



# „Nástroje a metody vyhodnocení výstupů diagnostických systémů trakčního vedení ŽDC“

Závěrečná zpráva

Průmyslová 1880  
565 01 CHOCEŇ  
tel./fax: +420-465471415  
e-mail: [starmon@starmon.cz](mailto:starmon@starmon.cz)  
<http://www.starmon.cz>

CZECH REPUBLIC

**OBSAH**

Úvod	3
1 Vstupy	3
1.1 Cíle zakázky	3
1.2 Základní požadavky na zařízení	5
2 Popis řešení	6
2.1 Detekce vlaku, jeho rychlost a směr jízdy	6
2.2 Identifikace označení EHV	6
2.3 Identifikace počtu činných sběračů	9
2.4 Zpracování výstupů z kamerového systému	9
2.5 Měření přítláčné síly sběrače	11
2.5.1 Instalace zařízení	11
2.5.2 Výstupy ze zařízení	12
2.5.3 Převod zdvihu na přítlak	13
2.5.4 Teplota trolejového vodiče	19
3 Zpracování dat	19
3.1 Primární sběr dat	19
3.2 Server ROSA	20
3.3 Pracoviště vyhodnocení PMS – elektrodispečer	20
3.4 Pracoviště vyhodnocení PMS – SEE	21
3.5 Pracoviště DDTS	21
4 Reakce provozovatele dráhy	21
5 Ukládání a archivace dat	21

## Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1	Plánované umístění zařízení pro monitoring sběračů	4
Tab 1:	Seznam plánovaných zařízení	5
Obr. 2	Příklad umístění čtečky RFID v kolejišti	6
Obr. 3	Snímek EHV s identifikací	7
Obr. 4	Systém StarCam pro automatické čtení čísel vozidel za jízdy	7
Obr. 5	Ukázka fotografií ze zařízení StarCam	8
Obr. 6	Fotografie z kamerových zkoušek u Třebovic v Čechách	9
Obr. 7	Fotografie z kamerového systému v Pardubicích	10
Obr. 8	Instalace zařízení Micronor	11
Obr. 9	Detail zařízení Micronor	11
Obr. 10	Příklady záznamů ze zařízení Micronor	12
Tab 2:	Naměřené a vypočtené hodnoty pružnosti vedení	13
Obr. 11	Model soustavy sběrač - vedení	14
Obr. 12	Model řetězovkového trolejového vedení	15
Tab 3:	Hodnoty zdvihu a přítlaku získané simulací	17
Obr. 13	Průběhy přítláčné síly	17
Tab 4:	Tabulka zdvihu trakčního vodiče a odpovídajícího přítlaku sběrače	18
Obr. 14	Místo pro instalaci snímače teploty Micronor	19
Obr. 15	Schéma toku dat	20

## Použité zkratky

APMS	Automatický pantografový monitorovací systém
DDTS	Dispečer dohledu technologických systémů
EHV	Elektrické hnací vozidlo
GTN	Grafickotechnologická nadstavba
OŘ	Oblastní ředitelství
PMS	Pantografový monitorovací systém
RFID	Radiofrekvenční identifikace
ROSA	Server pro sběr diagnostických dat
SEE	Správa elektrotechniky a energetiky
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, s.o.
TÚDC	Technická ústředna dopravní cesty
ŽDC	Železniční dopravní cesta

## Úvod

Podnětem pro zpracování této zprávy je smlouva o dílo SŽDC, státní organizace č. S 21726/2014-O14 s názvem „Nástroje a metody vyhodnocení diagnostických systémů trakčního vedení na ŽDC“. Předmětem této smlouvy je vytvoření vhodných nástrojů a metod k vyhodnocení výstupů z navržených diagnostických systémů pro trakční vedení a jejich testování za účelem začlenění ke stávajícím i nově budovaným diagnostickým bodům ŽDC.

