ,
- $R = \text{závažnost} * \text{možnost výskytu}$ ,
- $R = \text{ohrožení (hrozba)} * \text{zranitelnost}$ ,
- $R = \text{ohrožení (hrozba)} * \text{zranitelnost} * \text{dopady}$ ,
- $R = \text{ohrožení (hrozba)} * \text{zranitelnost} / \text{kapacity}$ ,
- $R = (\text{ohrožení (hrozba)} * \text{zranitelnost}) / \text{protipatření} * \text{dopady}$ ,

- $R = f(\text{ohrožení (hrozba)} * \text{zranitelnost} / \text{kapacity}),$
- $R = f(\text{aktiva (chráněný systém)} * \text{ohrožení (hrozba)} * \text{zranitelnost}),$
- $R = \text{četnost} * \text{populace} * \text{zranitelnost}.$

V chápání rizika pozorujeme mnoho rozdílů a společné je jen to, že riziko vychází z obav z nejisté budoucnosti. Souhrnně lze říci, že riziko určuje **možné nebezpečí** (tj. možný stav, ve kterém dochází ke vzniku újmy, ztrát a škod) pro aktiva (chráněné zájmy) a důraz je na slovo „možné“. Kdežto blízký výraz „nebezpečí“, se kterým se pojem riziko nejčastěji plete, označuje jistou aktuální újmu na chráněné zájmy [2].

### 1.3. Dílčí, integrované, integrální a průřezové riziko

Rizika lze kategorizovat dle způsobu chápání chráněných aktiv (tj. chráněných zájmů). Podle [2] **riziko dílčí** sleduje pouze jeden chráněný zájem. **Riziko integrované** sleduje soubor chráněných zájmů a určuje se jako součet dílčích rizik pro dané chráněné zájmy. **Riziko integrální** sleduje nejen soubor chráněných zájmů, ale také vazby a toky mezi nimi.

V oblasti systému systémů (tj. soubor vzájemně propojených systémů) se kromě rizik spojených s prvky, vazbami a toky systémů vyskytují také rizika, která jsou spojena s vazbami napříč systémy. Uvedená rizika se nazývají **průřezová** a významně ovlivňují chování předmětné entity. Jejich projevy jsou právě zdroji selhání infrastruktur [2].

### 1.4. Strategie řízení bezpečnosti

Podstatou strategického řízení bezpečnosti je princip sledování celého komplexu chráněných zájmů v systémovém pojetí řízení. Komplexem veřejných chráněných zájmů rozumíme životy, zdraví a bezpečí lidí, majetek, veřejné blaho, životní prostředí, infrastruktury, technologie apod. Při zahrnutí vlastníků a provozovatelů technologií a infrastruktury též jejich zájmy. Systémové pojetí řízení obsahuje s ohledem na pohromy prevenci, připravenost, odezvu a obnovu.

Strategické řízení bezpečnosti je založeno na zkušenostech z minulosti a je zacíleno na dlouhodobou udržitelnost. Cílem strategického řízení bezpečnosti je systémová integrita, člověk je zde chápán jako součást systému a lidská činnost spolu s ochranou životního prostředí je do ní propojena [3].

#### **1.4.1. Pojmy integrální a integrovaná bezpečnost**

Integrální bezpečnost je možné definovat jako koncept, který se opírá o vzájemnou provázanost problematiky bezpečnosti mezi jednotlivými subjekty, systémy, aktivy apod. Integrální bezpečnost v sobě implementuje systémové znalosti i zkušenosti s řízením průřezových rizik. Oproti tomu integrovanou bezpečnost definujeme jako koncept, který je vztažený k různým typům prostředí. Chybí zde systémový koncept, uvažující nejen jednotlivá rizika, ale jejich vzájemnou provázanost [2].

#### **1.4.2. Řízení bezpečnosti**

V úvodu podkapitoly řízení bezpečnosti je třeba zmínit dva důležité pojmy bezpečí a bezpečnost, které mají podobné znění, ale jejich význam je odlišný. Pojem bezpečí (Security) je stav, při kterém je malá pravděpodobnost vzniku újmy na chráněných zájmech. Pojem bezpečnost (Safety) je soubor opatření a činností, kterými člověk zajišťuje bezpečí a rozvoj chráněných zájmů.

Ve výzkumu i praxi tedy od sebe odlišujeme dvě položky, a to stav lidského systému a soubor opatření a činností, kterými člověk přispívá ke změně stavu lidského systému. Člověk není schopen lidský systém ovládat, protože je jeho inherentní součástí. Neovládá bezpečí lidského systému, ale *řídí jeho bezpečnost*, když cíleně používá znalosti a zkušenosti. Tedy soubor opatření a činností zaměřených na ochranu chráněných zájmů [3].

#### **1.4.3. Fáze řízení bezpečnosti**

Strategické řízení bezpečnosti v sobě implementuje čtyři základní fáze, a to prevenci, připravenost, odezvu na vzniklé nečekané události a obnovu po nouzové situaci. Prevence a obnova se soustřeďují na zajištění odolnosti vůči pohromám. Připravenost a odezva se naopak soustřeďují na zvládnutí vzniklých nouzových situací. V rámci pro-aktivního přístupu se provádí prevence a buduje se odolnost vůči pohromám, u kterých je potřeba umět zvládnout a provést kvalifikovanou obnovu. Pro-aktivní přístup je mimo jiné také založen na poznacích z praxe, výzkumu a poučení z minulých pohrom. V lidském systému nelze zajistit 100% bezpečnost, nicméně postupem času, získáváním znalostí, zkušeností, kvalifikovaných dat, lze bezpečnost stále a stále zdokonalovat. Pohromám se může do jisté míry předcházet, či alespoň zmírnit jejich dopady na lidi a prostředí, ve kterém žijí.

Fáze řízení bezpečnosti se cyklicky opakují na vyšším a vyšším stupni poznání. Níže jsou rozepsány jednotlivé fáze řízení [4].

### ***Prevence***

Prevenčí se rozumí soubor opatření a činností sloužících k předcházení pohromám nebo alespoň některým dopadům pohrom. Cílem prevence je zmírnění dopadů pohrom na chráněná aktiva, tedy především ochrana životů a zdraví lidí, prostředí, infrastruktur atd. Preventivní opatření lze rozdělit na technická, organizační, finanční a výchovná. Technická opatření jsou určována technickými normami a standardy. Jsou prováděna např. v bezpečnostním plánování, územním plánování, při umisťování, navrhování, projektování, výstavbě, provozování objektů, technologií a infrastruktur mnoha druhů. Organizační, finanční a výchovná se provádí především v bezpečnostním plánování ve všech sektorech, které jsou sledovány v rámci bezpečí a udržitelného rozvoje lidí [4].

### ***Připravenost***

Pojem připravenost představuje sběr, ověření a vyhodnocení dat o pohromách. Získaná a verifikovaná data se dále využívají pro zpracování scénářů možných dopadů pohrom na chráněné zájmy a stanovení protioopatření na zmírnění dopadů, když se pohroma vyskytne. Nezbytnou součástí připravenosti je také výcvik složek, zaměstnanců a občanů pro provádění odezvy, výstavba zálohovacích systémů, příprava ochrany lidí prostřednictvím úkrytů, objektů pro evakuování, dopravy pro provedení evakuace [4].

### ***Odezva***

Odezva je soubor opatření a činností, které jsou určeny na zvládnutí dopadů pohrom. Z důvodu hospodárnosti se požaduje, aby zvládnutí dopadů pohrom proběhlo s přiměřenými ztrátami a přiměřenými zdroji. V České republice je pro zvládnutí vybraných nouzových situací, spadajících pod pojem mimořádné události, vytvořen Integrovaný záchranný systém (IZS), který tvoří zdravotnická záchranná služba (ZZS), policie České republiky (PČR), hasičský záchranný sbor (HZS), jednotky požární ochrany (JPO), zajišťující plošné pokrytí území. Tyto složky jsou v neustálé pohotovosti. Ostatní složky IZS (např. vyčleněné síly a prostředky ozbrojených sil, ostatní záchranné sbory, atd.) jsou zapojeny do plánované pomoci na vyžádání velitele zásahu. Pro jiné nouzové situace, jako je předlužení obce, selhání veřejné správy, selhání dodávek apod. jsou určeny další systémy krizového řízení. Kvalifikovaný a efektivně provedený proces odezvy je zárukou nízkého počtu obětí. V technologických objektech a infrastrukturách jsou pochopitelně vlastní systémy odezvy, které jsou jistým způsobem propojené s IZS [4].



## **Obnova**

Obnova území, technologie či infrastruktury je zajištění návratu systému do stabilizovaného stavu a nastartování dalšího rozvoje v rozumném čase a za přijatelných nákladů. Každá časová prodleva, která vznikne během působení pohromy, prohlubuje a zhoršuje celkové dopady pohromy. Plány obnovy proto musejí být zpracovávány předem. Obnova je dlouhodobý proces, který musí být kvalifikovaně řízen. Nelze ji chápat jako prostou obnovu poškozeného majetku a rozvrácených funkcí. Je ji třeba zpracovávat podle takového scénáře, aby byly dopady stejně silné pohromy v daném území či objektu v budoucnu menší [4].

### **1.4.4. Úrovně řízení bezpečnosti**

Úrovně řízení bezpečnosti jsou odlišeny dle charakteru situace, ve které se území, stát či jiný objekt nachází.

První z nich je řízení normální situace. Při ní se nevyskytuje žádná pohroma s dopady způsobujícími významné škody, ztráty a újmy na chráněných zájmech. Pokud pohroma nastane, řízení dopadů je úspěšně řešitelné (např. výpadek jedné rozvodny elektrické energie sloužící k napájení metra).

Druhou je řízení nouzové situace. Dopady pohrom jsou zde v některých případech nepřijatelné, a proto jsou na jejich zvládnutí připraveny speciální plány a speciální výkonné složky (např. požár eskalátoru ve stanici metra).

Třetí je řízení kritické situace. Dopady pohrom jsou nepřijatelné a ohrožují zdraví a životy lidí. Na jejich zvládnutí jsou připraveny speciální plány a speciální složky (např. zatopení stanic metra během povodní).

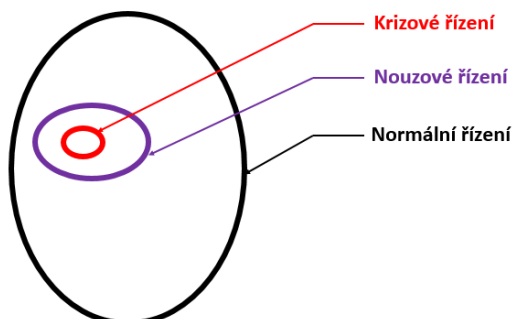
Systém řízení věcí veřejných, který je zakotvený v České republice ústavou a zákony a jehož cílem je bezpečí a udržitelný rozvoj občanů i státu, stanovuje tři úrovně řízení [3].

**Normální úroveň řízení** – zajišťuje bezpečí a rozvoj základních chráněných zájmů a ostatních zájmů státu (památky, kultura, veřejná místa, atd.)

**Nouzové řízení** – zajišťuje ochranu základních chráněných zájmů tím, že zajišťuje zvládnutí dopadů pohromy, stabilizaci situace a rozvoj pomocí standardních zdrojů a prostředků.

**Krizové řízení** – zajišťuje záchranu životů a zdraví lidí tím, že provádí zvládnutí dopadů pohrom, stabilizaci situací, nastartování rozvoje pomocí standardních i nestandardních zdrojů, sil a prostředků.

Obrázek 1 znázorňuje vzájemnou provázanost jednotlivých systémů řízení. Koordinující roli v systému řízení věcí veřejných v České republice má vláda a jí řízená státní správa či územní samospráva [3].



Obrázek 1 - Provázané systémy řízení [3]

## 1.5. Kritická infrastruktura

Před vysvětlením pojmu kritická infrastruktura (dále jen KI) zde bude nejprve definován pojem infrastruktura z obecného hlediska. Infrastrukturu lze definovat jako strukturální prvky systému a množinu položek propojujících strukturální prvky systému, které udržují celou strukturu (systém) pohromadě. V českém prostředí je pojem infrastruktury definován stavebním zákonem (zákon č. 183/2006 Sb.) takto: „veřejnou infrastrukturou jsou pozemky, stavby, zařízení, a to:

- dopravní infrastruktura (stavby pozemních komunikací, drah, vodních cest, letišť apod.)
- technická infrastruktura (vodovody, kanalizace, energetické vedení, komunikační sítě apod.)
- občanské vybavení (zdravotní služby, veřejnou správu apod.)
- veřejné prostranství užívané ve veřejném zájmu

Definice kritické infrastruktury je stanovena ministerstvem vnitra České Republiky. Jedná se o výrobní a nevýrobní systémy a služby, jejichž nefunkčnost by měla závažný dopad na bezpečnost státu, ekonomiku, veřejnou správu a zabezpečení základních životních potřeb obyvatelstva. Ze společenského hlediska se kritickou infrastrukturou rozumí vzájemně propojené sítě či systémy poskytující spolehlivý tok produktů a služeb. Bezpečnost kritické infrastruktury závisí na procesech, dějích a jevech, které v kritické infrastruktuře a jejím okolí probíhají [2].

### **1.5.1. Selhání kritické infrastruktury**

Z analýzy zdroje [2] vyplývá, že dopady selhání prvků kritické infrastruktury jsou jak okamžité, tak mající jistou dobu trvání. Z inženýrské praxe vyplývá, že čím déle trvá nouzová situace, tím jsou její dopady na aktiva krutější. To je zapříčiněno vznikem nejen primárních dopadů, ale i dopadů sekundárních, terciálních, atd. Pro zajištění bezpečnosti KI je nutné zvažovat čas a snažit se, aby doba trvání nouzové situace byla co nejkratší. Ze zdroje [2] vyplývá, že rozhodujícími faktory pro posouzení závažnosti selhání KI jsou: množství lidí postižených ztrátou nebo nedostupností služeb, které zajišťuje KI, výše ekonomických ztrát, výše nákladů na přežití lidí, pravděpodobnost výskytu kaskádovitých selhání v KI a velikost nákladů na obnovu.

### **1.5.2. Selhání elektrické přenosové soustavy**

Elektrická přenosová soustava je systém zařízení zajišťující přenos elektrické energie od výrobců k odběratelům (spotřebitelům). Výroba i spotřeba elektrické energie musí být v každém okamžiku vyvážená, jelikož v současné době a za využití stávajících technologií, nedokáže lidstvo elektrickou energii efektivně skladovat. Výkyvy ve výrobě či odběru mohou mít za následek nestabilitu elektrické přenosové soustavy a její výpadky. Obecně lze výpadky kategorizovat dle dvou parametrů: času (tj. doby, po kterou trvají) a prostoru (tj. oblasti, kterou zasáhnou) [5].

Pro účely diplomové práce jsou výpadky elektrické přenosové soustavy rozděleny do následujících kategorií: přechodné poruchy, abnormální výkyvy napětí a výpadky elektrické energie (blackout).

***Přechodné poruchy (transient fault)*** - jsou poruchy projevující se v elektrické přenosové soustavě krátkodobou ztrátou elektrické energie trvající obvykle v řádu několik sekund.

***Abnormální výkyvy napětí*** - jsou poruchy projevující se dočasným poklesem napětí v energetické přenosové soustavě. Poruchy trvají obvykle několik minut.

***Blackout („zatemnění“)*** - jsou poruchy patřící k nejzávažnějším poruchám v elektrických přenosových soustavách. Doba trvání mohou mít v řádech minut, ale i hodin, dnů či týdnů. Mohou v případě výskytu ochromit území města, ale i několik států.

### **1.5.3. Možné příčiny selhání elektrické přenosové soustavy**

Na základě analýzy publikací a dokumentů [5,6], zabývajících se výpadky elektrické přenosové soustavy, lze kategorizovat příčiny selhání: kosmické vlivy, přírodní vlivy, nerovnováha mezi výrobou a odběrem elektrické energie, technické poruchy, lidský faktor a teroristické útoky.

Dle dokumentu [6] jsou v příloze 1 graficky znázorněny výpadky blackout ve světě. Z přílohy 1 vyplývá, že významnými výpadky elektrické energie jsou postihovány všechny vyspělé země světa.

## **1.6. Metro jako systém**

Systém lze volně definovat jako obraz objektu reálného světa. Má svoji statickou strukturu, která je tvořena množinou prvků, vazeb a toků mezi prvky. Systém vykazuje určité dynamické vlastnosti, jež jsou určeny charakterem jeho chování v čase a prostoru. Chování systému a jeho celková funkčnost je výsledkem vzájemného působení všech dílčích systémů [2].

### **1.6.1. Systémy systémů**

Systém systémů (SoS – System of Systems) je systém, který se skládá z několika systémů různé povahy a různého umístění. Předmětné systémy jsou vzájemně provázány za účelem zajištění jistých operací a činností. Příkladem SoS jsou například: lidské tělo, životní prostředí, kritická infrastruktura apod. Vzájemná provázanost systémů způsobuje jejich závislost. Bezpečnost SoS není agregací bezpečnosti dílčích systémů, protože je potřeba respektovat *průřezová rizika* způsobená vazbami a toky napříč celým SoS. Z toho vyplývá, že bezpečnost SoS musí být charakteru integrálního, nikoli integrovaného [2].

### **1.6.2. Metro jako technologický systém systémů**

Technologické systémy jsou otevřené systémy systémů, které plní určité funkce za podmínek interoperability (vzájemné součinnosti všech systémů). Propojení mezi provázanými systémy vedou k existenci vzájemných závislostí, které musí být zohledněny při všech fázích řízení bezpečnosti technologických systémů. Cílem řízení technologických systémů je zajistit bezpečí za podmínek normálních, abnormálních a kritických. Metro zcela jistě nelze chápat jako pouhou množinu technických zařízení. Jde o systém systémů, tj.

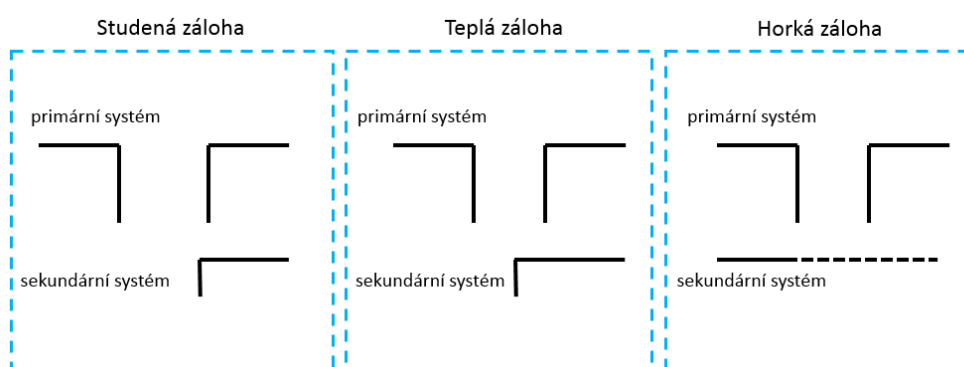
system velkého množství vzájemně propojených složitých systémů. Metro je také odrazem organizační struktury, managementu, provozních předpisů. Každý technologický systém v sobě implementuje technické prostředky, technické postupy, člověka, znalosti a dovednosti. Modelem je systém systémů. Vazby v systému metra jsou povahy technické „stroj-stroj“, povahy smíšené „člověk-stroj“ a s rozvojem počítačů také povahy „stroj-počítač“ a „člověk-počítač“.

### 1.6.3. Problematika bezpečnosti složitých technologických systémů

Z důvodu existence závislostí dochází při selhání technologických systémů ke kaskádovým jevům, které jsou z hlediska bezpečnosti, cílů systémů samotných i jejich vlastníků a provozovatelů, nežádoucí. Příkladem existence závislosti je bezesporu výpadek elektrické energie, který postihne veškeré části systému (metra), které jsou na ní závislé. Obrana proti vzniku nežádoucích jevů spočívá v provádění opatření a činnostech, které zabrání vzniku těchto jevů. Pokud přesto vzniknou, tak zabrání vhodnými opatřeními a činnostmi v jejich šíření [2].

Pro zajištění bezpečnosti složitých technologických systémů se často využívá systému záloh. Zálohu lze obecně definovat jako pružnou odolnost, kterou technologický systém využívá pro zajištění svých funkcí i v případě vzniku mimořádných událostí uvnitř i vně systému.

Z pohledu systémového inženýrství jsou na obrázku 2 rozděleny zálohy na studenou zálohu, teplou zálohu a horkou zálohu.



Obrázek 2 - Systémy záloh [7]

**Studená záloha** – druhý záložní systém je postupně připraven a spuštěn až když dojde k výpadku systému primárního. Používá se v případech, kdy si lze dovolit delší přerušení činnosti bez vážných dopadů na výsledek.

**Teplá záloha** – druhý záložní systém je připraven k okamžitému spuštění na pokyn operátora. Používá se v případech, kdy si lze dovolit krátké přerušování činnosti bez významných dopadů na výsledek.

**Horká záloha** – primární i sekundární systém běží simultánně. Data (toky) se zrcadlí v reálném čase. Horká záloha (sekundární systém) je zapojena do systému okamžitě v případě výpadku primárního systému. Ve vysoce kritických objektech je záloh více, někdy dokonce více horkých záloh. Pak mluvíme o zálohách 4 x 50 %, 3 x 100 % či 4 x 100 % [7, 26].

Zajištění bezpečnosti v komplexních systémech musí být zvažováno v souvislostech s ostatními funkcemi systému a jeho podsystémů. Nelze řešit bezpečnost uvnitř jednotlivých podsystémů, aniž bychom neřešili bezpečnost celku. V případě metra je třeba počítat s dále uvedenými ohroženími:

- vnější ohrožení – ohrožení od jevů v okolí systému,
- vnitřní ohrožení – ohrožení od vnitřních zařízení jednotlivých podsystémů,
- funkční ohrožení – ohrožení spojené se selháním funkcí celého systému nebo podsystémů,
- lidská ohrožení – ohrožení spojené s lidskými činnostmi, ať neúmyslnými nebo úmyslnými.

Lidský faktor je velice významným činitelem, a to zvláště v případech spojených s rozhodováním a řízením. Špatné rozhodnutí je příčinou velkých ztrát a škod, viz tzv. organizační havárie [2].