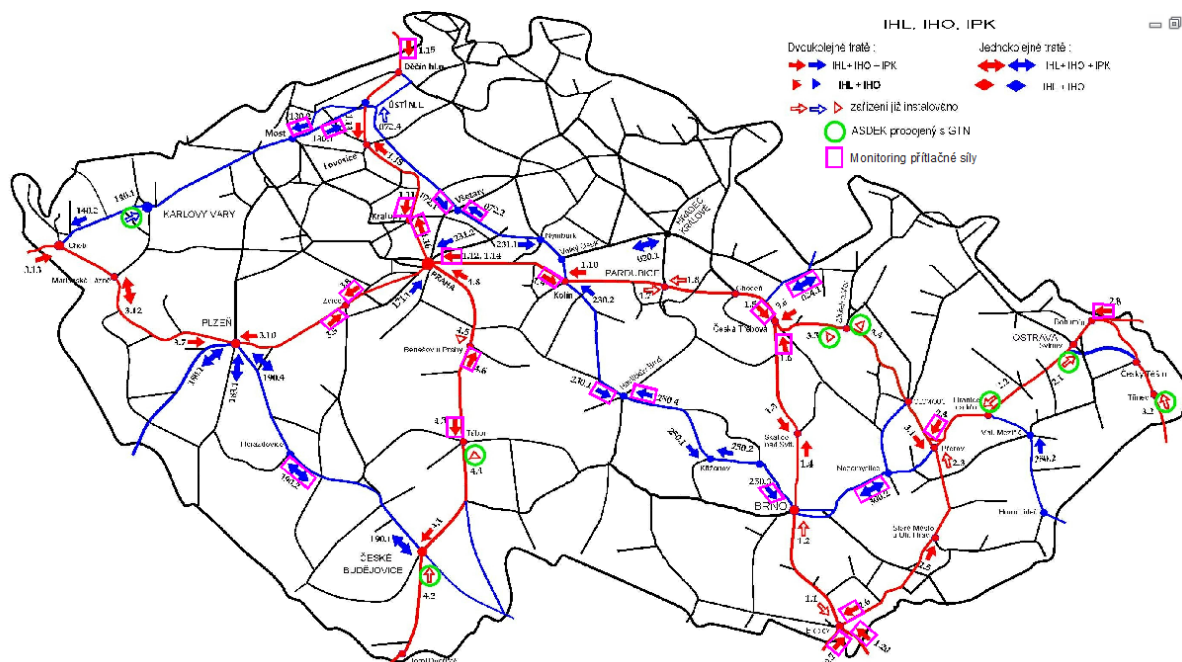
## 1 Vstupy

Při zpracování této dokumentace se vycházelo z dosavadních provozních zkušeností a z předpokladu vývoje železniční dopravy v následujících letech, který je charakterizován zvyšováním přepravních výkonů, volným přístupem dopravců na železniční dopravní cestu, zvyšováním podílu neobsazených dálkově obsluhovaných dopraven a snahou správce infrastruktury předcházet nepředvídaným událostem, které mají vliv spolehlivost a bezpečnost železničního provozu.

### 1.1 Cíle zakázky

Cíle projektu vycházejí ze zadání veřejné zakázky. Je to stanovení podmínek pro instalaci technických zařízení, která budou ve vybraných bodech infrastruktury nepřetržitě kontrolovat stav sběračů elektrických hnacích vozidel a velikost jejich přítláčné síly.

Vybraná místa pro instalaci těchto zařízení byla uvedena ve studii „Monitoring přítláčné síly“, vypracované Elektrizací železnic a.s. v listopadu 2013.



Obr. 1 Plánované umístění zařízení pro monitoring sběračů.

Umístění před žel. stanicí	Směr	Označení diagnostického bodu podle směrnice SŽDC č. 36/2008
Česká Třebová	Děčín	1.6
Běchovice 2.trat'. kolej		1.12
Běchovice 0.trat'.kolej		1.14
Kralupy nad Vltavou		1.16
Břeclav		1.20
Děčín	Břeclav	1.15
Kralupy nad Vltavou		1.11
Kolín		1.9
Česká Třebová	Olomouc,Brno	1.5
Břeclav	Bohumín	2.7
Bohumín	Břeclav	2.8
Přerov		2.4
Břeclav		2.6
Zdice	Mosty u Jablunkova	3.5
Zdice	Cheb	3.8
Tábor	Horní Dvořiště	4.3