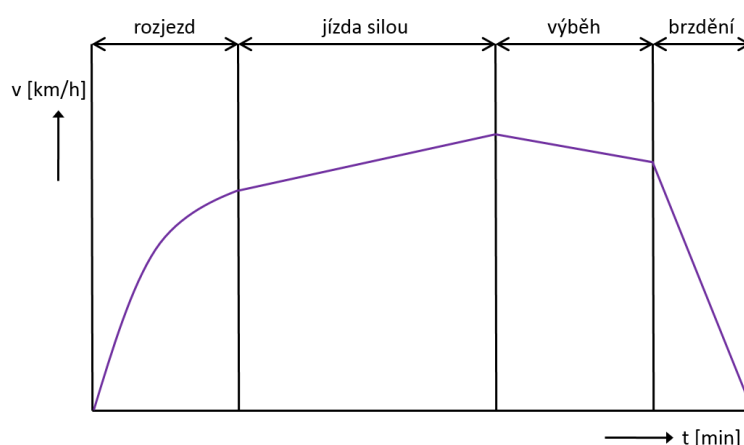
## **1.7. Fyzika spojená s provozem metra**

Provoz metra využívá poznatky z mnoha oblastí fyziky např. mechaniky (statika, dynamika), vlastností gravitačního pole Země, elektrického i magnetického pole. Příslušné vybrané údaje a principy jsou zmíněny dále s tím, že jsou považovány za bázi znalostí, ze které vychází předložená diplomová práce.

Pro využití v dalších kapitolách práce zde budou zmíněny poznatky ohledně dynamiky pohybu soupravy metra, elektrodynamického brzdění se stejnosměrným trakčním motorem s cizím buzením, elektrodynamického brzdění s asynchronním trakčním motorem a magnetizačních proudů.

### 1.7.1. Dynamika pohybu soupravy metra

Pohyb soupravy metra se skládá ze čtyř pohybových fází: rozjezdu, jízdy silou, výběhu a brzdění. Při rozjezdu přemáhá tažná hnací síla soupravy odpory vozidlové a traťové. Při jízdě silou jsou obdobně, jako u rozjezdu, překonávány vozidlové a traťové odpory, děje-li se při jízdě rovnoměrně. Při výběhu dochází ke krytí práce potřebné k překonání vozidlových a jízdních odporů z kinetické energie soupravy. Při brzdění dochází k umělému zvětšování vozidlových odporů s cílem zpomalit či zastavit soupravu. Pohybová energie soupravy je během brzdění přeměněna na teplo a elektrickou energii, která je navracena (tzv. rekuperována) zpět do elektrické sítě, nebo mařena v tzv. odpornicích [8]. Grafické znázornění čtyř pohybových fází je znázorněno na obrázku 3, znázorňujícím zjednodušený přímkový tachograf jízdy soupravy.



Obrázek 3 - Přímkový tachograf jízdy soupravy [8]

Obecně lze síly působící na soupravu metra rozdělit na síly tažné a síly odporové. Tažná síla je generována trakčními motory soupravy. Odporovou sílu lze obecně rozdělit na odpory vozidlové a odpory traťové. Odpory vozidlové se dělí na jízdni odpor vozidla, hmotové síly setrvačnosti a odpor brzdící. Odpory traťové se dělí na odpory stoupání a přídavné odpory oblouku [8].

**Tažná síla** – je síla, kterou je souprava schopna vyvinout prostřednictvím trakčních motorů. Velikost síly závisí na trakčních charakteristikách.

**Jízdni odpor soupravy ( $p_o$ )** – skládá se z valivého tření jízdni kol po kolejnicích, tření v ložiskách náprav a tření o vzduch celé soupravy. Jízdni odpor soupravy je závislý na druhu soupravy a rychlosti jízdy. Jízdni odpor soupravy lze vypočítat podle vztahu:

$p_o = a + c * v + b * v^2$ , přičemž ( $a$ ) je tření v ložiskách, ( $b$ ) je tření o vzduch, ( $c$ ) je tření valivé a ( $v$ ) je rychlost.

**Hmotové síly setrvačnosti** – vznikají při změnách rychlosti, při zrychlování soupravy působí proti směru tažné síly, při brzdění soupravy působí ve směru brzděné síly. Jsou způsobeny přírůstkem kinetické energie vlivem rotujících hmot.

**Odpor brzdící** – je výslednicí uměle vyvozovaných sil za účelem brzdění soupravy v pohybu, nebo zajištění soupravy v klidu.

**Odpor stoupání** – je výsledná složka tíhy na skloněné trati působící v rovině kolejnic. V případě jízdy soupravy do stoupání působí proti směru jízdy, při jízdě po spádu působí ve směru pohybu soupravy. Odpor stoupání tedy závisí na podélném profilu trati a směru jízdy soupravy.

**Přídavný odpor oblouku ( $p_r$ )** – je souhrnem všech odporových složek zvětšujících jízdní odpor při průjezdu obloukem. Odporové složky jsou způsobeny vlivem částečného smýkání kol v pevném dvojkolí jedoucím po nestejně dlouhé vnitřní a vnější kolejnici, radiálními silami odstředivými a dostředivými. Přídavný odpor oblouku je nepřímo závislý na poloměru oblouku.

### 1.7.2. Magnetizační proudy

Ke vzniku magnetizačních proudů dochází v průběhu zapínacího procesu transformátoru. Transformátor lze obecně definovat jako netočivý elektrický stroj sloužící k přenosu elektrické energie z jedné části obvodu do druhé za pomoci vzájemné elektromagnetické indukce. Transformátory se využívají pro transformaci elektrické energie, především pro snižování a zvyšování napětí, změně počtu fází apod. [9].

Transformátor se během zapínacího procesu nachází v tzv. přechodovém stavu, ve kterém dochází k přechodu mezi remanentním magnetickým tokem a magnetickým ustáleným indukčním tokem. Magnetizační proudy jsou tedy tzv. odezvou na saturaci magnetického obvodu jádra, které se v přechodovém stavu nachází [9].



## **2. Data o pražském metru a jeho napájení elektrickou energií**

Na základě znalostí uvedených v předchozí kapitole je pražské metro složitý systém systémů skládající se z mnoha subsystémů. Jednotlivé subsystémy jsou mezi sebou propojeny prostřednictvím vazeb a toků. Elektrickou energii lze z hlediska systémového inženýrství definovat jako tok energie zajišťující spolehlivost a funkčnost jednotlivých subsystémů.

První odstavec obsahuje obecný popis pražského metra. V dalším odstavci jsou uvedeny provozní režimy, ve kterých je pražské metro provozováno. Následující odstavec je věnován energetické soustavě pražského metra. Dále jsou v dalších odstavcích uvedeny elektrické systémy a zařízení, které jsou závislé na elektrické energii. Další odstavce jsou věnovány popisu a porovnání dvou typů vlakových souprav provozovaných v pražském metru. V předposledním odstavci kapitoly jsou uvedeny informace o dispečerských stanovištích a podrobněji je zde rozepsán elektrodispečink a vlakový dispečink. V posledním odstavci je krátce zmíněn ochranný systém metra.

### **2.1. Obecný popis pražského metra**

Provoz metra v Praze byl zahájen v roce 1974 na lince C v úseku Kačerov – Sokolovská (Florenc). V roce 1978 byl zahájen provoz na lince A v úseku Leninova (Dejvická) – Náměstí míru. V roce 1985 byl zahájen provoz na lince B v úseku Smíchovské nádraží – Sokolovská (Florenc). V současné době (ke dni 30. 11. 2015) je v pražském metru v provozu 61 stanic. Na linkách A a B jsou provozovány soupravy s typovým označením 81-71M, které jsou modernizovanou verzí původních sovětských souprav 81-71. Na lince C jsou provozovány soupravy typu M1, které byly vyrobeny konsorciem společností ČKD Praha, ADtranz a Siemens. Orientační schéma pražského metra platné ke dni 31. 10. 2015 je uvedeno v příloze 2.

### **2.2. Provozní režimy pražského metra**

Před uvedením a popisem vybraných technických zařízení pražského metra je nezbytné zmínit provozní režimy, ve kterých je pražské metro provozováno. Dle dokumentace [10] se jedná o:

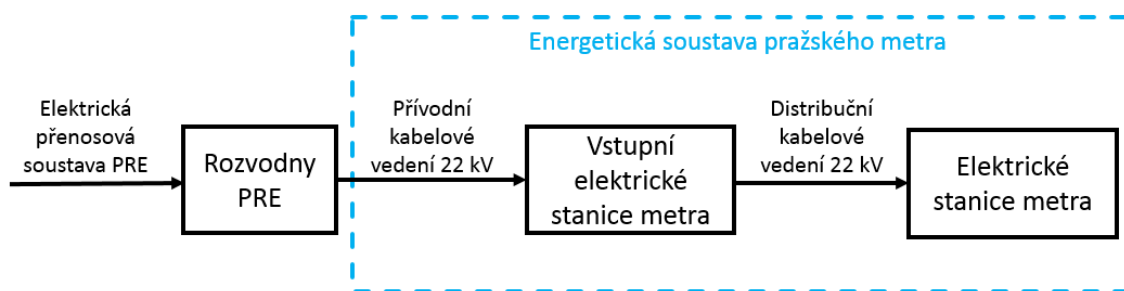
- dopravní systém metra (dále jen DSM),
- ochranný systém metra (dále jen OSM).

Režim DSM je základním režimem metra plnícím funkci dopravně obslužní. Jednotlivé subsystémy a zařízení pražského metra (DSM a OSM) se mohou dle daných situací nacházet v různých stavech a režimech provozu [dok]. Pro oblast řízení bezpečnosti je nutné uvedené režimy detailně znát, a proto jsou popsány v interních provozních předpisech dopravního podniku [10], které nejsou veřejně dostupné.

Režim OSM je použit pouze v kritických situacích, při kterých je primátorem hl. m. Prahy vyhlášen stav nebezpečí dle zákona č. 240/2000 Sb. Režim OSM byl v pražském metru vybudován především z důvodu existence vojenských hrozeb v druhé polovině 20. století. Informace o systémech náležících do OSM byly od svého počátku utajovány, a tak je tomu dodnes. Na základě ověřeného zdroje [11,12] jsou v dalších kapitolách uvedeny jen přehledné informace o dieselagregátových jednotkách.

### 2.3. Energetická soustava pražského metra

Provoz pražského metra je plně závislý na elektrické energii, kterou zajišťuje Pražská energetika, a.s. (dále jen PRE). Z důvodů zajištění spolehlivé dodávky elektrické energie je metro zařazeno do kategorie nestandardních odběrů, což smluvně garantuje příkon v kteroukoli dobu ve výši čtyřnásobku spotřeby [13]. Na obrázku 4 je znázorněno zjednodušené schéma energetické soustavy metra.



Obrázek 4 - Energetická soustava pražského metra (vytvořeno autorem dle [13])

#### 2.3.1. Rozvodny elektrické energie PRE

Rozvodny elektrické energie slouží k distribuci a transformaci elektrické energie přivedené z míst její výroby do míst její spotřeby prostřednictvím elektrické přenosové soustavy. Dodávky elektrické energie pro metro jsou realizovány z rozveden PRE umístěných v pražské aglomeraci znázorněné v příloze 3. Pražské metro je napájeno z patnácti rozveden

PRE: Malešice, Jih, Střed, Holešovice, Západ, Zličín, Jinonice, Smíchov, Pražáčka, Běchovice, Letňany, Sever, Lhotka, Chodov a Měcholupy [13].

### **2.3.2. Elektrická vedení vysokého napětí**

Přenos elektrické energie z rozvodu PRE do elektrických stanic metra zajišťují přívodní kabelová vedení vysokého napětí 22kV. Předmětná vedení jsou zdvojena a doplněna optickými či metalickými kabely sloužícími pro přenos informací mezi rozvodnou PRE a elektrickou stanicí metra. Přenášené informace jsou především parametry sledovaných elektrických veličin vedení vysokého napětí [14]. Přívodní kabely elektrického vedení vysokého napětí jsou pravidelně kontrolovány. Kontrola je zajištěna kabelovým měřicím vozem, kterým disponuje Dopravní podnik hl. m. Prahy [11].

V tunelech pražského metra se nachází dále kabely distribučního vedení vysokého napětí 22kV sloužící k napájení a propojení jednotlivých elektrických stanic. Kabelová vedení jsou rovněž zdvojena [11].

### **2.3.3. Elektrické stanice**

Elektrické stanice slouží k přeměně a distribuci elektrické energie pro systémy a zařízení instalované v prostorách metra. Elektrické stanice se nachází v každé stanici metra. Skládají se z rozvodných zařízení 22 kV v podobě výsuvných skříňových rozvaděčů, rychlovypínačů 22 kV, transformátorů a usměrňovačů. Transformátory se dále dělí do dvou skupin. Transformátory určené pro silové spotřebiče (tj. pohyblivé schody, čerpací stanice odpadních vod apod.) a transformátory pro nesilové spotřebiče (tj. osvětlení, sdělovací zařízení, zabezpečovací zařízení apod.). Veškerá zařízení, která jsou součástí elektrických stanic, jsou zdvojena a v provozu současně. Jednotlivé transformátory jsou využívány přibližně na 40 % [11]. V případě, že jeden transformátor je odpojen z důvodu údržby nebo poruchy, druhý transformátor převezme plně výkon bez přetížení. Na transformátory jsou dále napojeny rozvaděče nízkého napětí, které jsou určeny pro ostatní spotřebiče. V každé elektrické stanici jsou instalovány staniční akumulátorové baterie sloužící pro nouzové napájení vybraných spotřebičů. Vzhledem k probíhající modernizaci v pražském metru se v jednotlivých elektrických stanicích mohou nacházet další elektrické spotřebiče (např. nové transformátory), které zde nejsou uvedeny [11,12].

Elektrické stanice lze z hlediska distribuce elektrické energie kategorizovat na distribuční transformovny (dále jen DT) nebo měničny a distribuční transformovny (dále jen MDT). DT

zabezpečují dodávku elektrické energie pro veškeré spotřebiče, které jsou instalované v prostorách dané stanice metra. MDT plní stejnou funkci jako distribuční transformovny. Přidanou funkcí je zde přeměna elektrické energie ze střídavého proudu na stejnosměrný proud, kterým jsou napájeny soupravy metra. Za účelem přeměny elektrické energie pro trakční napájení (napájení souprav metra) jsou v elektrických stanicích MDT instalovány usměrňovací skupiny. Každá usměrňovací skupina je složena z dvou trakčních transformátorů, dvou usměrňovačů, napájecích rozvaděčů, odpojovačů a rychlovypínačů.

Pro zajištění bezpečnosti plní odpojovače funkci zkratovacích zařízení, zajišťujících beznapětový stav přívodní kolejnice. Vybraná elektrická zařízení instalovaná v prostorách elektrických stanic jsou dálkově ovládána ze stanoviště elektrodispečinku, nebo vlakového dispečinku [11,14].

Přehled elektrických stanic a jejich kategorizace dle DT a MDT je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1 - Přehled elektrických stanic (vytvořeno autorem dle zdroje [13,15])

| Přehled elektrických stanic metra |                        |                       |                    |                        |                       |                    |                        |                       |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|
| Trasa A                           | Typ elektrické stanice | Přívod z rozvodny PRE | Trasa B            | Typ elektrické stanice | Přívod z rozvodny PRE | Trasa C            | Typ elektrické stanice | Přívod z rozvodny PRE |
| Depo Hostivař                     | MDT                    | Malešice              | Depo Zličín        | MDT                    | Zličín                | Letňany            | MDT                    | Letňany               |
| Skalka                            | MDT                    |                       | Zličín             | DT                     |                       | Střížkov           | MDT                    |                       |
| Strašnického                      | DT                     | Jih                   | Stodůlky           | MDT                    |                       | Prosek             | MDT                    |                       |
| Želivského                        | MDT                    |                       | Luka               | DT                     |                       | Ládví              | MDT                    | Sever                 |
| Flóra                             | DT                     |                       | Lužiny             | MDT                    |                       | Kobylisy           | MDT                    |                       |
| Jiřího z Poděbrad                 | MDT                    |                       | Hůrka              | DT                     |                       | Nádraží Holešovice | MDT                    | Holešovice            |
| Náměstí Míru                      | MDT                    | Střed                 | Nové Butovice      | MDT                    | Jinonice              | Vltavská           | DT                     |                       |
| Muzeum-A                          | DT                     |                       | Jinonice           | MDT                    |                       | Florenc-C          | MDT                    |                       |
| Můstek-A                          | MDT                    |                       | Radlická           | MDT                    |                       | Hlavní Nádraží     | DT                     |                       |
| Staroměstská                      | DT                     |                       | Smíchovské nádraží | MDT                    |                       | Muzeum-C           | MDT                    | Střed                 |
| Malostranská                      | MDT                    |                       | Anděl              | MDT                    | Smíchov               | I.P. Pavlova       | DT                     |                       |
| Hradčanská                        | DT                     |                       | Karlovo Náměstí    | MDT                    |                       | Vyšehrad           | MDT                    |                       |
| Dejvická                          | MDT                    | Holešovice            | Národní třída      | DT                     |                       | Pražského povstání | DT                     |                       |
| Bořislavka                        | MDT                    |                       | Můstek - B         | MDT                    | Střed                 | Pankrác            | MDT                    |                       |
| Nádraží Veleslavín                | MDT                    |                       | Náměstí Republiky  | DT                     |                       | Budějovická        | DT                     |                       |
| Petřiny                           | MDT                    |                       | Florenc-B          | MDT                    |                       | Kačerov            | DT                     |                       |
| Nemocnice Motol                   | MDT                    | Západ                 | Křížíkova          | DT                     |                       | Depo Kačerov       | M                      | Lhotka                |
|                                   |                        |                       | Invalidovna        | MDT                    |                       | Roztyly            | DT                     |                       |
|                                   |                        |                       | Palmovka           | MDT                    | Pražčanka             | Chodov             | MDT                    | Chodov                |
|                                   |                        |                       | Českomoravská      | MDT                    |                       | Opatov             | MDT                    |                       |
|                                   |                        |                       | Vysočanská         | DT                     |                       | Háje               | MDT                    | Měcholupy             |
|                                   |                        |                       | Kolbenova          | MDT                    |                       |                    |                        |                       |
|                                   |                        |                       | Hloubětín          | MDT                    |                       |                    |                        |                       |
|                                   |                        |                       | Rajská zahrada     | MDT                    |                       |                    |                        |                       |
|                                   |                        |                       | Černý Most         | MDT                    | Běchovice             |                    |                        |                       |

## 2.4. Systémy v pražském metru závislé na elektrické energii

Dle dokumentace [10] je v prostorách pražského metra instalováno mnoho elektrických systémů a zařízení plnících různé úkoly. Pro potřeby diplomové práce byly na základě ústních konzultací [12] vybrány pouze následující systémy a zařízení: systémy osvětlení, vzduchotechnická zařízení, sdělovací zařízení, zabezpečovací zařízení a strojní zařízení.

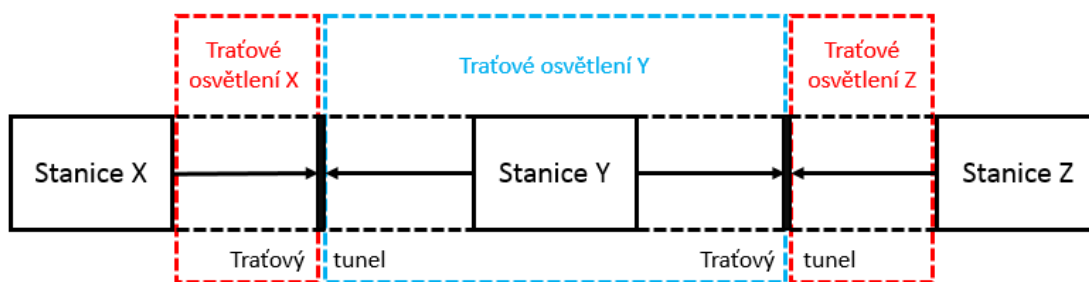
### 2.4.1. Systém osvětlení

Prostory pražského metra jsou z velké části umístěny pod povrchem, kam nemá přístup přirozené světlo. Pro zajištění bezpečného provozu je nezbytné předmětné prostory osvětlit umělými zdroji světla. V prostorách metra jsou instalovány osvětlení typu: normální, náhradní, nouzové a únikové. Jejich zdroje napájení jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 - Systém osvětlení (vytvořeno autorem dle [11])

| Typ osvětlení               | Zdroj napájení            |
|-----------------------------|---------------------------|
| Normální (hlavní a pomocné) | Hlavní rozvaděč osvětlení |
| Náhradní                    | Staniční baterie          |
| Nouzové                     |                           |
| Únikové                     |                           |

V traťových tunelech je instalováno v poměru 1:1 pomocné a nouzové osvětlení. Schéma napájení traťového osvětlení je znázorněno na obrázku 5.



Obrázek 5 - Napájení traťového osvětlení (vytvořeno autorem dle [14])

Z obrázku 5 je zřejmé, že z přilehlé stanice je traťové osvětlení napájeno do půlky traťového tunelu. Umístění traťového osvětlení v tunelu je znázorněno v příloze 4.

#### **2.4.2. Vzduchotechnická zařízení**

Vzduchotechnická zařízení, instalovaná v prostorách metra, zajišťují vhodné mikroklimatické podmínky pro cestující, zaměstnance a instalovanou technologii. Lze je dále kategorizovat na hlavní a pomocné větrání.

##### ***Hlavní větrání***

Hlavní větrání zajišťuje požadované podmínky v prostředí v traťových tunelech, veřejných částech stanic (nástupištích, propojovacích chodbách, eskalátorových tunelech, vestibulech a podchodech). Z uvedených prostor je odváděna tepelná zátěž, která vzniká provozem souprav metra, technologických zařízení, strojních zařízení a osvětlovací techniky. Jako další zdroj tepelné zátěže je třeba brát také lidský organismus, tedy přepravované cestující. Hlavní větrání je uzpůsobeno klimatickým podmínkám, a proto pracuje v zimním a letním režimu. V zimním režimu je studený vzduch nasáván z povrchu do mezistaničních úseků, kde dojde k jeho ohřevu na přibližnou teplotu + 5°C [15]. Ohřátý vzduch je přiváděn do stanic a vzduch ze stanic je odveden zpět na povrch. V letním režimu se obrací směr proudění pomocí natočení lopatek ventilátoru bez změny směru otáčení motoru ventilátoru.

##### ***Staniční větrání***

Staniční větrání zajišťuje větrání služebních a technologických místností v jednotlivých stanicích. Služebními a technologickými místnostmi rozumíme: místnosti pro provozní zaměstnance, DT, MDT, místnosti sdělovacích zařízení, zabezpečovacích zařízení, prostory vyhrazené pro staniční baterie, šatny, toalety, dílny, strojovny [12]. Vzduchotechnická zařízení staničního větrání jsou instalována v prostorách strojoven vzduchotechniky. Distribuce vzduchu do služebních a technologických místností je zajištěna prostřednictvím vzduchotechnického potrubí. Vzduch je nasáván z traťových tunelů, vestibulů nebo podchodů a dochází k jeho filtraci, ohřevu, popřípadě ochlazení. Odvod vzduchu se provádí zpět do traťových tunelů. Z prostor se zdroji škodlivin (prostory vyhrazené pro staniční baterie, toalety) je vzduch odváděn přímo na povrch [12,15].

#### **2.4.3. Sdělovací zařízení**

Dle dokumentace [10] sdělovací zařízení instalovaná v prostorách metra slouží k přenosu informací mezi jednotlivými systémy, subsystemy, stanovišti a pracovníky metra. Lze je kategorizovat na: telefonní zařízení, zařízení pro rádiové spojení a staniční rozhlas.

### ***Telefonní zařízení***

Pražské metro využívá následující nezávislé telefonní systémy: dispečerské spoje, nouzové spoje, telefonní spoje místní, a služební telefonní síť metra.

Dispečerské spoje propojují dispečerská stanoviště s příslušnými oblastmi pražského metra. Na jednotlivých stanicích jsou zálohovány náhradním zdrojem nepřerušovaného napětí (Uninterruptible Power Supply, dále jen UPS).

Nouzové spoje zabezpečují nouzové spojení zaměstnanců v tunelech metra s vlakovým dispečerem. Zařízení pro nouzové spoje jsou umístěna: u absolutních návěstidel, u odjezdových návěstidel v depech, na odjezdové straně nástupiště a každých max. 250 metrů v traťových tunelech. Zálohována jsou náhradním zdrojem UPS [10].

Telefonní spoje místní zprostředkovávají přímé spojení mezi dvěma provozně sousedícími místy (např. dozorcími stanic, přepravním manipulátorem a kabinou výtahu, atd.). Zálohovány jsou náhradními zdroji UPS [10].

Služební telefonní síť metra zajišťuje hlasové služby pro všechny zaměstnance metra. V každé stanici je síť zálohována pomocí vlastních akumulátorů. Doba zálohování je v případě dobrého stavu akumulátorů přibližně 480 minut [15,16].

### ***Zařízení pro rádiové spojení***

Zajišťuje operativní řízení vlakové dopravy na tratích metra a v depech. Lze je kategorizovat podle využití: na rádiové síť vlakového dispečera, rádiové síť depa a technologické rádiové síť. Zařízení pro rádiové spojení lze rozdělit: na základové stanice anténní dvoulinky VKV, mobilní radiostanice a přenosné radiostanice.

Základové stanice zajišťují dostatečné pokrytí celé tratě VKV signálem. Základové stanice jsou umístěny ve sdělovacích místnostech vybraných stanic, depech a centrálním dispečinku. Základové stanice jsou napájeny ze staničního nouzového rozvaděče [16].

Anténní dvoulinky VKV slouží k distribuci signálu VKV ze základových stanic pro tunely metra. Jako anténní zářič je využita anténní dvoulinka zavěšená na stropě traťových a staničních tunelů. Umístění anténní dvoulinky v traťovém tunelu je znázorněno v příloze 4.

Mobilní radiostanice jsou instalovány v každém čelním vozu metra, nezávislých trakčních prostředcích a v pohotovostních vozech.



Přenosné radiostanice jsou k dispozici určeným pracovníkům v řádu stovek kusů. Provozní použitelnost přenosných radiostanic se pohybuje mezi 60 – 120 minutami [16].

### ***Staniční rozhlas***

Systém staničního rozhlasu (dále jen SR) slouží k vyhlášení akustických zpráv a pokynů pro cestující, zaměstnance a ostatní osoby v prostorách metra. Systémem SR jsou ozvučeny: veškeré veřejné prostory metra, podchodů, pozemní úrovně stanic, navazující autobusové terminály. Částečně jsou systémem SR ozvučeny: technické prostory a prostory tunelů v části ochranného systému metra (OSM). Zvuková hlášení se týkají především dopravních informací, např. upozornění pro cestující, informační hlášení pro personál metra, hlášení výstražná, včetně různých poplachových situací. Mikrofonní pulty jsou instalovány v prostorách vlakového dispečinku, přepravního manipulátora, dozorčího stanice a případně v místnostech vyhrazených pro OSM. Ke staničnímu rozhlasu jsou mikrofonní pulty v jednotlivých stanicích připojeny přes externí rozhraní, kde zprostředkovávají přehrávání předem uložených zpráv. Každý mikrofonní pult má předem zadanou prioritu hlášení.

Starší systémy SR (Tesla, Dynacord) jsou napájeny z nouzového rozvaděče, který je napojený na staniční baterii. V současnosti jsou instalovány přibližně na  $\frac{3}{4}$  stanic [16].

Nově budovaný systém SR (Variodyn) disponuje vlastní baterií, umožňující 90 minut provozu. V současnosti je systém Variodyn instalován přibližně na  $\frac{1}{4}$  stanic [16]. Nově budovaný systém Variodyn je realizovaný na bázi digitálních rozhlasových ústředen. Je koncipován jako nouzový zvukový systém se zohledněním požadavků pro hlasová výstražná zařízení nikoliv pouze v rámci objektu, ale v rámci rozsáhlého komplexu staveb, jakým je pražské metro. Systému Variodyn plně respektuje ustanovení normy ČSN [17] pro nouzové zvukové systémy.

#### **2.4.4. Zabezpečovací zařízení**

Zabezpečovací zařízení v pražském metru zajišťují bezpečný provoz vlakových souprav na trati. Jejich primárním úkolem je zajišťovat vlakový provoz z hlediska kontroly volnosti trati, rychlosti soupravy a podobně. Zabezpečovací zařízení lze rozdělit do dvou následujících skupin:

- ***staniční a traťová zabezpečovací zařízení (SZZ),***
- ***vlaková zabezpečovací zařízení (VZZ).***

**Staniční zabezpečovací zařízení** zabezpečují a povolují jízdu soupravy z hlediska volnosti traťových úseků. V pražském metru je instalováno reléové zabezpečovací zařízení AŽD 71, které je přizpůsobené pro provoz metra. V nových stanicích a ve vybraných stanicích metra se provozuje elektronické SZZ typu ESA 11 M. Úkolem výše zmíněných SZZ je v pražském metru také kontrola traťových úseků. Zde zabezpečují jízdu následných vlakových souprav a znemožňují jízdy protisměrných souprav na jedné koleji. Napájení staničních zabezpečovacích zařízení je zálohováno pomocí nouzových zdrojů (UPS) [16].

**Vlaková zabezpečovací zařízení** zajišťují příjem návěstních znaků, jestliže strojvedoucí nereaguje na návěst, zajišťují samočinné zabrzdění vlaku. Další funkce VZZ jsou závislé na typu VZZ, které je použito. V pražském metru jsou instalovány systémy ARS, PA-135 a LZA. Napájení vlakových zabezpečovacích zařízení je zálohováno pomocí vozové akumulátorové baterie [16].

#### ***Linka B – liniový vlakový zabezpečovač ARS***

Zabezpečovač ARS (avtomatičeskoje regulirovanie skorosti, tj. automatická regulace rychlosti) patří mezi nejstarší zabezpečovací zařízení v metru. Skládá se ze stacionární a mobilní části. Stacionární část vlakového zabezpečovače je umístěna na trati a funguje na principu dodatečného kódování informace o dovolené rychlosti do kolejových obvodů. Kolejové obvody jsou napájeny střídavým proudem o určité frekvenci, která je specifická pro jednotlivé povolené rychlosti. Stanovená frekvence je vysílána proti směru jízdy soupravy. V situaci, kdy souprava vjede do kolejového obvodu, na prvním dvojkolí předního vagonu dojde k vytvoření uzavřené proudové smyčky. Protékající střídavý proud vytvoří elektromagnetické pole, které je detekováno dvojicí snímacích cívek umístěných na podvozku před první nápravou.

Mobilní část zabezpečovače se skládá ze zařízení, která jsou schopna zpracovat a vyhodnotit přijímaný signál z kolejových obvodů. Pokud souprava překročí povolenou rychlost, je zastavena pneumatickou brzdou bez zásahu strojvedoucího soupravy [15,16].

#### ***Linka C – liniový vlakový zabezpečovač PA-135***

Zabezpečovač PA-135 je tvořen traťovou a mobilní částí. Oproti zabezpečovači ARS v sobě integruje také automatické vedení vlaku (AVV). Traťová část mobilního zařízení je tvořena pryžovým pásem, staničními skříněmi a dalšími zařízeními. Mobilní část vlakového zabezpečovače je tvořena dvojicí pěti dílčích bloků sloužících pro zpracování

a vyhodnocování signálů z kolejových obvodů, automatického vedení vlaku a dalších funkcí.

Základním principem činnosti zabezpečovače PA-135 je změření času mezi průjezdem dvěma body na trati, přičemž časový interval má pevně stanovenou délku. Pokud není stanovený interval dodržen, systém na něj zareaguje. Předmětné body jsou tvořeny překřížením páru signálních vodičů umístěných v kolejišti a napájených frekvencí 135 Hz. V místě dotyků vodičů dochází k zániku signálu 135 Hz, což je detekováno snímacími cívkami, které jsou součástí mobilní části zabezpečovače. Mobilní část vlakového zabezpečovače je schopna pracovat ve čtyřech dále charakterizovaných režimech [15,16]:

1. Základní režim, který je plně automatický. Činnost strojvedoucího je omezena na ovládání dveří, vlakového rozhlasu ve stanici, ovládání světel, vydání pokynu k odjezdu vlaku ze stanice a dohled nad zařízením vlakového zabezpečovače.
2. Režim vlakového zabezpečovače. Automatické vedení vlaku je vyřazeno z činnosti a strojvedoucí řídí jízdu manuálně. Vlakový zabezpečovač je funkční a zajišťuje plnou bezpečnost jízdy.
3. Režim tlačítek bdělosti. Automatické vedení vlaku je vyřazeno z činnosti, vlakový zabezpečovač má omezenou funkčnost a pouze kontroluje rychlost soupravy (maximálně 30 km/h). Strojvedoucí řídí vlak manuálně, jízdou podle rozhledu při stisknutých tlačítkách bdělosti.
4. Režim jízdy bez vlakového zabezpečovače, během kterého je mobilní část vlakového zabezpečovače kompletně vypnuta.

#### ***Linka A – vlakový zabezpečovač s automatickým vedením vlaku LZA***

Systém LZA se skládá ze systému vlakového zabezpečovače SOP-2P a automatického vedení vlaku ACBM3. Stacionární část systému SOP-2P se skládá ze soustavy třech staničních počítačů, které jsou umístěny v každé stanici metra. Počítače zpracovávají informace o provozní situaci a přípustné rychlosti pro daný traťový úsek. Dále jsou pak přenášeny do soupravy metra, kde dojde k jejich vyhodnocení pomocí mobilní části systému SOP-2P. Základem mobilní části systému SOP-2P je nepřetržité porovnávání měřené skutečné jízdy soupravy s rychlostí dovolenou. Reakcí systému SOP-2P na výsledek zmíněného porovnávání je třístupňový zásah do jízdy vlaku. Zapnutí systému pohonu, elektrodynamické brzdění a nouzové brzdění. Systém ACBM3 ke své činnosti využívá datové bloky, zejména pak mapu trati a jízdni řád. Pracuje na principu regulátoru rychlosti

a je schopen soupravy metra automaticky řídit tak, aby se pohybovaly požadovanou rychlostí [15, 16].

#### **2.4.5. Strojní zařízení**

V pražském metru je instalován velký počet různých strojních zařízení. Na základě analýzy dokumentace [10] a odborných konzultací [12] jsou zde uvedeny: pohyblivé schody ve stanicích, čerpací stanice odpadních vod ve stanicích a mezistaničních úsecích, výtahy ve stanicích, dílny a sklady údržby ve stanicích. Ostatní strojní zařízení instalovaná v pražském metru zde nejsou uvedena.

### **2.5. Soupravy metra**

V pražském metru jsou provozovány dva typy vlakových souprav. Linky A, B jsou obsluhovány soupravami s typovým označením 81-71M. Linka C je obsluhována soupravami s typovým označením M1.

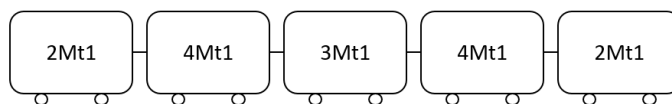
#### **2.5.1. Souprava 81-71M**

Vlaková souprava 81-71M vychází z původní soupravy 81-71, která byla vyráběna v Mytiščínském strojírenském závodu. Typ 81-71M prošel celkovou rekonstrukcí, kterou značí písmeno M v typovém označení. Souprava se skládá z celkového počtu pěti vozů. Typové označení vozů a základní technické vybavení je uvedeno v tabulce 3.

*Tabulka 3 - Souprava 81-71M (vytvořeno autorem dle [11])*

| <b>Souprava 81-71M</b> |   |
|------------------------|---|
| <b>Označení vozu</b>   | <b>Technické vybavení</b>   |
| <b>2Mt1</b>            | kabina strojvedoucího, trakční kontejner, vozidlová baterie, vozidlový počítač, tachograf, zabezpečovací zařízení |
| <b>3Mt1</b>            | trakční kontejner, vozidlový počítač, vozidlová baterie   |
| <b>4Mt1</b>            | trakční kontejner, vozidlový počítač, kompresorové ústrojí  |

Souprava 81-71M je provozována ve složení vyznačeném na obrázku 6.



Obrázek 6 - Složení soupravy 81-71M (vytvořeno autrem)

Převážná kapacita soupravy 81-71M je uvedena v tabulce 4.

Tabulka 4 - Převážná kapacita soupravy 81-71M (vytvořeno autorem dle [11])

| Převážná kapacita soupravy 81-71M           |      |           |          |
|---|------|-----------|----------|
|   | 2Mt1 | 3Mt1,4Mt1 | Souprava |
| Počet míst k sezení                         | 38   | 48        | 220      |
| Počet míst k stání (8 osob/m <sup>2</sup> ) | 216  | 218       | 1086     |
| Počet míst pro invalidní vozíky             | 4    | 0         | 8        |

### 2.5.2. Souprava M1

Souprava M1 je produktem mezinárodního konsorcia firem ČKD, Siemens a ADtranz. Skládá se z pěti vozů a je koncipována jako provozně nedělitelná jednotka. Typové označení vozů a základní technické vybavení je uvedeno v tabulce 5.

Tabulka 5 - Souprava M1 (vytvořeno autorem dle [11])

| Souprava M1   |  |
|---------------|--|
| Označení vozu | Technické vybavení   |
| M 1.1         | kabina strojvedoucího, trakční kontejner, vozidlová baterie, vozidlový počítač, elektronický tachograf, zabezpečovací zařízení |
| M 1.2         | trakční kontejner, kompresorové ústrojí  |
| M 1.3         | trakční kontejner, centrální řídicí počítač  |

Souprava M1 je provozována ve složení vyznačeném na obrázku 7.



Obrázek 7 - Složení soupravy M1 (vytvořeno autorem dle [11])

Přepravní kapacita soupravy M1 je uvedena v tabulce 6.

Tabulka 6 - Přepravní kapacita soupravy M1 (vytvořeno autorem dle[11])

| Přepravní kapacita soupravy M1              |       |       |       |          |
|---|-------|-------|-------|----------|
|   | M 1.1 | M 1.2 | M 1.3 | Souprava |
| Počet míst k sezení                         | 40    | 48    | 48    | 224      |
| Počet míst k stání (8 osob/m <sup>2</sup> ) | 216   | 218   | 218   | 1086     |
| Počet míst pro invalidní vozíky             | 2     | 0     | 0     | 4        |

### 2.5.3. Technické parametry souprav 81-71M a M1

Na základě dokumentace [10] a odborných konzultací [18] jsou pro soupravy 81-71M a M1 v tabulce 7 uvedeny následující technické parametry: hmotnost soupravy, trakční výzbroj, brzdné systémy, elektrické rozvody, osvětlení prostoru pro cestující, nouzové osvětlení prostoru pro cestující, ventilace prostoru pro cestující, nouzová ventilace prostoru pro cestující, boční dveře vozu, čelní dveře vozu, mobilní část vlakového zabezpečovače, elektrická požární signalizace EPS, vlakový rozhlas, mobilní část radiostanice VKV, vozidlové baterie a systémy, které jsou napájeny z vozidlové baterie.

Tabulka 7 - Technické parametry souprav 81-71M, M1 (vytvořeno autorem dle [11,15,16,18,19])

| Technické parametry souprav 81-71M a M1 |   |   |
|---|---|---|
| Technické parametry                     | Souprava 81-71M   | Souprava M1   |
| Hmotnost soupravy                       | 157 000 kg  | 133 200 kg  |
| Trakční výzbroj                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>stejnoseměrný trakční motor s cizím buzením DK 117V,</li> <li>jmenovitý výkon motoru 110 kW,</li> <li>všechny nápravy hnané</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>asynchronní trakční motor BASu 5529/4,</li> <li>jmenovitý výkon motoru 160 kW,</li> <li>všechny nápravy hnané</li> </ul>   |
| Brzdné systémy                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>elektrodynamická brzda,</li> <li>pneumatická brzda, elektropneumatická brzda,</li> <li>střídačova brzda,</li> <li>dvě kompresorové jednotky pro výrobu stlačeného vzduchu,</li> <li>hlavní vzduchojem 300 litrů (všechna vozidla),</li> <li>zásobní vzduchojem 100 litrů (všechna vozidla),</li> <li>řídící vzduchojem 2,5 litru (vozidla 2Mt1)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>elektrodynamická brzda,</li> <li>pneumatická brzda elektropneumatická brzda,</li> <li>střídačova brzda,</li> <li>dvě kompresorové jednotky pro výrobu stlačeného vzduchu,</li> <li>hlavní vzduchojem 100 litrů (2 kusy na vozidlo),</li> <li>vzduchojem vzduchového vypružení 100 litrů (2 kusy na vozidlo),</li> <li>pomocný vzduchojem 75 litrů (1 kus na vozidlo),</li> <li>zásobní vzduchojem 25 litrů (1 kus na vozidlo)</li> </ul> |

|   |   |   |
|---|---|---|
| <b>Elektrické rozvody</b>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• palubní síť 540 V pro napájení dobíječů vozidlových baterií, kompresorů a budícího měniče</li> <li>• palubní síť 24 V pro napájení osvětlení, spínacích přístrojů, ostatní elektronické přístroje</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• palubní síť 400 V pro napájení kompresorů, ventilátorů oddílu pro cestující a strojvedoucího</li> <li>• palubní síť 110 V pro napájení osvětlení, spínacích přístrojů, ostatní elektronické přístroje a dobíjení staničních baterií</li> </ul>         |
| <b>Osvětlení prostoru pro cestující</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 hlavních zářivek na jeden vůz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 hlavních zářivek na 1 vůz,</li> <li>• boční zářivky umístěny nad každým oknem</li> </ul>  |
| <b>Nouzové osvětlení pro cestující</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 zářivek na 1 vůz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 zářivek na 1 vůz</li> </ul>  |
| <b>Ventilace prostoru pro cestující</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• pasivní – přirozený nápor vzduchu během jízdy skrze trvale nezakryté střešní otvory</li> <li>• výklopná okénka v horní části oken</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• aktivní – nucená přetlaková,</li> <li>• 6 ventilátorů umístěných mezi stropem a střechou vozidla,</li> <li>• odvod vzduchu zajištěn prostřednictvím mřížek ve vstupních dveřích.</li> </ul>  |
| <b>Nouzová ventilace při výpadku elektrické energie</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• není instalována</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• dva pomocné ventilátory napájeny z vozidlové baterie (palubní síť 110V)</li> </ul>   |
| <b>Boční dveře vozu</b>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• posuvné, ovládání zajištěno pomocí elektromotoru,</li> <li>• v případě výpadku elektrické energie lze dveře otevřít pomocí mechanismu umístěného v prostorách pro cestující</li> <li>• signalizace otevření dveří v kabině strojvedoucího</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• výklopné, ovládání zajištěno pomocí elektromotoru,</li> <li>• v případě výpadku elektrické energie lze dveře otevřít pomocí mechanismu umístěného v prostorách pro cestující</li> <li>• signalizace otevření dveří v kabině strojvedoucího</li> </ul>  |
| <b>Čelní dveře vozu</b>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• uzamčeny elektrickou závorou,</li> <li>• elektrická závora ovládána z kabiny strojvedoucího,</li> <li>• elektrická závora se samočinně vypne při výpadku elektrické energie</li> <li>• signalizace otevření dveří pouze u vybraných souprav</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• uzamčeny elektrickou závorou,</li> <li>• elektrická závora ovládána z kabiny strojvedoucího,</li> <li>• elektrická závora se samočinně vypne při výpadku elektrické energie</li> <li>• signalizace otevření dveří pouze u vybraných souprav</li> </ul> |
| <b>Mobilní část vlakového zabezpečovače</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• specifická dle trati</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• specifická dle trati</li> </ul>  |
| <b>Elektrická požární signalizace (EPS)</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• optická kouřová čidla v trakčních kontejnerech a rozvaděčových skříních</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• teplotní čidla v trakčních kontejnerech, rozvaděčových skříních</li> <li>• optická kouřová čidla v prostoru pro cestující</li> </ul>   |
| <b>Vlakový rozhlas</b>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vlakový rozhlas s digitálním záznamem hlášení a možností přímého vstupu strojvedoucího,</li> <li>• v každém voze 6 reproduktorů.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vlakový rozhlas s digitálním záznamem hlášení a možností přímého vstupu strojvedoucího,</li> <li>• v každém voze 6 reproduktorů.</li> </ul>  |
| <b>Mobilní část radiostanice VKV</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• umístěna ve vozech 2Mt1,</li> <li>• napájena prostřednictvím olověné baterie.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• umístěna ve vozech M 1.1,</li> <li>• napájena prostřednictvím olověné baterie.</li> </ul>  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• dle normy ČSN [24] musí být v provozu minimálně po 120 minut.</li> </ul>                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• dle normy ČSN [24] musí být v provozu minimálně po 120 minut.</li> </ul>  |
| <b>Vozidlové baterie</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• instalovány na vozech 2Mt1 a 3Mt1,</li> <li>• baterie složeny z niklkadmiových článků.</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• instalovány na vozech M 1.1.</li> <li>• baterie složeny z olověných akumulátorových článků.</li> </ul>                                      |
| <b>Systémy napájeny z vozidlové baterie</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• řídicí obvody soupravy,</li> <li>• nouzové osvětlení,</li> <li>• elektrická požární signalizace EPS</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• řídicí obvody soupravy,</li> <li>• nouzové osvětlení,</li> <li>• nouzová ventilace</li> <li>• elektrická požární signalizace EPS</li> </ul> |

Z tabulky 7 lze vyvodit následující skutečnosti: technologické zálohy v podobě nouzových zdrojů elektrické energie jsou zajištěny prostřednictvím vozidlových baterií a baterií určených pro mobilní část vlakové radiostanice VKV. Z důvodu rozdílných trakčních motorů souprav 81-71M a M1 je také rozdílná funkčnost elektrodynamické brzdy při výpadku elektrické energie. Elektrodynamická brzda a zjištěné odlišnosti jsou popsány v dalším odstavci.

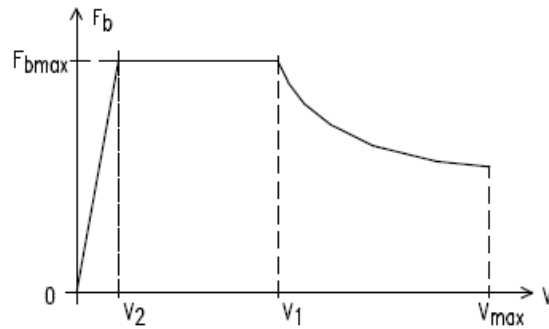
#### **2.5.4. Brzdné soustavy souprav metra**

Pro analýzu chování brzdných soustav při výpadku elektrické energie je nezbytné uvést principy, na kterých brzdné systémy pracují. V odstavci jsou uvedeny: elektrodynamická brzda, pneumatická brzda, elektropneumatická brzda a střídačová pružinová brzda.

##### ***Elektrodynamická brzda***

Elektrodynamická brzda je součástí trakční výzbroje souprav metra. Princip funkce spočívá v přeměně pohybové energie souprav metra na energii elektrickou. Vzniklá elektrická energie může být navrácena do napájecí sítě (tzv. rekuperace) nebo přeměněna na teplo (tzv. je mařena v odpornících). Brzdná síla je vyvozena působením silových účinků mezi magnetickým polem a vodičem protékaným proudem. Účinnost elektrodynamické brzdy klesá s rychlostí, proto je dobrzdování soupravy zajištěno pomocí pneumatické brzdy. Elektrodynamická brzda je v soupravách metra využívána jako hlavní brzda. Brzdné vlastnosti elektrodynamické brzdy lze obecně vyjádřit brzdovou charakteristikou zobrazenou na obrázku 8.





Obrázek 8 - Brzdová charakteristika elektrodynamické brzdy [20]

V oblasti vyšších rychlostí ( $V_1$  až  $V_{\max}$ ) jsou rychlosti souprav omezeny především výkonem odporníku u odporového brzdění nebo proudem motorů u brzdění rekuperačního. Ve střední oblasti ( $V_2$  a  $V_1$ ) je brzdná síla  $F_{b\max}$  omezena především brzdovými odpory a adhezí. V oblasti nejnižších rychlostí (0 až  $V_2$ ) klesá brzdná síla k nule. Rychlost  $V_2$ , při které začíná pokles brzdě síly  $F_b$  závisí na vlastnostech trakčního obvodu a vlastnostech ostatních spolupracujících brzdných systémů. Elektrodynamickou brzdu proto nelze vždy využít k zajištění soupravy v klidu [20].

Dle dokumentace [10] a odborné konzultace [19] elektrodynamické brzdy souprav M1 a 81-71M fungují na stejném fyzikálním principu. V případě výpadku elektrické energie se však projeví jisté odlišnosti, které jsou dány typem trakčního motoru. Souprava M1 využívá asynchronní trakční motor. Při výpadku elektrické energie je elektrodynamická brzda v provozu. Souprava 81-71M využívá stejnosměrný trakční motor s cizím buzením. Při výpadku elektrické je elektrodynamická brzda v provozu pouze tehdy, pokud je do trakčního motoru dodána elektrická energie z *vozidlové baterie*.

### ***Pneumatická brzda***

Pneumatická brzda využívá k přenosu energie pro brzdění stlačený vzduch vyráběný prostřednictvím kompresorových jednotek. Pneumatická brzda je v soupravách metra využívána jako hlavní provozní brzda při poruše elektrodynamické brzdy. Na soupravách metra dále plní roli brzdy samočinné a nouzové [19]. Samočinná brzda je aktivována například při rozpojení soupravy. Brzda nouzová je aktivována přerušením bezpečnostní smyčky, ke kterému dojde v případě: zásahu zabezpečovacího zařízení, zásahu autostopu, stisknutím tlačítka na pultě strojvedoucího, uvolněním pedálu bdělosti při jízdě bez zabezpečovacího zařízení nebo vypnutím vozidlové baterie [19]. Popis jednotlivých komponent pneumatické brzdy je zde pro svou složitost zjednodušen. Základní komponenty pneumatických brzd jsou dle technické dokumentace [10]: brzdová potrubí, zásobníky

stlačeného vzduchu, brzdíče, kompresory a ovládání brzdy. Pro rychlejší náběh brzdné síly a odbrzdování jsou pneumatické brzdy doplněny o další prvky, například pomocné zásobníky stlačeného vzduchu [10,19].

### ***Elektropneumatická brzda***

Elektropneumatická brzda využívá ke své funkci obdobné principy jako brzda pneumatická. Vybrané ovládací prvky jsou ovládány pomocí elektrické energie, nikoli stlačeného vzduchu, jak je tomu u brzdy pneumatické. Základním ovládacím prvkem je elektropneumatický ventil [20].

### ***Střídačová pružinová brzda***

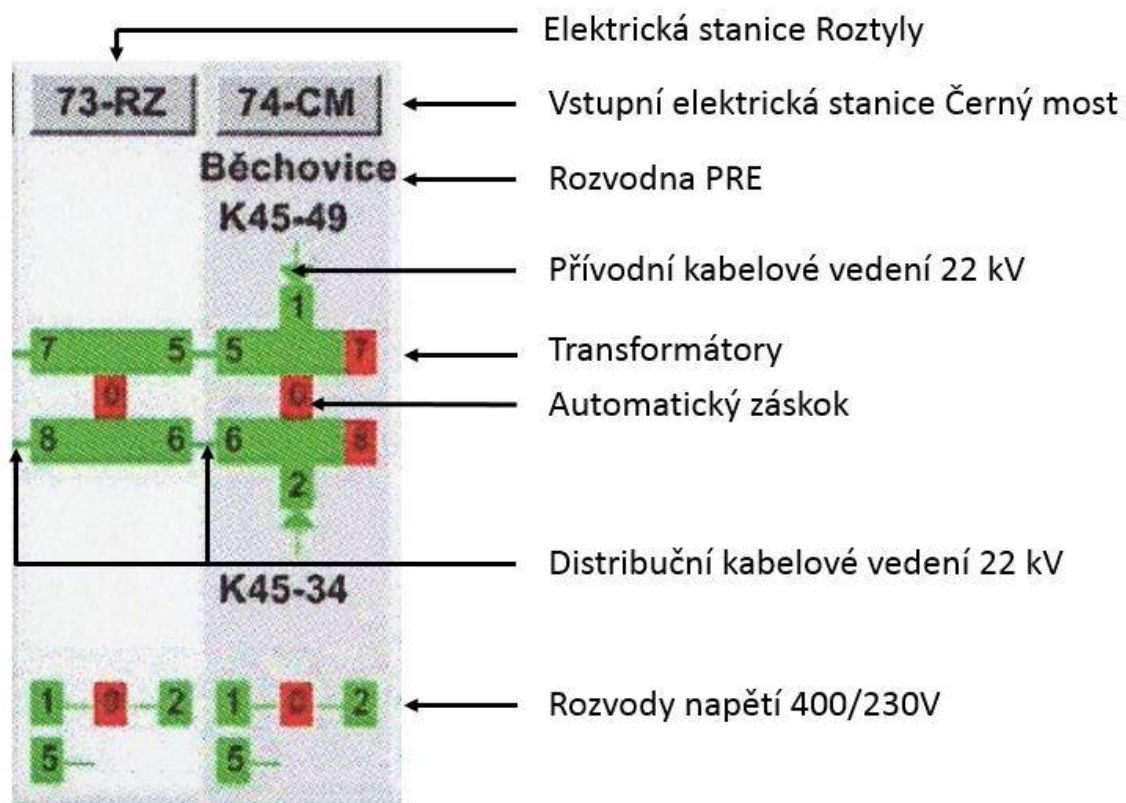
Střídačová pružinová brzda využívá jako zdroj brzdné síly pružinu. Zdrojem síly pro stažení pružiny je stlačený vzduch. V soupravách metra je brzda ovládána impulsním ventilem. Odbrzdění a zabrzdění je možné přes napěťový impuls, tlačítkem impulsního ventilu pomocí stlačeného vzduchu. Kromě pneumatického ovládání lze odbrzdit brzdou mechanicky prostřednictvím lanka umístěného v blízkosti podvozku. Opětovné zabrzdění je možné pouze za pomoci stlačeného vzduchu [10,19].

## **2.6. Dispečerská stanoviště**

Na základě dokumentace [10] se dispečerská stanoviště metra dělí na následující samostatná stanoviště: elektrodispečink, vlakový dispečink, technologický dispečink, sdělovací a zabezpečovací dispečink, dispečink hasičů a dispečink depa se správou vozového parku. Pro účely diplomové práce jsou podrobněji popsány jen elektrodispečink a vlakový dispečink.

### **2.6.1. Elektrodispečink**

Stanoviště elektrodispečinku se nachází v budově Centrálního dispečinku. Elektrodispečink slouží k řízení a monitoraci napájení pražského metra elektrickou energií. Řízení a monitorace jsou zajištěny prostřednictvím systému ASDŘ–E. V prostorách elektrodispečinku se nachází čtyři dispečerská stanoviště. Tři jsou určeny pro linky metra A, B a C. Čtvrté stanoviště je určeno pro velitele směny. Elektrodispečeri ze svých stanovišť ovládají a monitorují: veškeré rozvody elektrické energie 22 kV, částečně rozvody elektrické energie 400/230 V na vybraných stanicích [14]. Grafické zobrazení řídicího systému ASDŘ–E je zobrazeno na obrázku 9.

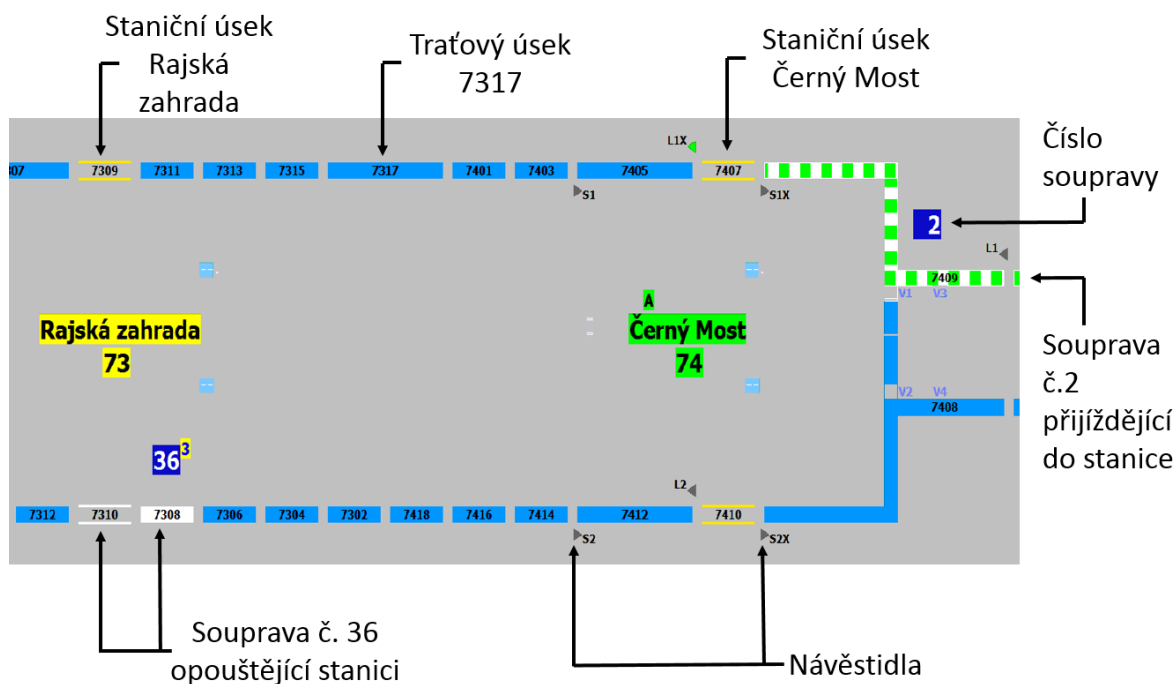


Obrázek 9 - Grafický výstup systému ASDR-E na monitoru elektrodispečera [14]

Na obrázku 9 je zobrazena tzv. základní vrstva. Při výběru konkrétní elektrické stanice se elektrodispečerovi zobrazí další vrstva obsahující jednotlivá zařízení vybrané elektrické stanice.

### 2.6.2. Vlakový dispečink

Stanoviště vlakového dispečinku se nachází v budově Centrálního dispečinku. Vlakový dispečink slouží k řízení ve smyslu ovládání a monitorování vlakového provozu. Řízení a monitorování jsou zajištěny prostřednictvím systému ASDR-D. V prostorách vlakového dispečinku se nachází čtyři dispečerská stanoviště. Tři jsou určena pro linky metra A, B a C. Čtvrté stanoviště je určeno pro velitele směny. Vlakový dispečer z svých stanovišť řídí a monitorují provoz souprav v pražském metru. Řízení provozu zahrnuje řešení běžných provozních situací (odchylek od jízdního řádu) a vzniklých nežádoucích událostí. Systém ASDR-D umožňuje automatické ovládání vybraných funkcí zabezpečovacích zařízení a ostatních technologií, např. automatické stavění jízdnic cest. Grafické zobrazení řídicího systému ASDR-D na monitoru vlakového dispečera je zobrazeno na obrázku 10.



Obrázek 10 - Grafický výstup systému ASDR-D na monitoru vlakového dispečera [21]

Na obrázku 10 je znázorněn grafický výstup systému ASDR-D na monitoru vlakového dispečera. Konkrétně se jedná o linku B, úsek stanic Rajská zahrada a Černý Most. Do stanice Černý Most vjíždí souprava č. 2. Bílá barva reprezentuje obsazený kolejový úsek. Zelené pruhy reprezentují postavenou jízdní cestu. Pro vlakového dispečera a řízení vlakové dopravy je nezbytné znát *polohu a identifikaci* vlakových souprav na trati. Poloha souprav je zobrazována na základě informací z obsazenosti kolejových obvodů (traťových úseků). Číslo vlaku je zobrazováno na základě informací ze systému identifikace čísla vlaku.

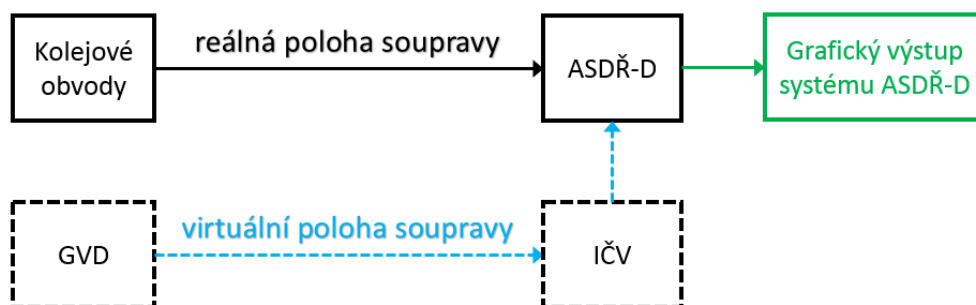
### ***Kolejové obvody***

Kolejové obvody lze obecně definovat jako elektrické obvody využívající pro vedení a přenos elektrické energie kolejnic. Při průjezdu soupravy metra kolejovým obvodem dojde prostřednictvím dvojkolí soupravy k uzavření elektrického obvodu. Koleje v metru jsou rozděleny na předem definované kolejové obvody. Na základě obsazenosti jednotlivých kolejových obvodů lze sledovat polohu souprav metra. Kolejové obvody jsou také důležitou součástí vlakových i staničních zabezpečovacích zařízení využívaných v pražském metru. Prostřednictvím kolejových obvodů jsou staniční a traťová zabezpečovací zařízení, instalovaná v metru, schopna kontrolovat obsazení kolejových úseků [11].

### ***Identifikace čísla vlaku***

Identifikace čísla vlaku (dále jen IČV) je velice sofistikovaný systém vycházející z požadavků na systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodící dráhou dle normy [25].

Pro potřeby diplomové práce je zde uvedeno pouze základní vysvětlení IČV z hlediska vlakového dispečinku. Kromě bezpečného provozu je pro vlakového dispečera prioritou zajistit pravidelnost a plynulost provozu metra. Ke splnění zmíněných cílů se využívá grafikonu vlakové dopravy (dále jen GVD). GVD obsahuje grafické znázornění pohybu souprav metra po dráze v závislosti na čase. Pro pravidelné a plynulé řízení metra je nezbytné, aby vlakový dispečer viděl nejen pohyb souprav, ale i jejich pohyb v čase. Primární funkcí IČV je přiřazení čísel soupravám na základě informací z GVD. Výstup zobrazený na obrázku 11 je založen na porovnávání reálné polohy soupravy z kolejových obvodů s její „virtuální“ polohou z GVD. Zjednodušené schéma je znázorněno na obrázku 11.



Obrázek 11 - Zjednodušený princip IČV (vytvořeno autorem dle [11,21])

## 2.7. Vybrané systémy režimu OSM

Dle dokumentace [10] ochranným systémem metra (dále jen OSM) rozumíme komplex prostor a zařízení sloužících k ukrytí a evakuaci obyvatel při mimořádných událostech. Prostory a zařízení OSM se nachází ve stanicích, tunelech i mimo ně [11]. Popis prostor a zařízení není cílem diplomové práce, nicméně pro potřeby práce jsou zde zmíněny dieselagregáty, které dle [11] je též možno použít při výpadku napájení metra z elektrické sítě s tím, že technické provedení dosud nebylo komplexně vyzkoušeno.

Dieselagregátové jednotky jsou umístěny v podzemních prostorách energocenter OSM. Původně byly projektovány jako náhradní zdroj elektrické energie pro režim OSM při případném útoku na elektrárny nebo poškození vnější elektrické přenosové soustavy. V současnosti je s dieselagregáty počítáno i pro potřeby dopravního systému metra (dále jen DSM). Dieselagregátové jednotky jsou napojeny na distribuční kabelové vedení 22 kV [11].

### **3. Metody zpracování dat**

Rizikové inženýrství lze definovat jako mnohaoborový a průřezový obor. Metody, v něm využívané, jsou obecného i specifického charakteru. Obecné metody bývají nejčastěji logického, technického, finančního, manažerského nebo rozhodovacího charakteru. Specifické metody jsou obvykle komplexního charakteru a jsou složeny z několika metod obecných. Specifické metody jsou také ovlivněny pojmy a postupy pro daný obor, ve kterém se využívají. Jejich klasifikace je do jisté míry obtížná, a proto zde nebude uvedena [3, 22].

Pro účely předložené diplomové práce byly pro sběr dat využity následující metody: analýza a syntéza, metoda analogie, metoda dedukce, metoda shody, strukturovaný rozhovor a dotazování, tvorba modelů, procesní model, případová studie, analýza WHAT, IF a metoda hodnocení bezpečnosti sledovaného systému pomocí srovnání s normativem.

#### ***Analýza a syntéza***

Analýza je myšlenkový (logický) postup poznávání okolního světa a v něm vymezených objektů, jevů, procesů a problémů. Její podstata spočívá v myšlenkovém (logickém) rozložení celku na jeho jednotlivé části a pochopení jeho struktury. Jejím cílem poznání podstaty zkoumaného systému a také poznání jeho zákonitostí. Analýza musí být všestranná, aby bylo možné lépe poznat zkoumaný objekt v jeho komplexnosti. Je základem pro každé správné rozhodování o jevu, problému, procesu a události [22].

Syntéza je logický proces, který sjednocuje části, vlastnosti a vztahy v jeden celek. Je o postup poznávání nebo konstrukce systémů. Syntézu nelze chápat jako pouhý souhrn analytického poznání, ale jako soubor analytického poznání a zjištěných logických propojení. Pro poznání systému se musí spojovat a prolínat jak analýza, tak syntéza [22].

#### ***Metoda analogie***

Metoda analogie je založena na využívání podobnosti znaků, prvků, struktury mezi různými objekty, systémy nebo jevy. Jde především o podobnosti mezi strukturami a funkcemi objektů jako přírodních a účelových systémů [22]. Pětistupňový koncept řízení bezpečnosti uvedený v práci byl vytvořen metodou analogie z konceptů bezpečnosti používaných v jaderné energetice.

#### ***Metoda dedukce***

Metoda dedukce je logický postup od obecného ke konkrétnímu na základě logiky. Jedná se o jeden ze základních způsobů úsudku a metod zkoumání. Myšlenkový (logický) proces je

vytváren na základě dvou nebo více skutečností nebo tvrzení. Při aplikaci na posuzování variant řešení daného problému umožňuje aplikovat logická pravidla na jednotlivé varianty řešení daného problému a tím odvodit jejich specifické přínosy a dopady [22].

### ***Metoda shody***

Shoda (komparace) je technika porovnání objektů či předmětů sledování s poznávacím, určujícím a rozlišujícím znakem s cílem stanovit jejich shodné a rozdílné znaky. Má významnou roli v úsudcích založených na analogii [22]. ***Metoda shody*** je definována dle příslušné normy ČSN [23]. Metoda porovnávání podrobností je založena na tvůrčím myšlenkovém procesu, jehož cílem je vyhledávání objektů, které jsou tvarem, složením, rozměry, hmotností apod. podobné výrobku nebo procesu, jenž je předmětem racionalizace [22].

### ***Strukturovaný rozhovor a standardizované dotazování***

Strukturovaný rozhovor slouží k získání vyžadovaných informací pomocí přímé interakce s respondentem. Rozhovor může být prováděn „face-to-face (z očí do očí)“, nebo přes vybrané komunikační médium (telefon, mail apod.). Standardizované dotazování je založené na předem připraveném seznamu otázek, které jsou respondentovi pokládány [4].

### ***Tvorba modelů***

Model lze obecně definovat jako specifický nástroj pro poznávání reality, která nás obklopuje. Tvorba modelů je technika, kterou vytváříme zjednodušený obraz systému (procesů) a na něm sledujeme zkoumané souvislosti. Předmětná technika je založena na logické analogii. Model musí být v určitém smyslu obdobný originálu a zobrazuje ty vlastnosti, které jsou považovány za podstatné, zatímco nepodstatné vlastnosti v modelu jsou zanedbávány [22].

### ***Procesní model***

Procesem rozumíme sled jevů nebo činností, které se vyvíjí v časoprostoru a lze u nich rozlišit vstupy a výstupy. Uvnitř každého procesu obvykle probíhají další podprocesy. Procesním modelem poté rozumíme zobrazení určitého procesu zaměřeného na určitý cíl. Základním elementem pro řízení procesů jsou tzv. procesní modely. Modelováním rozumíme specifické poznávání reality, která nás obklopuje. Vytvořenou simulaci reality poté využijeme k poznávání či ověření reality skutečné. V práci se používají procesní modely vztahované zejména k procesům spojeným s výpadkem elektrické energie [1].

### ***Případová studie***

Metoda případové studie je technika používaná při vytváření variant v případě nestrukturovaných nebo špatně strukturovaných procesů. Případové studie jsou podle umístění v časové ose buď historické scénáře, nebo možné prediktivní scénáře ukazující způsoby rozhodování při konkrétních situacích. Z metodického hlediska jde o vybrané modely průběhu určitého procesu, který probíhá ve zcela konkrétních podmínkách. Případová studie, která se vztahuje ke specifickému rozhodnutí, je spojena s určitými pracovními modely nebo simulacemi procesů, které probíhají v čase a území či v nějaké entitě [22].

### ***WHAT, IF analýza***

Analýza „co se stane, když“ je postup pro hledání možných dopadů vybraných provozních situací. Postup nemá inherentně zabudována pravidla a omezení co se týče předurčení možných situací. Analýza nemá vnitřně strukturovanou techniku. Cílem analýzy jsou identifikace zdrojů rizik, nebezpečných situací nebo určité nehodové události, které mohou způsobit nežádoucí dopady. Pro řízení bezpečnosti systémů se používá tabulka, do které se vyplňují dopady na sledovaná aktiva systému. Jak již bylo zmíněno dříve, jsou aktiva veřejná i aktiva soukromých subjektů. Metro je provozováno soukromým subjektem, který respektuje jak aktiva veřejná, tak aktiva vlastní. Pro zajištění metra jako bezpečného systému jsou sledována i aktiva vlastní [1].

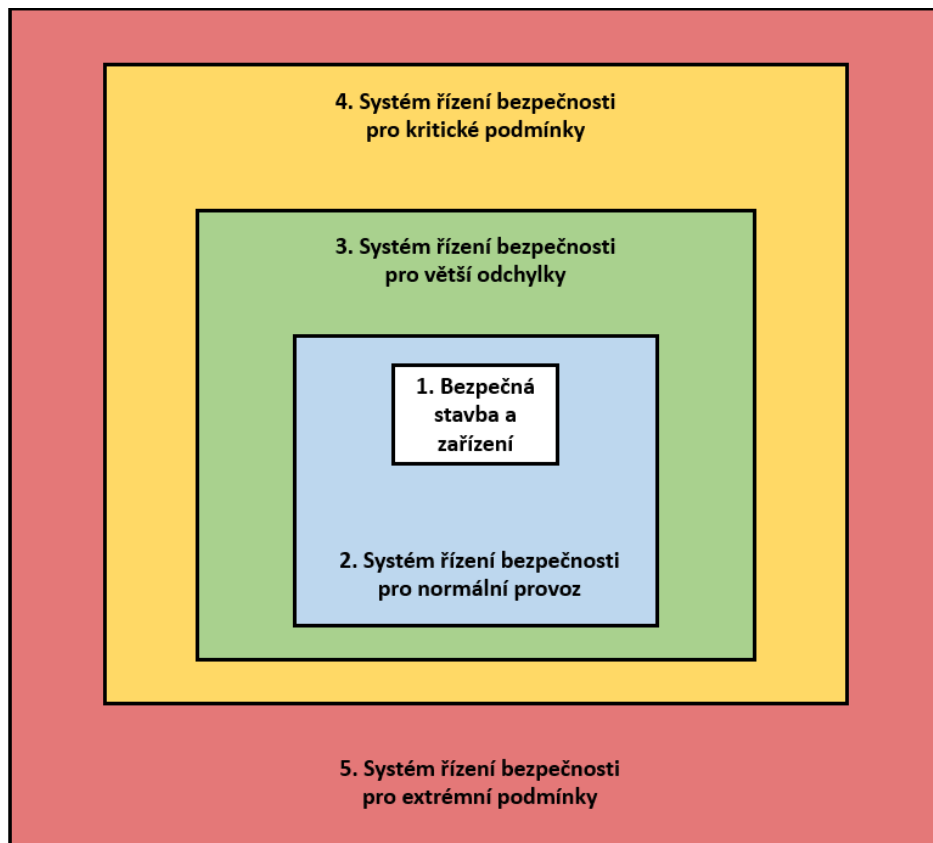
### ***Metoda hodnocení bezpečnosti sledovaného systému pomocí srovnání s normativem***

Pokrokový normativ řízení bezpečnosti technologických objektů, uvedený na obrázku 12, vychází z konceptů bezpečnosti používaných v jaderné energetice [26]. Základní požadavky zmíněného konceptu jsou:

- využívání systémů inherentní bezpečnosti,
- řízení průřezových rizik v dynamicky proměnném světě,
- aplikace procesu řízení bezpečnosti, který dominuje nad všemi procesy organizačními i technickými.

Pro potřeby složitých technologických systémů byl výše zmíněný koncept upraven metodou analogie [26].





Obrázek 12 - Pětistupňový systém řízení bezpečnosti technologických objektů [26]

Předmětný model dále aplikujeme na metro. Normativ bezpečného metra, dle uvedeného principu, má pět základních vrstev.

### **1. Metro = Bezpečná stavba a zařízení = Bezpečný systém**

Metro, jeho zařízení, komponenty a systémy jsou vybudovány tak, že respektují rizika od všech možných pohrom (All Hazard Approach [2]).

Dále se omezíme jen na úsek spojený s napájením metra elektrickou energií.

### **2. Systém napájení metra pro normální provoz**

Systém napájení elektronických systémů metra obsahuje základní řídicí funkce, které v sobě implementují monitorovací zařízení. Reakce operátora jsou zpracovány tak, aby řídicí systémy metra (bezpečnostní systém metra) udržely metro a provoz metra při normálním stavu, tj. za normálních podmínek.

### **3. Systém napájení metra pro abnormální provoz (větší odchylky)**

Systém napájení elektronických systémů metra má speciální řídicí systémy a postupy, které udržují metro a provoz metra v bezpečném stavu i při větší změně provozních podmínek.

#### ***4. Systém napájení metra pro kritické podmínky***

Výskyt kritických podmínek způsobí částečnou či úplnou ztrátu napájení metra včetně selhání některých záložních zdrojů elektrické energie. Bezpečnostní systém metra má vyšší úroveň řízení pro případ nouze, která obsahuje opatření pro vnitřní nouzovou odezvu, zajistí návrat do normálního provozu nebo aspoň zmírní dopady na metro, cestující a zaměstnance metra.

#### ***5. Systém napájení metra pro extrémní podmínky***

Výskyt extrémních podmínek způsobí úplnou ztrátu napájení metra včetně úplné selhání záložních zdrojů. Bezpečnostní systém má specifickou úroveň pro případ extrémní (nadprojektové) pohromy, která zajistí, že v systému metra jsou zavedena zmírňující opatření pro prevenci ztrát v metru, pro ochranu cestujících a zaměstnanců metra, a pro ochranu lidí v okolí metra.

Hodnocení bezpečnosti sledovaného systému, tj. systému napájení metra elektrickou energií se provádí srovnáním stávajících zařízení a funkcí s normativem.

## **4. Dopady selhání elektrické energie**

Kapitola v prvním odstavci vymezuje oblast, ve které je daná problematika řešena. Další odstavec obsahuje informace o předmětu výzkumu, doplněné grafickým modelem. Předmět výzkumu je rozdělen na dvě zkoumané oblasti. Následuje popis první zkoumané oblasti, pak následuje popis druhé zkoumané oblasti a poté vyhodnocení zjištěných nedostatků. V závěru kapitoly je provedeno souhrnné srovnání skutečného provedení s normativem.

### **4.1. Vymezení řešeného problému**

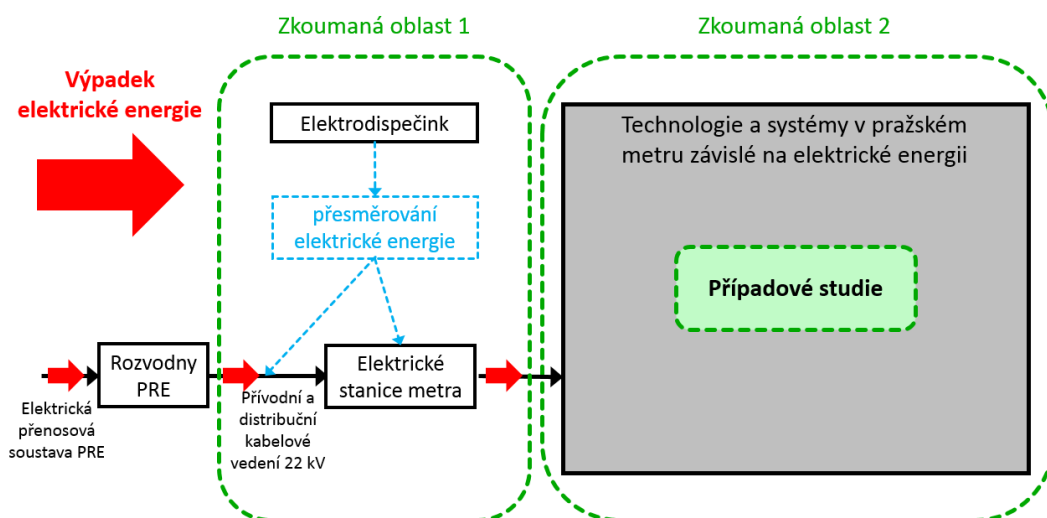
Předmětná diplomová práce je zpracována jako veřejná, a proto v ní nejsou uvedena žádná konkrétní kritická místa, jejichž poškození by mohlo ohrozit nejen bezpečí metra, jeho okolí, ale i obyvatel Prahy a České republiky.

Selhání dodávek elektrické energie do pražského metra má dopady na veškeré systémy metra, které ke své činnosti elektrickou energii využívají. Pro analýzu a ocenění rizik vzniklých při výpadku elektrické energie je nutné předem pochopit a popsat chování všech systémů pražského metra a podrobně analyzovat veškeré probíhající procesy, vazby a toky mezi jednotlivými systémy. Z důvodů rozsahu práce a časové náročnosti zde není uvedena komplexní analýza všech možných rizik spojených s výpadkem elektrické energie, ale jen vybraných oblastí.

### **4.2. Předmět výzkumu**

Dopady selhání elektrické energie v pražském metru jsou analyzovány ve dvou zkoumaných oblastech. První zkoumanou oblastí je elektrodispečink, kde jsou popsány možnosti přesměrování elektrické energie v rámci distribuční rozvodné sítě 22 kV. Druhou zkoumanou oblastí jsou technologie a systémy v pražském metru závislé na elektrické energii. V druhé zkoumané oblasti jsou vybrány a dále vyšetřovány čtyři případové studie.

Na základě získaných a verifikovaných dat a znalostí o pražském metru uvedených v předchozích kapitolách je sestaven model zkoumaných oblastí zobrazený na obrázku 13.



Obrázek 13 - Zjednodušený model zkoumaných oblastí

### 4.3. Výpadky rozveden PRE a jejich přímý vliv na provoz pražského metra

Distribuce elektrické energie pro pražské metro zajišťuje společnost PRE, prostřednictvím patnácti rozveden PRE, nacházejících se v pražské aglomeraci. Distribuční síť 22 kV, sloužící k napájení jednotlivých elektrických stanic, je uzpůsobena tak, aby byly minimalizovány dopady na provoz metra v případě výpadku jedné, či více rozveden PRE. Předmětná minimalizace dopadů je realizována prostřednictvím možnosti přesměrování elektrické energie v síti 22 kV.

V energetické soustavě pražského metra, uvedené v odstavci 2.3, zvažujeme dle technické dokumentace [10] chráněná aktiva: elektrická přenosová soustava PRE, elektrické stanice metra, energetické toky a informační toky. Předmětná chráněná aktiva jsou uvedena v tabulce 8. Dopady na předmětná chráněná aktiva, zjištěné metodou WHAT, IF jsou v tabulce 9.

Tabulka 8 - Chráněná aktiva energetické rozvodné sítě metra (vytvořeno autorem)

| Aktiva   | Aktiva energetické rozvodné sítě metra   |
|--|--|
| Majetek (technologie, infrastruktura, objekty, zařízení) |  |
| Místa  | <ul style="list-style-type: none"> <li>rozvodny PRE</li> <li>elektrodispečink</li> <li>elektrické stanice metra</li> </ul>   |
| Toky   |  |
| Energetické  | <ul style="list-style-type: none"> <li>přívodní kabelové vedení 22 kV z rozvodny PRE</li> <li>distribuční kabelové vedení 22 kV</li> <li>elektrická vedení nízkého napětí 400/230 V</li> </ul> |
| Informační   | <ul style="list-style-type: none"> <li>systémy dálkového ovládání</li> </ul>   |

Tabulka 9 - Analýza WHAT, IF zkoumané oblasti 1 (vytvořeno autorem)

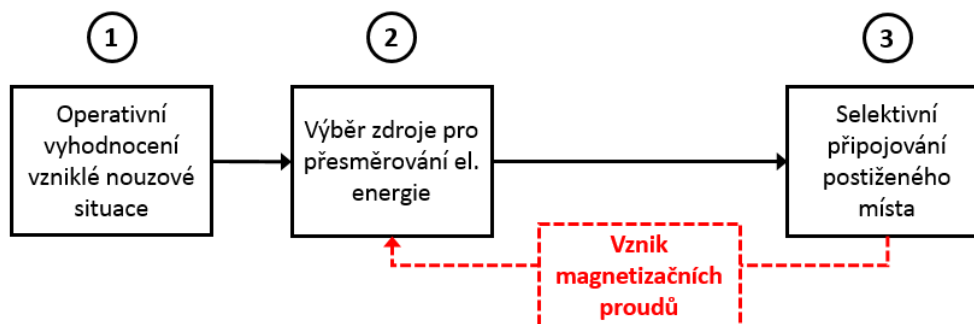
| Chráněná aktiva |   | Dopady   |
|-----------------|---|--|
| Majetek         |   |  |
| Místa           | rozvodny PRE                                  | výpadek zařízení, ztráta zdrojů napájení distribuční sítě 22 kV  |
|                 | elektrodispečink                              | výpadek zařízení, ztráta řízení napájení pražského metra   |
|                 | elektrické stanice metra                      | výpadek zařízení, ztráta napájení navazujících zařízení  |
| Toky            |   |  |
| Energetické     | přívodní kabelové vedení 22 kV z rozvodny PRE | výpadek přívodního napájení stanice metra z rozvodu PRE, výpadek napájení distribučního vedení 22 kV z rozvodu PRE                             |
|                 | distribuční kabelové vedení 22 kV             | výpadek napájení elektrické stanice MDT z distribučního kabelového vedení 22 kV  |
|                 | elektrická vedení nízkého napětí 400/230 V    | výpadek všech systémů bez záloh  |
| Informační      | systémy dálkového ovládání                    | výpadek systému, ztráta ovládání vybraných prvků elektrických stanic, ztráta možnosti přesměrování elektrické energie v distribuční síti 22 kV |

Z tabulky 9 vyplývá, že selhání elektrické energie má dopady na všechna chráněná aktiva energetické soustavy pražského metra.

Za účelem zmírnění dopadů se v energetické soustavě pražského metra využívá technologických zmírňujících opatření v podobě záložních zdrojů elektrické energie a možnosti přesměrování elektrické energie v distribuční síti 22 kV. Předmětné záložní zdroje jsou určeny pro: elektrodispečink, systémy dálkového ovládání a vybrané prvky elektrických stanic metra dle technické dokumentace [10].

Dle technické dokumentace [10] jsou možnosti přesměrování elektrické energie v síti 22 kV limitovány mnoha faktory, a to především aktuální spotřebou elektrické energie, aktuálním počtem souprav na trati, aktuální spotřebou navazujících subsystémů apod. Při výpadku napájení z rozvodu PRE jsou postižené oblasti selektivně připojovány na nejbližší dostupný napájecí bod PRE, který se v distribuční síti 22 kV nachází. Úkolem elektrodispečera je v případě vzniklé události operativně vyhodnotit situaci a postiženou oblast selektivně připojit na síť 22 kV napájenou z jiné rozvodny PRE. Během selektivního připojování je pro elektrodispečera prioritou sledování aktuálních odběrů z míst, odkud elektrickou energii přesměrovává.

Proces přesměrování elektrické energie lze obecně zjednodušit do třech následujících bodů uvedených na obrázku 14.



Obrázek 14 - Zjednodušený model procesu přesměrování elektrické energie (vytvořeno autorem)

**Operativní vyhodnocení vzniklé nouzové situace** – dle technické dokumentace [10] je prováděno elektrodispečerem v závislosti na charakteru vzniklé nouzové situace.

**Výběr zdroje pro přesměrování elektrické energie** – dle technické dokumentace [10] je závislý na aktuálních odběrech elektrické energie a charakteru vzniklé nouzové situace. Každý zdroj (rozvodna PRE) je opatřen proudovou ochranou, při jejímž překročení dojde k výpadku zdroje.

**Selektivní připojování postiženého místa** – dle technické dokumentace [10] je rozmanité, závisí na dynamickém chování systému a na výběru vhodného scénáře ze scénářů, které příslušný elektrodispečer zná z výcviku a ze zkušeností. Dle technické dokumentace [10] se předpokládá, že připojování bude probíhat v následujícím sledu: transformátory sloužící k napájení osvětlení a dobíjení staničních baterií a UPS, dále transformátory určené pro specifické systémy ve stanici (např. čerpací stanice), transformátory trakce a transformátory ostatních strojních zařízení (např. eskalátory). Během selektivního připojování jednotlivých transformátorů dojde ke vzniku tzv. magnetizačních proudů, popsanych v odstavci 1.7.2. Při nesprávném vyhodnocení způsobí magnetizační proudy překročení proudové ochrany zdroje (rozvodny PRE), ze kterého je elektrická energie odebírána. Překročení proudové ochrany způsobí výpadek zdroje (rozvodny PRE).

Z výše uvedeného vyplývá, že:

- nejsou vypracovány scénáře odezvy na možná selhání rozvodn PRE,
- selektivní připojování postiženého místa je prováděno ad hoc a závisí na znalostech a zkušenostech elektrodispečera,

- nejsou vypracovány scénáře postupů při selhání záložních zdrojů (staničních baterií, vozidlových baterií a UPS),
- nejsou vypracovány scénáře pro možnosti využití dieselaagregátových jednotek
- není organizován výcvik elektrodispečerů z hlediska situace blackout.

#### 4.4. Dopady selhání elektrické energie - čtyři případové studie

Analýza dopadů selhání elektrické energie v pražském metru je zpracována pro vybrané čtyři případové studie. Na základě technické dokumentace [10] jsou určena chráněná aktiva, a dopady výpadku elektrické energie na ně identifikované metodou WHAT, IF v každém sledovaném případě.

##### 4.4.1. Případová studie 1

Případová studie 1 obsahuje modelovou stanicí X, nacházející se v ulici XXY v pražské aglomeraci. Hloubka stanice je 51 metrů, vstup do stanice je zajištěn prostřednictvím jednoho vestibulu. Nástupiště je s vestibulem spojeno tunelem, ve kterém jsou instalovány troje pohyblivé schody. Jedny pohyblivé schody jsou z důvodu prováděné údržby mimo provoz. Délka pohyblivých schodů činí 39 metrů. K výpadku elektrické energie dochází v pondělí v 7:36 (SEČ). Během výpadku elektrické energie se ve stanici nachází souprava metra.

V první případové studii zvažujeme chráněná aktiva: životy a zdraví lidí, majetek v modelové stanici, energetická zařízení, sdělovací zařízení, zabezpečovací zařízení, strojní zařízení, vzduchotechnická zařízení, osvětlovací technika, nouzové zdroje elektrické energie a energetické toky. Předmětná chráněná aktiva jsou uvedena v tabulce 10.

Tabulka 10 - Chráněná aktiva případové studie 1 (vytvořeno autorem)

| Aktiva   | Aktiva ve stanici X   |
|--|---|
| Životy a zdraví  |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• životy a zdraví cestujících</li> <li>• životy a zdraví zaměstnanců</li> </ul>  |
| Majetek (technologie, infrastruktura, objekty, zařízení) |   |
| Stanice metra  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vestibul stanice</li> <li>• nástupiště stanice</li> <li>• souprava metra ve stanici</li> <li>• stanoviště dozorcího</li> </ul> |
| Energetická zařízení                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrická stanice typu MDT</li> </ul>   |

|                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| Sdělovací zařízení                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• telefonní spoje</li> <li>• staniční rozhlas</li> <li>• základová stanice rádiového spojení VKV</li> <li>• elektrická požární signalizace (EPS)</li> </ul>   |
| Zabezpečovací zařízení            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• staniční a traťové zabezpečovací zařízení ESA 11 M</li> </ul>   |
| Strojní zařízení                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• eskalátory ve stanici</li> <li>• výtah ve stanici</li> <li>• čerpací stanice odpadních vod ve stanici</li> </ul>  |
| Vzduchotechnická zařízení         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hlavní větrání</li> <li>• staniční vzduchotechnika</li> </ul>   |
| Osvětlovací technika              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• normální, náhradní, nouzové a únikové osvětlení</li> </ul>  |
| Nouzové zdroje elektrické energie | <ul style="list-style-type: none"> <li>• staniční baterie</li> <li>• dobíjecí jednotky pro staniční baterie</li> <li>• UPS jednotky zabezpečovacího zařízení</li> <li>• UPS jednotky sdělovacích zařízení</li> <li>• náhradní zdroj EPS</li> </ul> |
| <b>Toky</b>                       |  |
| Energetické                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• přívodní kabelové vedení 22 kV z rozvodny PRE</li> <li>• distribuční kabelové vedení 22 kV</li> <li>• elektrická vedení nízkého napětí 400/230 V</li> <li>• trakční vedení</li> </ul>                     |

Dopady výpadku elektrické energie na chráněná aktiva jsou v tabulce 11.

Tabulka 11 - Analýza WHAT, IF případové studie 1 (vytvořeno autorem)

| <b>Chráněná aktiva stanice X</b> |                           | <b>Dopady</b>   |
|----------------------------------|---------------------------|---|
| Životy a zdraví lidí             |                           |   |
| Životy a zdraví cestujících      |                           | možné zranění přítomných osob, možné úmrtí přítomných osob                            |
| Životy a zdraví zaměstnanců      |                           | možné zranění přítomných osob, možné úmrtí přítomných osob                            |
| <b>Majetek</b>                   |                           |   |
| Stanice metra X                  | veřejné prostory          | výskyt velkého množství osob, vznik paniky, možnost ušlapání                          |
|                                  | souprava metra ve stanici | výskyt velkého množství osob, vznik paniky, možnost ušlapání                          |
|                                  | stanoviště dozorců        | znemožnění dohledu a řízení stanice   |
| Energetická zařízení             | elektrická stanice MDT    | výpadek transformátorových a usměrňovacích zařízení, výpadek navazujících technologií |
| Sdělovací zařízení               | telefonní spoje           | výpadek zařízení, znemožnění telefonního spojení                                      |



|                                   |  |   |
|-----------------------------------|--|---|
|                                   | staniční rozhlas                                   | výpadek zařízení, znemožnění vyhlásování zpráv a pokynů   |
|                                   | základová stanice rádiového spojení VKV            | výpadek zařízení, znemožnění komunikace   |
|                                   | elektrická požární signalizace EPS                 | výpadek zařízení, znemožnění automatického hlášení požárů   |
| Zabezpečovací zařízení            | staniční a traťové zabezpečovací zařízení ESA 11 M | výpadek zařízení, znemožnění stavění vlakových cest, výpadek napájení kolejových obvodů, znemožnění sledování obsazenosti kolejových obvodů |
| Strojní zařízení                  | pohyblivé schody ve stanici                        | výpadek zařízení, možné zranění přítomných lidí během zastavování pohyblivých schodů, ztížení pohybu cestujících                            |
|                                   | výtah ve stanici                                   | výpadek zařízení, uváznutí přítomných osob,   |
|                                   | čerpací stanice ve stanici                         | výpadek zařízení, možné zatopení stanice odpadní vodou  |
| Vzduchotechnická zařízení         | hlavní větrání                                     | výpadek zařízení, možnost otravy a udušení lidí v případě vypuknutí požáru  |
|                                   | staniční vzduchotechnika                           | výpadek zařízení, znemožnění odvětrání nebezpečných látek, možnost otravy a udušení lidí  |
| Osvětlovací technika              | normální osvětlení                                 | výpadek zařízení, ztížení pohybu přítomných osob  |
|                                   | náhradní osvětlení                                 | výpadek zařízení, ztížení pohybu přítomných osob  |
|                                   | nouzové a únikové osvětlení                        | výpadek zařízení, ztížení pohybu přítomných osob  |
| Nouzové zdroje elektrické energie | staniční baterie                                   | znemožnění dobíjení zařízení,   |
|                                   | dobíjecí jednotky pro staniční baterie             | výpadek zařízení, znemožnění dobíjení staničních baterií  |
|                                   | UPS jednotky zabezpečovacího zařízení              | znemožnění dobíjení zařízení,   |
|                                   | UPS jednotky sdělovacích zařízení                  | znemožnění dobíjení zařízení,   |
|                                   | náhradní zdroj EPS                                 | znemožnění dobíjení zařízení,   |
| <b>Toky</b>                       |  |   |
| Energetické                       | přívodní kabelové vedení 22 kV z rozvodny PRE      | výpadek přívodního napájení stanice metra z rozvodny PRE, výpadek napájení distribučního vedení 22 kV z rozvodny PRE                        |
|                                   | distribuční kabelové vedení 22 kV                  | výpadek napájení elektrické stanice MDT z distribučního kabelového vedení 22 kV   |
|                                   | elektrická vedení nízkého napětí 400/230V          | výpadek všech systémů bez záloh   |
|                                   | trakční vedení                                     | výpadek napájení vlakových souprav  |

Z tabulky 11 vyplývá, že selhání elektrické energie má dopady na všechna chráněná aktiva stanice X.

Za účelem zmírnění dopadů se dle technické dokumentace [10] v modelové stanici X využívá technologických zmírňujících opatření v podobě záložních zdrojů elektrické energie. Předmětné záložní zdroje jsou určeny pro: sdělovací zařízení, zabezpečovací zařízení, nouzovou osvětlovací techniku a systém EPS.

Z výše uvedeného vyplývá, že:

- při výstavbě metra nebyly zváženy požadavky přístupu All Hazard Approach (např. vypuknutí požáru v prostorách soupravy během výpadku elektrické energie),
- nejsou připraveny scénáře řešení pro možné selhání staničních baterií a UPS,
- dieselagregátové jednotky určené pro vzduchotechnická zařízení a čerpací stanice ve stanici nebyly doposud komplexně testovány
- dojde ke zhoršení možnosti evakuace veřejnými přístupy kvůli tomu, že pohyblivé schody a výtahy jsou vyřazeny z činnosti,
- přerušení odčerpávání odpadních vod,
- postupné zhoršování ovzduší ve stanici (nečinnost ventilace).

#### **4.4.2. Případová studie 2**

Druhá případová studie zvažuje dvě stanice G a Y propojené traťovými tunely, které se nachází v různých nadmořských výškách. Pro jednoduchost je zde zvážen pouze jeden z traťových tunelů sloužící pro jízdu ve směru ze stanice G do stanice Y. V případové studii se nacházejí soupravy č. 9 a č. 11 (obě soupravy jsou typu M1). Stanice G se nachází v hloubce 38 metrů. Vstup do stanice G je zajištěn prostřednictvím dvou vestibulů. Oba vestibuly jsou s nástupištěm spojeny spojovacími tunely. V každém spojovacím tunelu jsou instalovány dva eskalátory. Nadmořská výška nástupiště stanice G činí 371 m.n.m.

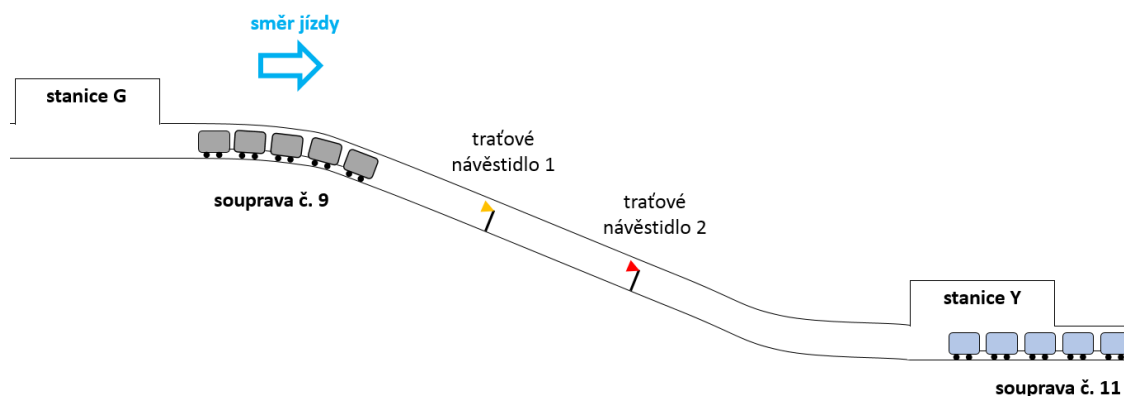
Stanice Y se nachází v hloubce 36 metrů. Vstup do stanice Y je zajištěn prostřednictvím dvou vestibulů. Oba vestibuly jsou s nástupištěm propojeny spojovacími tunely. V každém spojovacím tunelu jsou instalovány dva eskalátory. Nadmořská výška stanice činí 330 m.n.m.

Délka traťového tunelu mezi stanicí G a stanicí Y činí 1100 metrů. Rozdíl nadmořských výšek stanic je 41 metrů. Podélný sklon v traťovém tunelu je 37.2 ‰.

K výpadku elektrické energie dochází v pondělí v 7:36 (SEČ).

### **Popis situace v čase výpadku**

Na základě technické dokumentace je zvažena případová situace v kritickém místě znázorněném na obrázku 15. V čase výpadku se souprava č. 9 nachází v traťovém tunelu, kde směřuje do stanice Y. Souprava č. 11 opouští stanici Y ve stejném čase jako souprava č. 9.



Obrázek 15 - Případová studie 2 v době výpadku elektrické energie (vytvořeno autorem)

Z obrázku 15 je zřejmé, že souprava č. 9 se v době výpadku nachází v pohybu zrychleném. Po ztrátě napájení trakčních motorů pokračuje souprava v pohybu, který závisí na: jízdnicích odporech soupravy, hmotových sil setrvačnosti, odporu stoupání, přídatném odporu oblouku a odporu brzdícím. Brzdící odpor je ovlivněn zásahem vlakového zabezpečovacího zařízení Matra, které zastaví soupravu před traťovým návěstidlem číslo 2.

Souprava č. 11 se v době výpadku nachází v pohybu zrychleném a odjíždí ve směru ze stanice Y.

V případové studii 2 zvažujeme chráněná aktiva: životy a zdraví, místa, kabina strojvedoucího, trakční výzbroj, brzdné systémy, osvětlení prostoru pro cestující, ventilace prostoru pro cestující, dveřní systémy, sdělovací zařízení, zabezpečovací zařízení, EPS, náhradní zdroje elektrické energie, traťový tunel a energetické toky. Předmětná chráněná aktiva jsou uvedena v tabulce 12.

Tabulka 12 - Chráněná aktiva případové situace 2 (vytvořeno autorem)

| <b>Aktiva</b>   | <b>Aktiva pro případovou studii 2</b>  |
|---|--|
| <b>Životy a zdraví</b>  |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• životy a zdraví cestujících</li> <li>• životy a zdraví strojvedoucího</li> </ul>  |
| <b>Majetek (technologie, infrastruktura, objekty, zařízení)</b> |  |
| Místa   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• soupravy metra</li> <li>• traťový tunel</li> </ul>  |
| Kabina strojvedoucího   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• řídicí pult strojvedoucího</li> </ul>   |
| Trakční výzbroj   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• trakční motor DK 117V</li> </ul>  |
| Brzdné systémy  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrodynamická brzda</li> <li>• pneumatická brzda</li> <li>• střídačová brzda</li> <li>• kompresorové jednotky</li> <li>• vzduchové potrubí</li> <li>• zásobníky stlačeného vzduchu</li> </ul>      |
| Osvětlení prostoru pro cestující                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hlavní osvětlení prostoru pro cestující</li> <li>• nouzové osvětlení prostoru pro cestující</li> </ul>  |
| Ventilace prostoru pro cestující                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hlavní ventilátory</li> <li>• pomocné ventilátory</li> </ul>  |
| Dveřní systémy  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• boční dveřní systémy</li> <li>• čelní dveřní systémy</li> </ul>   |
| Sdělovací zařízení  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vlaková část radiostanice VKV</li> <li>• vlakový rozhlas</li> <li>• nouzové telefonní spoje v traťovém tunelu</li> </ul>  |
| Zabezpečovací zařízení  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• mobilní část vlakového zabezpečovače Matra</li> </ul>   |
| Elektrická požární signalizace (EPS)                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• teplotní čidla v trakčních kontejnerech a skříních rozvaděčů</li> <li>• optická kouřová čidla v prostorech pro cestující</li> </ul>   |
| Náhradní zdroje elektrické energie                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vozidlové baterie</li> <li>• statické měniče určené pro dobíjecí vozidlových baterií</li> </ul>   |
| Traťový tunel   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hlavní osvětlení traťového tunelu</li> <li>• nouzové osvětlení traťového tunelu</li> <li>• návěstidlo traťového zabezpečovacího zařízení ESA 11 M</li> <li>• přírodní (napájecí) kolejnice</li> </ul> |
| <b>Toky</b>   |  |
| Energetické   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• napájení soupravy z přírodní kolejnice</li> <li>• palubní síť 400 V</li> <li>• palubní síť 110 V</li> </ul>   |

Dopady výpadku elektrické energie na soupravu č. 9 a soupravu č. 11 jsou v tabulce 13.

Tabulka 13 - Analýza WHAT, IF případové studie 2 (vytvořeno autorem)

| Chráněná aktiva                     |                                  | Dopady   |
|-------------------------------------|----------------------------------|--|
| Životy a zdraví lidí                |                                  |  |
| Životy a zdraví cestujících         |                                  | možné úmrtí přítomných lidí<br>možné zranění přítomných lidí   |
| Život a zdraví strojvedoucího       |                                  | možné úmrtí strojvedoucího<br>možné zranění strojvedoucího   |
| Majetek                             |                                  |  |
| Místa                               | soupravy metra                   | výskyt velkého množství osob,<br>vznik paniky, možnost ušlapání,<br>výpadek všech nezálohovaných<br>systémů                          |
|                                     | traťový tunel                    | výpadek napájení přírodní<br>kolejnice, výpadek traťového<br>zabezpečovacího zařízení, výpadek<br>nouzových telefonních spojů        |
| Kabina strojvedoucího               | řídící pult strojvedoucího       | výpadek zařízení, ztráta ovládní a<br>řízení soupravy, znemožnění<br>sledování zobrazovaných informací<br>na displeji řídicího pultu |
| Trakční výzbroj                     | trakční motor DK 117V            | výpadek zařízení, ztráta pohonu<br>soupravy  |
| Brzdové systémy                     | elektrodynamická brzda           | výpadek napájení trakčního motoru,<br>brzdový účinek není ovlivněn   |
|                                     | pneumatická brzda                | výpadek zdroje stačeného vzduchu,<br>brzda v provozu v závislosti na<br>množství stlačeného vzduchu v<br>zásobnících                 |
|                                     | střídačová brzda                 | výpadek zdroje stačeného vzduchu,<br>brzda v provozu v závislosti na<br>množství stlačeného vzduchu v<br>zásobnících                 |
|                                     | kompresorové jednotky            | výpadek zařízení, znemožní výroby<br>stačeného vzduchu pro brzdové<br>ústrojí  |
|                                     | vzduchové potrubí                | ztráta zdroje stlačeného vzduchu   |
|                                     | zásobníky stlačeného<br>vzduchu  | ztráta zdroje stlačeného vzduchu   |
| Osvětlení prostoru pro<br>cestující | hlavní osvětlení                 | výpadek zařízení, ztížená<br>prostorová orientace cestujících  |
|                                     | nouzové osvětlení                | výpadek zařízení, ztížená<br>prostorová orientace cestujících  |
| Ventilace prostoru pro<br>cestující | hlavní ventilátory               | výpadek zařízení,  |
|                                     | pomocné ventilátory              | výpadek zařízení,  |
| Dveřní systémy                      | boční dveřní systémy             | výpadek zařízení, znemožnění<br>automatického otvírání bočních<br>dveří  |
|                                     | čelní dveřní systémy             | výpadek magnetických zámků<br>bočních dveří, odemknutí bočních<br>dveří  |
| Sdělovací zařízení                  | vlaková část radiostanice<br>VKV | výpadek zařízení, znemožnění<br>komunikace strojvůdce s vlakovým<br>dispečinkem  |

|                                      |  |   |
|--------------------------------------|--|---|
|                                      | vlakový rozhlas  | výpadek zařízení, znemožnění komunikace strojvůdce s cestujícími  |
| Zabezpečovací zařízení               | mobilní část vlakového zabezpečovacího zařízení Matra        | výpadek zařízení, znemožnění zabezpečení jízdy soupravy   |
| Elektrická požární signalizace (EPS) | teplotní čidla v trakčních kontejnerech a skříních rozvaděčů | výpadek zařízení, znemožnění automatické detekce vzniklého požáru   |
|                                      | optická kouřová čidla v prostorách pro cestující             | výpadek zařízení, znemožnění automatické detekce vzniklého požáru   |
| Náhradní zdroje elektrické energie   | vozidlové baterie  | znemožnění dobíjení   |
|                                      | statické měniče určené pro dobíjení vozidlové baterie        | výpadek zařízení, znemožnění dobíjení vozidlové baterie   |
| <b>Toky</b>                          |  |   |
| Energetické                          | napájení soupravy z přívodní kolejnice                       | výpadek napájení soupravy   |
|                                      | palubní síť 400 V  | výpadek napájení kompresorů vzduchového potrubí, ventilátorů prostoru oddílu pro cestující a strojvedoucího                                   |
|                                      | palubní síť 110 V  | výpadek osvětlení prostor pro cestující a kabiny strojvedoucího, výpadek elektronických přístrojů a dobíjecích jednotek pro vozidlové baterie |

Z tabulky 13 vyplývá, že selhání elektrické energie má dopady na všechna chráněná aktiva případové studie 2.

Za účelem zmírnění dopadů se dle technické dokumentace [10] využívá technologických zmírňujících opatření v podobě záložních zdrojů elektrické energie. Předmětné záložní zdroje jsou určeny pro: napájení vybraných elektronických zařízení v palubní síti 110 V (řídící pult strojvedoucího, nouzové osvětlení, pomocné ventilátory, mobilní část vlakového zabezpečovacího zařízení, systém EPS, magnetické zámky čelních dveří souprav). Dále je z vlastního zdroje zálohována mobilní část vlakového VKV rozhlasu. V traťovém tunelu je zálohováno nouzové osvětlení a nouzové telefonní spoje.

Z výše uvedeného vyplývá, že:

- při výstavbě metra nebyly zváženy požadavky přístupu All Hazard Approach (např. vypuknutí požáru v prostorách soupravy během výpadku elektrické energie),
- ukončen pohon soupravy; nouzové řešení nejisté a neodzkoušené,
- přerušení výkonu kompresorů brzdových ústrojí,

- přerušení dobíjení vozidlových baterií,
- nejsou připraveny scénáře řešení pro možné selhání vozidlových baterií, staničních baterie a UPS.

Proto je třeba provést evakuaci. Evakuace cestujících ze soupravy č. 9 je závislá na charakteru místa, v jakém se souprava č. 9 bude nacházet. V případě, že souprava č. 9 dojede do stanice, cestujícím bude umožněno vystoupit na nástupní plochu stanice. V případě, že souprava č. 9 nedojede do stanice, bude provedena evakuace cestujících traťovým tunelem. Postup evakuace bude probíhat dle technické dokumentace [29] uvedené v příloze 5. Dojezd soupravy č. 9 od traťového návěstidla číslo 2 do stanice je závislý: na odporu stoupání (podélném sklonu, ve kterém se souprava nachází), hmotnosti soupravy, jízdních odporů soupravy, hmotových sil setrvačnosti, přídavném odporu oblouku a zásobách stačeného vzduchu pro brzdové systémy. Pokud zásoby stlačeného vzduchu poklesnou pod předem stanovenou hodnotu, dojde k zabrzdění soupravy.

Evakuace cestujících ze soupravy č. 11 je závislá na konečné poloze soupravy. V případě rychlé reakce strojvedoucího a zabrzdění soupravy bude evakuace probíhat z posledního vozu soupravy na nástupištní plochu. V případě, že souprava stihne opustit prostory stanice, bude evakuace cestujících provedena z traťového tunelu.

Z uvedeného vyplývá, že při evakuaci cestujících se spoléhá na reakci strojvedoucího a na obecný postup evakuace tunelem, který dle [10] dosud nebyl odzkoušen.

#### **4.4.3. Případová studie 3**

Třetí případová studie se skládá ze dvou stanic Q a R propojených traťovými tunely. Pro jednoduchost je zde zvaženo pouze jeden z traťových tunelů sloužící pro jízdu ve směru ze stanice Q do stanice R. V případové studii 3 se nachází souprava č. 7 v tunelu metra (typ 81-71M).

Stanice Q se nachází v hloubce 24 metrů. Vstup do stanice Q je zajištěn prostřednictvím dvou vestibulů. Oba vestibuly jsou s nástupištěm spojeny spojovacími tunely. V každém spojovacím tunelu jsou instalovány dva eskalátory. Nadmořská výška nástupiště stanice G činí 348 m.n.m.

Stanice R se nachází v hloubce 22 metrů. Vstup do stanice Y je zajištěn prostřednictvím jednoho vestibulů, který je s nástupištěm stanice R propojen spojovacím tunelem. Ve

spojovacím tunelu jsou instalovány dva eskalátory. Nadmořská výška stanice činí 341 m.n.m.

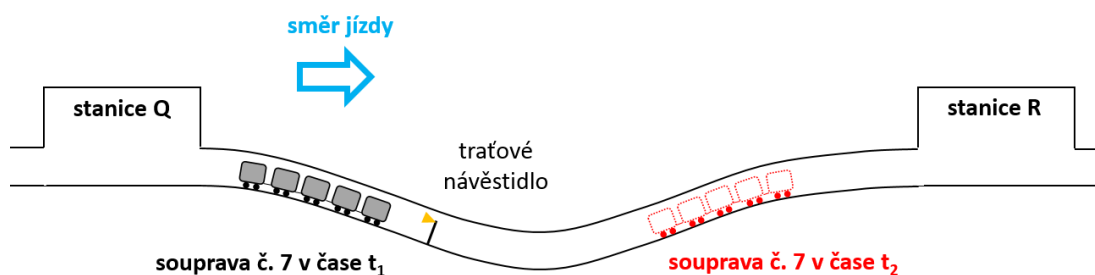
Délka traťového tunelu mezi stanicí R a stanicí Q činí 970 metrů. Rozdíl nadmořských výšek stanic je 7 metrů. Ve směru ze stanice Q do stanice R jsou podélné sklony klesání 31 ‰ a stoupání 26 ‰.

V traťovém úseku, ve kterém se souprava v čase výpadku nachází, je omezena rychlost na 40 km/h.

K výpadku elektrické energie dojde v pondělí v 7:36 (SEČ).

### **Popis situace v čase výpadku**

Na základě technické dokumentace je zvažována případová situace v kritickém místě znázorněném na obrázku 16. Souprava č. 7 směřuje v době výpadku ze stanice Q do stanice R.



Obrázek 16 - Případová studie 3 v čase výpadku elektrické energie (vytvořeno autorem)

Souprava č. 7 se v čase  $t_1$  pohybuje rychlostí 37 km/h v traťovém úseku s omezenou rychlostí jízdy 40 km/h. V čase  $t_1$  dojde ke ztrátě napájení trakčních motorů soupravy, čili ztrátě tažné síly soupravy. V čase  $t_2$  se souprava zastaví. Místo v traťovém tunelu, kde dojde k zastavení soupravy, je závislé: na rychlosti soupravy v době výpadku, hmotnosti soupravy, jízdních odporech soupravy, hmotových silách setrvačnosti, odporu stoupání, přídavném odporu oblouku a případného zásahu strojvedoucího.

V případové studii 3 zvažujeme chráněná aktiva: životy a zdraví, místa, kabina strojvedoucího, trakční výzbroj, brzdné systémy, osvětlení prostoru pro cestující, ventilace prostoru pro cestující, dveřní systémy, sdělovací zařízení, zabezpečovací zařízení, EPS, náhradní zdroje elektrické energie, traťový tunel a energetické toky. Předmětná chráněná aktiva jsou uvedena v tabulce 14.



Tabulka 14 - Chráněná aktiva případové studie 3 (vytvořeno autorem)

| <b>Aktiva</b>   | <b>Aktiva pro případovou studii 3</b>  |
|---|--|
| <b>Životy a zdraví</b>  |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• životy a zdraví cestujících</li> <li>• životy a zdraví strojvedoucího</li> </ul>  |
| <b>Majetek (technologie, infrastruktura, objekty, zařízení)</b> |  |
| Místa   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• souprava metra</li> <li>• traťový tunel</li> </ul>  |
| Kabina strojvedoucího   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• řídicí pult strojvedoucího</li> </ul>   |
| Trakční výzbroj   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• trakční motor BASu 5529/4</li> </ul>  |
| Brzdné systémy  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• elektrodynamická brzda</li> <li>• pneumatická brzda</li> <li>• střídačová brzda</li> <li>• kompresorové jednotky</li> <li>• vzduchové potrubí</li> <li>• zásobníky stlačeného vzduchu</li> </ul>      |
| Osvětlení prostoru pro cestující                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hlavní osvětlení prostoru pro cestující</li> <li>• nouzové osvětlení prostoru pro cestující</li> </ul>  |
| Ventilace prostoru pro cestující                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• pasivní, přirozeným nápoem vzduchu během jízdy soupravy</li> </ul>  |
| Dveřní systémy  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• boční dveřní systémy</li> <li>• čelní dveřní systémy</li> </ul>   |
| Sdělovací zařízení  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vlaková část radiostanice VKV</li> <li>• vlakový rozhlas</li> <li>• nouzové telefonní spoje v traťovém tunelu</li> </ul>  |
| Zabezpečovací zařízení  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• mobilní část vlakového zabezpečovače ARS</li> </ul>   |
| Elektrická požární signalizace (EPS)                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• optická kouřová čidla v trakčních kontejnerech a skříních rozvaděčů</li> </ul>  |
| Náhradní zdroje elektrické energie                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• vozidlové baterie</li> <li>• statické měniče určené pro dobíjecí vozidlových baterií</li> </ul>   |
| Traťový tunel   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• hlavní osvětlení traťového tunelu</li> <li>• nouzové osvětlení traťového tunelu</li> <li>• návěstidlo traťového zabezpečovacího zařízení ESA 11 M</li> <li>• přívodní (napájecí) kolejnice</li> </ul> |
| <b>Toky</b>   |  |
| Energetické   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• napájení soupravy z přívodní kolejnice</li> <li>• palubní síť 540 V</li> <li>• palubní síť 24 V</li> </ul>  |

Dopady výpadku elektrické energie v daném případě identifikované metodou WHAT- IF jsou v tabulce 15.

Tabulka 15 - WHAT, IF případové studie 3 (vytvořeno autorem)

| Chráněná aktiva                  |  | Dopady   |
|----------------------------------|--|--|
| Životy a zdraví lidí             |  |  |
| Životy a zdraví cestujících      |  | možné úmrtí přítomných lidí<br>možné zranění přítomných lidí   |
| Život a zdraví strojvedoucího    |  | možné úmrtí strojvedoucího<br>možné zranění strojvedoucího   |
| Majetek                          |  |  |
| Místa                            | souprava metra                                 | výskyt velkého množství osob, vznik paniky, možnost ušlapání, výpadek všech nezálohovaných systémů                   |
|                                  | traťový tunel                                  | výpadek napájení přírodní kolejnice, výpadek traťového zabezpečovacího zařízení, aktivace nouzového osvětlení        |
| Kabina strojvedoucího            | řídící pult strojvedoucího                     | výpadek napájení přírodní kolejnice, výpadek traťového zabezpečovacího zařízení, výpadek nouzových telefonních spojů |
| Trakční výzbroj                  | trakční motor BASu 5529/4                      | výpadek zařízení, ztráta pohonu soupravy   |
| Brzdné systémy                   | elektrodynamická brzda                         | výpadek napájení trakčního motoru, brzdny účinek pouze při funkčnosti vozidlových baterií                            |
|                                  | pneumatická brzda                              | výpadek zdroje stlačeného vzduchu, brzda v provozu v závislosti na množství stlačeného vzduchu v zásobnících         |
|                                  | střídačová brzda                               | výpadek zdroje stlačeného vzduchu, brzda v provozu v závislosti na množství stlačeného vzduchu v zásobnících         |
|                                  | kompresorové jednotky                          | výpadek zařízení, znemožní výroby stlačeného vzduchu pro brzdové ústrojí   |
|                                  | vzduchové potrubí                              | ztráta zdroje stlačeného vzduchu   |
|                                  | zásobníky stlačeného vzduchu                   | ztráta zdroje stlačeného vzduchu   |
| Osvětlení prostoru pro cestující | hlavní osvětlení                               | výpadek zařízení, ztížená prostorová orientace cestujících   |
|                                  | nouzové osvětlení                              | výpadek zařízení, ztížená prostorová orientace cestujících   |
| Ventilace prostoru pro cestující | pasivní, přirozeným nápoem vzduchu během jízdy | s klesající rychlostí soupravy dojde k poklesu proudícího vzduchu, při zastavení soupravy proudění ustane            |
| Dveřní systémy                   | boční dveřní systémy                           | výpadek zařízení, znemožnění automatického otvírání bočních dveří  |
|                                  | čelní dveřní systémy                           | výpadek magnetických zámků bočních dveří, odemknutí bočních dveří  |
| Sdělovací zařízení               | vlaková část radiostanice VKV                  | výpadek zařízení, znemožnění komunikace strojvůdce s vlakovým dispečinkem  |
|                                  | vlakový rozhlas                                | výpadek zařízení, znemožnění komunikace strojvůdce s cestujícími   |

|                                      |   |   |
|--------------------------------------|---|---|
| Zabezpečovací zařízení               | mobilní část vlakového zabezpečovacího zařízení ARS                 | výpadek zařízení, znemožnění zabezpečení jízdy soupravy   |
| Elektrická požární signalizace (EPS) | optická kouřová čidla v trakčních kontejnerech a skříních rozvaděčů | výpadek zařízení, znemožnění automatické detekce vzniklého požáru                               |
| Náhradní zdroje elektrické energie   | vozidlová baterie   | aktivace zařízení   |
|                                      | statické měniče určené pro dobíjení vozidlové baterie               | výpadek zařízení, znemožnění dobíjení vozidlové baterie   |
| Toky                                 |   |   |
| Energetické                          | napájení soupravy z přívodní kolejnice                              | výpadek napájení soupravy   |
|                                      | palubní síť 540 V   | výpadek dobíjecích jednotek vozidlových baterií, kompresorů brzdícího ústrojí a budícího měniče |
|                                      | palubní síť 24 V  | výpadek napájení osvětlení, spínacích přístrojů a ostatních elektronických přístrojů            |

Z tabulky 15 vyplývá, že selhání elektrické energie má dopady na všechna chráněná aktiva případové studie 3.

Za účelem zmírnění dopadů se dle technické dokumentace [10] využívá technologických zmírňujících opatření v podobě záložních zdrojů elektrické energie. Předmětné záložní zdroje jsou určeny pro: napájení vybraných elektronických zařízení v palubní síti 24 V (řídící pult strojvedoucího, nouzové osvětlení, mobilní část vlakového zabezpečovacího zařízení ARS, systém EPS, magnetické zámky čelních dveří souprav). Dále je z vlastního zdroje zálohována mobilní část vlakového VKV rozhlasu. V traťovém tunelu je zálohováno nouzové osvětlení a nouzové telefonní spoje.

Z výše uvedeného vyplývá, že:

- při výstavbě metra nebyly zváženy požadavky přístupu All Hazard Approach (např. vypuknutí požáru v prostorách soupravy během výpadku elektrické energie),
- ukončen pohon soupravy; nouzové řešení nejisté a neodzkoušené,
- přerušení výkonu kompresorů brzdových ústrojí,
- není řešena nouzová ventilace soupravy v prostorách pro cestující při výpadku elektrické energie (soupravy 81-71M nejsou vybaveny aktivní nucenou přetlakovou ventilací),
- přerušení dobíjení vozidlových baterií,
- soupravy 81-71M nejsou vybaveny systémem EPS v prostorách pro cestující,

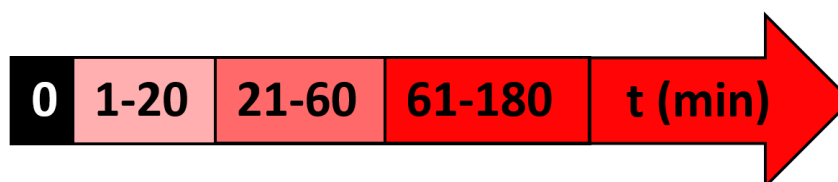
- nejsou připraveny scénáře řešení pro možné selhání vozidlových baterií, staničních baterie a UPS.

Evakuace cestujících ze soupravy č. 7 bude probíhat do traťového tunelu dle technické dokumentace [29] uvedené v příloze 5. Vlakový dispečer rozhodne o evakuování cestujících do traťového tunelu ve směru do nejbližší stanice R.

Z výše uvedeného vyplývá, že při evakuaci cestujících se spoléhá na reakci strojvedoucího a na obecný postup evakuace tunelem, který dle [10] dosud nebyl odzkoušen.

#### 4.4.4. Případová studie 4

Ve čtvrté případové studii zvažujeme výpadek všech patnácti rozvodů PRE napájejících pražské metro. Celkový výpadek (tj. blackout) ovlivní napájení veškerých technologií a systémů nacházejících se v pražském metru. Na základě technické dokumentace [10] je vytvořena případová studie blackout v metru a jsou sledovány jen dopady selhání elektrické energie v pražském metru na životy a zdraví osob (cestujících a zaměstnanců metra). To znamená, že zde nejsou sledovány dopady na jednotlivá technologická zařízení, jako v předchozích kapitolách, a to proto, že zveřejnění dopadů na konkrétní technologická zařízení by znamenalo odhalení zranitelnosti metra. Dopady selhání elektrické energie v pražském metru jsou rozděleny dle času, který je prostřednictvím časové osy znázorněn na obrázku 17.



Obrázek 17 - Časová osa (vytvořeno autorem)

Popis případové studie v čase je následující:

- **0 (čas výpadku) pondělí, 7:36 (SEČ)**

V čase výpadku dochází k úplnému přerušení dodávek elektrické energie pro pražské metro z patnácti rozvodů PRE. Prakticky ve stejném okamžiku dochází ke kaskádovitému selhání veškerých technologií, systémů a spotřebičů napojených na elektrickou síť v pražském metru. Na všech linkách metra dochází k přerušení trakčního napájení. V návaznosti na trakční napájení dochází k přerušení dodávek elektrické energie pro všechny soupravy v pražském metru. Soupravy nacházející se ve stanicích zůstávají stát. Soupravy pohybující

se v tunelech ztrácejí tažnou sílu v důsledku výpadku trakčních motorů. Dojezd souprav do stanic závisí především: na aktuální rychlosti souprav v době výpadku elektrické energie, vzdálenosti souprav od stanic, zásahu strojvedoucích, jízdním odporu souprav a podélném profilu trati. V závislosti na podélném profilu trati se při jízdě souprav projeví odporová složka stoupání a přídavný odpor oblouku.

V řádu několika vteřin dochází k automatické aktivaci záložních zdrojů elektrické energie (staničních baterií, vozidlových baterií a UPS).

V řádu několika vteřin dochází ke komunikaci vlakového dispečera s elektrodispečerem za účelem zjištění rozsahu výpadku dodávek elektrické energie.

V řádu desítek vteřin dochází k zastavení pohybujících se souprav metra na všech třech linkách metra.

V čase výpadku se v pražském metru nachází velký počet cestujících. Na řadě míst dochází ke vzniku paniky.

- ***časový úsek 1 – 20 minut od výpadku***

Vlakový dispečer vyhodnocuje vzniklou situaci. Prostřednictvím rádiového spojení VKV informují strojvedoucí metra o vzniklé situaci. Na základě výstupu systému ASDŘ-D vyhodnocují počet souprav uvázlých v tunelech. Pro jednotlivé soupravy vyhodnocují vzdálenost k nejbližším stanicím a sklonové poměry na trati. Prostřednictvím systému ASDŘ-D jsou spouštěny automatické zvukové nahrávky určené pro evakuaci cestujících z prostor jednotlivých stanic.

- ***časový úsek 21 – 60 minut od výpadku***

Postupně dochází k evakuaci cestujících ze souprav uvázlých v traťových tunelech metra. V důsledku selhání řízení povrchové dopravní infrastruktury je ztížen příjezd jednotek IZS a hasičů metro k jednotlivým stanicím.

- ***časový úsek 61 – 180 minut od výpadku***

Dochází k postupnému selhávání záložních zdrojů elektrické energie ve stanicích (staniční baterie, UPS) i soupravách metra (vozidlové baterie). V traťových tunelech stále zůstává předem nspecifikovaný počet cestujících. V důsledku vyčerpání záložních zdrojů elektrické energie určených pro zabezpečovací zařízení dochází k přerušení napájení kolejových obvodů. Od té doby nelze zjistit aktuální polohy souprav na trati prostřednictvím kolejových

obvodů. Vlakový dispečeré mají k dispozici poslední známé polohy souprav ze systému IČV. Dochází k postupnému nastartování dieselagregátových jednotek.

Z technické dokumentace [10] vyplývá, že daný případ nebyl dosud zvažován. Cvičení IZS, která byla dosud provedena, zvažovala pouze evakuaci cestujících ze stanice metra při specifických teroristických útocích, tj. ne při blackoutu daného typu.

#### **4.5. Zjištěné nedostatky**

Ačkoliv Dopravní podnik věnuje provozu metra velkou pozornost, požadavky platné české legislativy stanovují jen určitou úroveň bezpečnosti. Proto důkladné srovnání odhalilo jisté nedostatky při srovnání technických parametrů souprav 81-71M a M1, při provedení analýzy vlivu výpadků rozveden PRE na provoz pražského metra a při vypracování případových studií.

Z porovnání vybraných technických parametrů souprav, uvedených v odstavci 2.5.3, vyplývají následující bezpečnostní nedostatky:

- prostor pro cestující v soupravách typu 81-71M není vybaven aktivním systémem ventilace (nucená přetlaková ventilace),
- prostor pro cestující v soupravách 81-71M není vybaven automatickým systémem detekce požáru EPS,
- pro soupravy 81-71M a M1 není jednotná signalizace otevření čelních dveří jednotlivých vozů v případě výpadku elektrické energie, signalizace je závislá na stavu modernizace jednotlivých souprav.

Z provedené analýzy vlivu výpadků rozveden PRE na provoz pražského metra vyplývají následující bezpečnostní nedostatky:

- nejsou vypracovány scénáře odezvy na možná selhání rozveden PRE,
- selektivní připojování postiženého místa je prováděno ad hoc a závisí na znalostech a zkušenostech elektrodispečera,
- nejsou vypracovány scénáře postupů při selhání staničních baterií, vozidlových baterií a UPS,
- nejsou vypracovány scénáře pro možnosti využití dieselagregátových jednotek,
- není organizován výcvik elektrodispečerů z hlediska situace blackout.

Z analýzy vypracovaných případových studií vyplývají následující bezpečnostní nedostatky:

- při výstavbě metra nebyly zváženy požadavky přístupu All Hazard Approach (např. vypuknutí požáru v prostorách stanic nebo souprav během výpadku elektrické energie),
- nejsou vypracovány scénáře postupů při selhání staničních baterií, vozidlových baterií a UPS,
- dojde ke zhoršení možnosti evakuace veřejnými přístupy kvůli tomu, že pohyblivé schody a výtahy jsou vyřazeny z činnosti,
- při evakuaci cestujících se spoléhá na reakci strojvedoucího a na obecný postup evakuace tunelem, který dle [10] dosud nebyl odzkoušen,
- dle [10], cvičení IZS, která byla dosud provedena, zvažovala pouze evakuaci cestujících ze stanice metra při specifických teroristických útocích,
- dle [10], dosud nebyla provedena cvičení IZS pro evakuaci cestujících ze souprav v traťových tunelech při situaci blackout,
- přerušení odčerpávání odpadních vod ve stanicích,
- postupné zhoršování ovzduší ve stanici (nečinnost ventilace),
- dosud nebyla testována připravenost dieselařegátových jednotek pro napájení vzduchotechnických zařízení a čerpacích stanic,
- ukončeny pohony souprav; nouzové řešení nejisté a neodzkoušené,
- přerušení výkonu kompresorů brzdových ústrojí souprav,
- přerušení dobíjení vozidlových baterií souprav,
- dosud nebyly komplexně testovány možnosti využití dieselařegátových jednotek,
- dosud nejsou vypracovány plány pro připravenost dieselařegátových jednotek,
- není řešena nouzová ventilace soupravy v prostorách pro cestující při výpadku elektrické energie (soupravy 81-71M nejsou vybaveny aktivní nucenou přetlakovou ventilací),
- soupravy 81-71M nejsou vybaveny systémem EPS v prostorách pro cestující.

Pro praktické potřeby je třeba udělat podobné detailní analýzy i pro další oblasti metra, protože všechny systémy metra jsou vzájemně propojené.

## 4.6. Výsledky porovnání shody normativu a skutečného technického provedení

Na základě údajů uvedených v technických dokumentech [10,11,29] a výsledků v předchozích odstavcích je v tabulce 16 provedeno porovnání shody normativu a skutečného technického provedení systému napájení pražského metra elektrickou energií.

Tabulka 16 - Porovnání shody normativu a skutečného technického provedení (vytvořeno autorem)

| Vrstva | Požadavky   | Zjištěné nedostatky  |
|--------|---|--|
| 1      | Metro, jeho zařízení, komponenty a systémy jsou vybudovány tak, že respektují dopady možných pohrom, tj. respektují All Hazard Approach [2].                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>požadavky All Hazard Approach splněny pouze částečně, např. není zvážen teroristický útok a špatná údržba,</li> <li>opatření jsou pro projektové, tj. stoleté pohromy</li> <li>elektrická zařízení nejsou konstrukčně zajištěna proti působení vody.</li> </ul>   |
| 2      | Systém napájení elektronických systémů metra obsahuje základní řídicí funkce, které v sobě implementují monitorovací zařízení za normálních podmínek.         | <ul style="list-style-type: none"> <li>řada činností vyžaduje vysoké znalosti, schopnosti a zkušenosti od dispečerů a strojvůdců, přičemž není zajištěno systematické vzdělávání a výcvik.</li> </ul>  |
| 3      | Systém napájení elektronických systémů metra má speciální řídicí systémy a postupy, které ho udržují v bezpečném stavu i při větší změně provozních podmínek. | <ul style="list-style-type: none"> <li>provozní předpisy jsou zpracované pouze pro případ výpadku elektrické energie z vnitřních příčin, tj. není zvažován dopad vnějších pohrom, který způsobí výpadek (viz povodeň 2002)</li> <li>řada činností vyžaduje vysoké znalosti, schopnosti a zkušenosti od dispečerů a strojvůdců, přičemž není zajištěno systematické vzdělávání a výcvik, z hlediska výpadku elektrické energie,</li> <li>obecný předpis pro evakuaci cestujících z tunelu zatím nebyl odzkoušen</li> <li>není řešena otázka selhání lidského faktoru</li> </ul> |
| 4      | Systém napájení za kritických podmínek (tj. při výskytu nadprojektových pohrom).  | <ul style="list-style-type: none"> <li>není řešeno legislativně např. zákon č. 183/2006 Sb. a zákony předchozí, např. zákon č. 50/1976 Sb.</li> </ul>  |
| 5      | Systém napájení za extrémních podmínek (tj. při výskytu extrémních pohrom).   | <ul style="list-style-type: none"> <li>není řešeno legislativně např. zákon č. 183/2006 Sb. a zákony předchozí, např. zákon č. 50/1976 Sb.</li> </ul>  |

Z tabulky 16 vyplývá, že požadavky na prvních třech úrovních jsou zváženy v případech, kdy je taxativně ukládá legislativa. Nejsou zváženy některé specifické pohromy, např. teroristický útok a všechny propojení mezi vzájemně provázanými technologickými systémy.



Z hlediska ochrany a přežití zaměstnanců, cestujících a občanů v okolí metra je žádoucí zvážit minimálně úroveň 4. a zachování schopnosti obnovy technologií v metru.

Jak bylo prokázáno v práci [6], výpadky blackout nejsou ve světě ojedinělé a jejich výskyt i dobu trvání nelze dopředu určit. Proto je nutné věnovat jim pozornost i u pražského metra.

## 5. Návrh opatření pro zvládnutí kritické situace

Jelikož metro zajišťuje dopravní obslužnost Prahy významnou měrou, je třeba z hlediska ochrany a přežití zaměstnanců, cestujících a občanů v okolí metra zvážit minimálně úroveň 4, a zachování schopnosti obnovy technologií v metru.

Na základě zjištěných nedostatků v kapitole 4 jsou vypracována opatření pro celkové zvýšení bezpečnosti metra.

Z provedené analýzy vlivu výpadků rozvoden PRE na provoz pražského metra vyplývá, že pro zvýšení bezpečnosti je třeba:

- vypracování scénářů odezvy na možná selhání rozvoden PRE,
- vypracování technologických řešení při selhání staničních baterií, vozidlových baterií a UPS,
- vypracování technologického postupu pro aktivaci dieselagregátových jednotek,
- provádění organizovaného výcviku elektrodispečerů z hlediska zvládnutí situace blackout.

Z případové studie 1 vyplývá, že pro zvýšení bezpečnosti je třeba:

- vypracování technologických řešení při selhání staničních baterií a UPS,
- vypracování technologického postupu pro aktivaci dieselagregátových jednotek z hlediska nouzového napájení vzduchotechnických zařízení a čerpacích stanic,
- provádění školení a výcviku obsluhy stanic pro zajištění evakuace cestujících za situace blackout.

Z případových studií 2 a 3 vyplývá, že pro zvýšení bezpečnosti je třeba:

- vypracování technologického postupu pro aktivaci dieselagregátových jednotek z hlediska nouzového dojetí souprav do stanic,
- vypracování technologických řešení při selhání vozidlových baterií,
- provádění školení a výcviku strojvedoucích pro zajištění evakuace cestujících z traťových tunelů.

Z případové studie 4 vyplývá, že pro zvýšení bezpečnosti je třeba provést cvičení evakuace cestujících ze stanic a traťových tunelů při vzniku blackoutu.

## Závěr

Cílem předložené diplomové práce bylo ocenění rizik vzniklých při výpadku elektrické energie v pražském metru. Ocenění rizik bylo provedeno na základě znalostí o rizicích a jejich dopadech při selhání elektrické energie, na základě získaných dat a znalostí o systému napájení elektrické energie pražského metra a na základě vytvořených případových studií. Sběr, analýza a vyhodnocení dat byl proveden v souladu s metodikou založenou na rizikovém inženýrství.

Dopady selhání elektrické energie v pražském metru jsou popsány pro dvě zkoumané oblasti. První zkoumanou oblastí je energetická soustava napájení pražského metra. Druhou zkoumanou oblastí jsou technologie a systémy v pražském metru závislé na elektrické energii, ze kterých jsou vybrány čtyři případové studie.

Ve zkoumaných oblastech byly sledovány pouze vybrané systémy a technologie metra a jejich narušení při výpadku elektrické energie. Protože legislativa ukládá jen jistá opatření pro zajištění výstavby a provozu metra, tak de facto nejsou prováděna speciální opatření preventivní, zmírňující, reaktivní a obnovovací pro pohromy nadprojektové, tj. blackout. Jelikož metro je doposud konstruováno a provozováno jako složitý systém, tj. ne jako soubor několika vzájemně propojených systémů, tak byly nalezeny nedostatky spojené s propojeními jednotlivých systémů, např. zajištění činnosti vzduchotechnických zařízení při velkém výpadku elektrické energie.

Pro odstranění některých zjištěných nedostatků jsou doporučena opatření pro zvládnutí kritických situací, tj. pro zvýšení úrovně bezpečnosti. Například vypracování postupů pro aktivaci dieselagregátových jednotek v případě většího výpadku elektrické energie; sestavení scénáře dopadů elektrické energie; sestavení odpovídajících scénářů odezvy a provádění navazujícího vzdělávání a výcviku personálu metra; vytipování možných scénářů evakuace; stanovení odpovědnosti konkrétních pracovníků metra při evakuaci a procvičování scénářů evakuace.

## Seznam literatury a zdroje

- [1] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Analýza a řízení rizik*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-800-1048-412.
- [2] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Bezpečnost kritické infrastruktury*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2012, 318 s. ISBN 978-80-01-05103-0
- [3] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Strategické řízení bezpečnosti území a organizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-800-1048-443
- [4] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Krizové řízení pro technické obory*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-800-1052-921.
- [5] ŽÁK, Jiří. Studie blackoutu s ohledem na jadernou elektrárnu Dukovany. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Lukáš Radil.
- [6] BO Zeng, SHAOJIE Ouyang, JIANHUA Zhang, HUI Shi, GENG Wu a MING Zeng. An analysis of previous blackouts in the world: Lessons for China's power industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, vol. 42, s. 1151-1163 [cit. 2015-04-12]. DOI: 10.1016/j.rser.2014.10.069. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032114008946>
- [7] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Základy řízení bezpečnosti kritické infrastruktury*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013, 223 s. ISBN 978-80-01-05245-7
- [8] JANSÁ, František. *Dynamika a energetika elektrické trakce*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1980, 311 s.
- [9] NOVÁK, Miroslav. *Přechodový děj při zapnutí transformátoru: Způsoby omezování zapínacího proudu*. Liberec, 2003. Disertační práce. Technická universita v Liberci, fakulta mechatroniky. Vedoucí práce doc. Ing. Aleš Richter, CSc.
- [10] DOPRAVNÍ PODNIK hl. m. Prahy. *Technická dokumentace*.
- [11] DOPRAVNÍ PODNIK hl. m. Prahy. *DP kontakt: Časopis zaměstnanců Dopravního podniku hl. m. Prahy, akciové společnosti*. Praha: DPP, 1999-2005. ISSN 1212-6349. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/dp-kontakt/>
- [12] ARCHIV. *Strukturovaný rozhovor se zaměstnanci Dopravního podniku hl. m. Prahy, odbor Provozně-technický, služba Elektrotechnika*
- [13] ARCHIV. *Strukturovaný rozhovor se zaměstnanci Dopravního podniku hl. m. Prahy, odbor Energetika*
- [14] ARCHIV. *Strukturovaný rozhovor se zaměstnanci Dopravního podniku hl. m. Prahy, odbor Elektrodispečink*

- [15] METROWEB [online]. Praha [cit. 2015-08-14]. ISSN 1802-2820 Dostupné z:  
<https://www.metroweb.cz/>
- [16] ARCHIV. Strukturovaný rozhovor se zaměstnanci Dopravního podniku hl. m. Prahy, odbor Provozně-technický, služba Sdělovací a zabezpečovací
- [17] ČSN EN 60849. Nouzové zvukové systémy. Praha: Český normalizační institut, 01. 08. 1999.
- [18] ARCHIV. Strukturovaný rozhovor se zaměstnanci Dopravního podniku hl. m. Prahy, odbor Provozně-technický
- [19] ARCHIV. Strukturovaný rozhovor se zaměstnanci Dopravního podniku hl. m. Prahy, odbor Technická kontrola
- [20] DANZER, Jiří a Jiří ŠAŠEK. Elektrická trakce VIII: elektrické ovládání brzd. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008, 68, 47 s. ISBN 978-80-7043-586-1.
- [21] ARCHIV. Strukturovaný rozhovor se zaměstnanci Dopravního podniku hl. m. Prahy, odbor Řízení provozu
- [22] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Metody, nástroje a techniky pro rizikové inženýrství*. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-800-1048-429.
- [23] ČSN ISO 10576-1. Statistické metody – Směrnice pro hodnocení shody se specifikovanými požadavky. Praha: Český normalizační institut, 01. 01. 2004.
- [24] ČSN 28 1310. Vozy metra pro přepravu cestujících – základní technické požadavky a zkoušky. Praha: Český normalizační institut, 01. 12. 1998.
- [25] ČSN EN 62290-1. Drážní zařízení – Systémy řízení městské dopravy s vyhrazenou vodicí dráhou – Část 1: Systémové principy a základní pojmy. Praha: Český normalizační institut, 01. 07. 2007.
- [26] PROCHÁZKOVÁ, Dana. *Bezpečnost složitých technologických systémů*. ISBN: 978-80-01-05771-1. Praha: ČVUT 2015, 208p.
- [27] Dopravní podnik hl. m. Prahy: Dopravní schémata [online]. [cit. 2015-08-24]. Dostupné z:  
<http://www.dpp.cz/dopravni-schemata/>
- [28] OTE. Statistika [online]. [cit. 2015-10-11]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobavaharokstazeni/ke-stazeni>
- [29] DOPRAVNÍ PODNIK hl. m. Prahy. D 2/1. Postupy evakuace cestujících z traťového tunelu. Technická dokumentace.

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| Tabulka 1 - Přehled elektrických stanic (vytvořeno autorem dle zdroje [13,15]).....                    | 29 |
| Tabulka 2 - Systém osvětlení (vytvořeno autorem dle [11]).....   | 30 |
| Tabulka 3 - Souprava 81-71M (vytvořeno autorem dle [11]).....  | 36 |
| Tabulka 4 - Převážná kapacita soupravy 81-71M (vytvořeno autorem dle [11]).....                        | 37 |
| Tabulka 5 - Souprava M1 (vytvořeno autorem dle [11]) .....   | 37 |
| Tabulka 6 - Převážná kapacita soupravy M1 (vytvořeno autorem dle[11]).....                             | 38 |
| Tabulka 7 - Technické parametry souprav 81-71M, M1 (vytvořeno autorem dle<br>[11,15,16,18,19]) .....   | 38 |
| Tabulka 8 - Chráněná aktiva energetické rozvodné sítě metra (vytvořeno autorem).....                   | 52 |
| Tabulka 9 - Analýza WHAT, IF zkoumané oblasti 1 (vytvořeno autorem).....                               | 53 |
| Tabulka 10 - Chráněná aktiva případové studie 1 (vytvořeno autorem).....                               | 55 |
| Tabulka 11 - Analýza WHAT, IF případové studie 1 (vytvořeno autorem) .....                             | 56 |
| Tabulka 12 - Chráněná aktiva případové situace 2 (vytvořeno autorem) .....                             | 60 |
| Tabulka 13 - Analýza WHAT, IF případové studie 2 (vytvořeno autorem) .....                             | 61 |
| Tabulka 14 - Chráněná aktiva případové studie 3 (vytvořeno autorem).....                               | 65 |
| Tabulka 15 - WHAT, IF případové studie 3 (vytvořeno autorem).....                                      | 66 |
| Tabulka 16 - Porovnání shody normativu a skutečného technického provedení (vytvořeno<br>autorem) ..... | 72 |

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1 - Provázané systémy řízení [3].....                                      | 18 |
| Obrázek 2 - Systémy záloh [7] .....  | 21 |
| Obrázek 3 - Přímkový tachograf jízdy soupravy [8].....                             | 23 |
| Obrázek 4 - Energetická soustava pražského metra (vytvořeno autorem dle [13])..... | 26 |
| Obrázek 5 - Napájení traťového osvětlení (vytvořeno autorem dle [14]).....         | 30 |
| Obrázek 6 - Složení soupravy 81-71M (vytvořeno autorem).....                       | 37 |
| Obrázek 7 - Složení soupravy M1 (vytvořeno autorem dle [11]) .....                 | 37 |
| Obrázek 8 - Brzdová charakteristika elektrodynamické brzdy [20].....               | 41 |
| Obrázek 9 - Grafický výstup systému ASDŘ-E na monitoru elektrodispečera [14].....  | 43 |
| Obrázek 10 - Grafický výstup systému ASDŘ-D na monitoru vlakového dispečera [21].. | 44 |
| Obrázek 11 - Zjednodušený princip IČV (vytvořeno autorem dle [11,21]).....         | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 12 - Pětistupňový systém řízení bezpečnosti technologických objektů [26] .....           | 49 |
| Obrázek 13 - Zjednodušený model zkoumaných oblastí .....   | 52 |
| Obrázek 14 - Zjednodušený model procesu přeměrování elektrické energie (vytvořeno autorem) ..... | 54 |
| Obrázek 15 - Případová studie 2 v době výpadku elektrické energie (vytvořeno autorem)            | 59 |
| Obrázek 16 - Případová studie 3 v čase výpadku elektrické energie (vytvořeno autorem)            | 64 |
| Obrázek 17 - Časová osa (vytvořeno autorem) .....  | 68 |

## **Přílohová část**


### **Seznam příloh**

|  |    |
|--|----|
| Příloha 1 - Výpadky blackout ve světě [6] .....  | 81 |
| Příloha 2 - Orientační plán metra [27].....  | 82 |
| Příloha 3 - poloha rozvoden PRE v pražské aglomeraci [28].....   | 83 |
| Příloha 4 - Rozmístění zařízení v tratových tunelech metra [15] .....                                  | 84 |
| Příloha 5 - Technická dokumentace D 2/1 - evakuace cestujících z osobního vlaku do<br>koleje [29]..... | 85 |




Príloha 1 - Výpadky blackout ve světě [6]

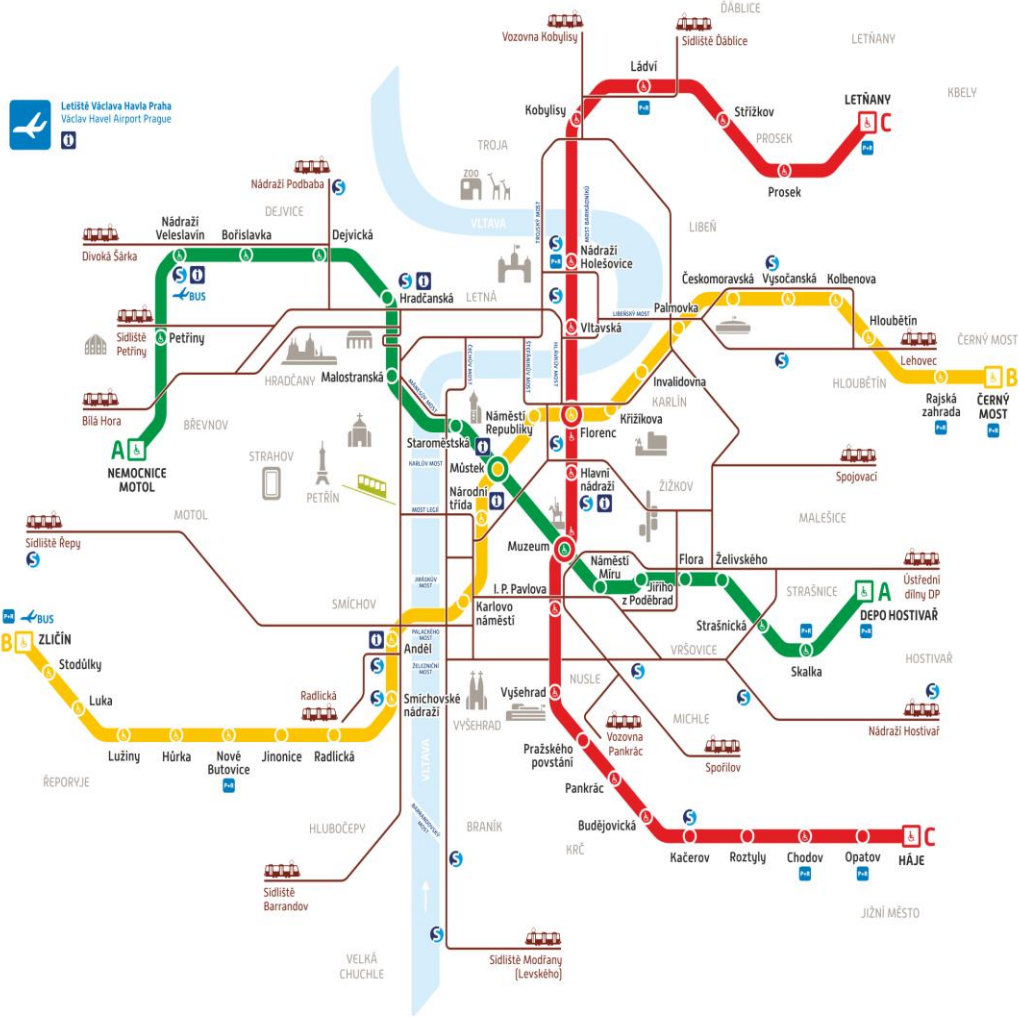









# PRAHA PRAGUE


## Orientační plán metra Metro map






|   |  |  |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #008000; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> <b>A B C</b> Linky a stanice metra<br/>Metro lines and stations</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> <b>C</b> Konečná stanice metra<br/>Metro terminus station</li> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> <b>S</b> Stanice přestupní<br/>Transfer station</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="display: inline-block; width: 10px; height: 10px; background-color: #ff0000; border: 1px solid #000; margin-right: 5px;"></span> <b>0</b> Bezbariérový přístup<br/>Barrier-free access</li> <li> Tramvajová trať<br/>Tram line</li> <li> Lanová dráha<br/>Funicular</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li> Bus MHD na Letišti Václava Havla Praha<br/>Public transport buses to Václav Havel Airport Prague</li> <li> Přestup na linky S a další vlakové spoje<br/>Transfer to lines S and other railway lines</li> </ul> |
| © Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost<br>říjen 2015  |  |  |

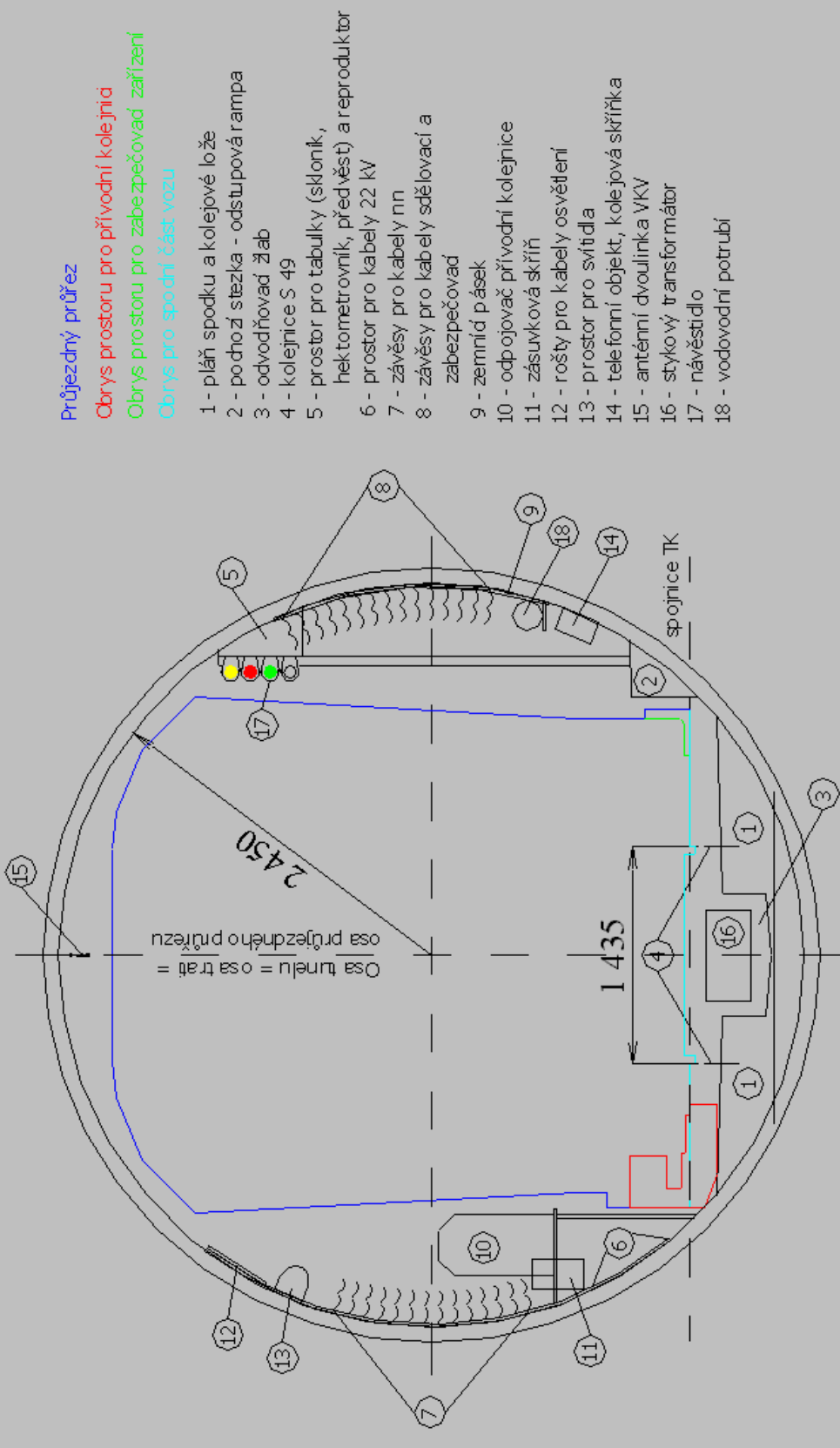

296 19 18 17  
[www.dpp.cz](http://www.dpp.cz)


Dopravní podnik hlavního města Prahy


PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA



## Rozmístění zařízení v tratových tunelech pražského metra



9. Z místa likvidace požáru osobního vlaku smí tento vlak odjet pouze se souhlasem vlakového dispečera; tento souhlas smí dát VD až po splnění následujících podmínek:

- a) dal-li k jízdě tohoto vlaku souhlas velitel HZS a pokud OZS útvaru odpovědného za technický stav elektrických vozů stanovil pro tuto jízdu podmínky;
- b) byl-li strojvedoucí tohoto vlaku zpraven o podmínkách stanovených pro jeho další jízdu;
- c) je-li traťová kolej, po které uvedený vlak pojedě, volná a je-li v ní rozsvíceno osvětlení v tunelu; tyto podmínky platí i pro odjezd tohoto vlaku z každé následující stanice, a to až do místa jeho odstavení;
- d) v tomto vlaku nesmějí být přepravováni cestující.

10. Před první jízdou osobního vlaku s přepravou cestujících po koleji elektrického úseku, v němž bylo z důvodu požáru vlaku vypnuto napájení PK, musí VD zajistit kontrolu volnosti uvedené koleje jízdou kontrolního vlaku.

#### § 7

Evakuace cestujících z osobního vlaku do koleje

1. Evakuaci cestujících z osobního vlaku do koleje (pro účely tohoto paragrafu dále jen „evakuace“) smí nařídít VD pouze tehdy:

- a) nelze-li s tímto vlakem nebo alespoň s jeho částí dojet do stanice, a to ani při použití pomocného vlaku;
- b) jsou-li cestující ve vlaku vystaveni většímu nebezpečí než při evakuaci.

2. Po konzultaci se strojvedoucím, zjištění místa kde vlak stojí a po rozhodnutí evakuovat z vlaku cestující je VD povinen:

- a) určit, do které stanice (kterých stanic) bude evakuace provedena;
- b) nařídít výjezd HZS, zpravit jeho velitele o evakuaci a určit mu vstupní stanici;
- c) zajistit vypnutí napájení PK a její zkratování ve všech kolejích elektrických úseků, do kterých by mohli cestující nebo zásahové jednotky vstoupit;
- d) zpravit o této evakuaci a o vstupu zásahových jednotek do koleje DS (SPT) příslušných stanic a zajistit rozsvícení osvětlení v tunelu v těch kolejích, do kterých se předpokládá vstup osob.

D 2/1 - účinnost od 1. 12. 1999

3. Pracovníci HZS jsou povinni přinést k vlaku žebříky pro výstup cestujících.

4. Před zahájením evakuace je strojvedoucí povinen:

- a) zajistit všechny vozy vlaku parkovací brzdou;
- b) ohlásit vlakovému dispečerovi po příchodu pracovníků HZS připravenost k evakuaci.

5. Vlakový dispečer smí povolit zahájení evakuace až po splnění povinností uvedených v bodu 2 tohoto paragrafu a po hlášení strojvedoucího o připravenosti k evakuaci.

Nelze-li rozsvítit osvětlení v tunelu, musí VD ohlásit tuto skutečnost strojvedoucímu a nařídít HZS osvětlit tunel osvětlovací soupravou; hrozí-li však nebezpečí z prodlení, může být na návrh strojvedoucího povolena evakuace i tehdy, je-li tunel osvětlen alespoň nejrůzněji (např. čelními světly vlaku, světlem ze stanice).

6. Povolení k zahájení evakuace dá vlakový dispečer strojvedoucímu takto: „Napájení příhodní kolejnice ... koleje v úseku ... vypnuto, PK zkratována, výstup cestujících do stanice (stanice) ... dovolen.“

7. Po povolení evakuace vlakovým dispečerem je strojvedoucí povinen:

- a) vyzvat cestující k evakuaci (viz předpis V 4/1);
- b) zajišťovat, ve spolupráci s přítomnými pracovníky HZS, výstup cestujících z vlaku podle ustanovení předpisu V 4/1.

8. Ve výstupní stanici (stanicích) organizují výstup cestujících z koleje DS (SPT) s pracovníky určenými vlakovým dispečerem.

9. Pracovníci HZS odejdou od vlaku společně s posledním cestujícím; po výstupu z koleje ve stanici je velitel HZS povinen ohlásit ukončení evakuace vlakovému dispečerovi.

10. Po ukončení evakuace smí dát VD příkaz k vypnutí zkratovačů PK až tehdy, zajistí-li kontrolu volnosti všech kolejí, v nichž bylo napájení PK vypnuto, a odbrzdí-li po ukončení této kontroly zpětná hlášení, že uvedené koleje jsou volné.

11. Po zapnutí napájení PK musí VD zajistit, a to ve všech kolejích elektrických úseků, ve kterých bylo napájení PK vypnuto, jízdu kontrolního vlaku.

D 2/1 - účinnost od 1. 12. 1999