Benešov	Praha	4.6
Všetaty	Kolín	072.1
Všetaty	Děčín Východ	072.2
Havlíčkův Brod	Brno	230.1
Brno – Královo Pole		250.3
Havlíčkův Brod	Kolín	250.4
Ústí nad Labem Západ	Ústí nad Labem	130.1
Most	Cheb	130.2
Horažďovice	Jednokolejná trať	190.2
Nezamyslice	Jednokolejná trať	300.2
Lichkov	Jednokolejná trať	024.1

Tab 1: *Seznam plánovaných zařízení*

## 1.2 Základní požadavky na zařízení

Pro stanovení vhodných nástrojů a metod k vyhodnocení výstupů z diagnostických zařízení pro sledování sběračů byly stanoveny následující vstupní požadavky:

- Zpracování informací o detekci vlaku a identifikaci označení EHV nebo elektrické jednotky, jejich rychlosti a směru jízdy.
- Zpracování informací o identifikaci počtu činných sběračů na EHV, elektrické jednotce nebo vlaku a jejich vzájemnou vzdálenost.
- Zpracování výstupů z kamerového systému, který snímá stav obložení sběrače (celkový stav obložení, tvar a míra opotřebení – nejmenší tloušťka obložení), včetně vyhodnocení pořízené fotografie s vysokým rozlišením.
- Zpracování informací o měření velikosti přítláčné síly sběrače (zdvihu trolejového drátu) při průchodu sběrače kontrolním bodem v závislosti na parametrech trakčního vedení v místě měření.
- Zpracování informací o teplotě trolejového vodiče v místě měření.
- Zajištění přenosu informací o stavu zařízení protokolem 104 (podle ČSN EN 60870-5-104 ed.2) s napojením na systém dálkového řízení infrastruktury.
- Vizualizace získaných výsledků (popis funkce systému na zpracování a hodnocení získaných dat) a jejich začlenění do systému diagnostiky železniční dopravní cesty.
- Návrh reakce provozovatele dráhy na stavy zjištěné diagnostickými systémy.
- Ukládání a archivace dat.

## 2 Popis řešení

Následující kapitoly popisují řešení úloh dle zadání, tak jak byly připravovány a vyhodnocovány během zpracování zakázky. Přitom se vycházelo z předchozích studií „Pozemní diagnostika stavu obložení ližin sběračů EHV a elektrických jednotek“ a „Monitoring přitlačné síly“, výsledků sledování stavu sběračů, dostupných materiálů zahraničních systémů a měření, provedených Elektrizací železnic Praha a.s.

### 2.1 Detekce vlaku, jeho rychlost a směr jízdy

Tuto zásadní otázku pro spuštění a následné fungování diagnostických systémů sběračů při průjezdu vlaku lze řešit následujícími způsoby v závislosti na stávajícím vybavení místa budoucí instalace:

a) prostředky zjišťujícími přítomnost náprav železničních vozidel v daném místě – kolejové obvody, počítače náprav, kolejnicové doteky jiných diagnostických zařízení (např. indikátorů horkoběžnosti) nebo samostatné kolejnicové doteky, instalované pro tento účel, případně elektronické závory,

b) vlastními diagnostickými prostředky pro monitorování sběračů – vyhodnocení pohybu z obrazového záznamu, radarový měřič rychlosti nebo změna klidové hodnoty při detekci přitlačné síly. Použití konkrétního způsobu je závislé na místních poměrech a vybavenosti diagnostického stanoviště a bude předmětem projektového řešení konkrétní situace.

### 2.2 Identifikace označení EHV

Ideálním prostředkem pro splnění tohoto požadavku jsou radiofrekvenční identifikátory (RFID). Jejich masové nasazení na železniční vozidla včetně hnacích vozidel obecně se nedá předpokládat v brzké době. Přesto by se s nimi jako s perspektivním zařízením mělo do budoucna počítat. Předpokladem je vybavení vozidel identifikátory (tagy), instalace čteček RFID vedle koleje a jejich navázání na diagnostické prostředky.



Obr. 2 Příklad umístění čtečky RFID v kolejišti

Další možností je využití záznamů z kamer pro sledování stavu sběračů. Předpokladem spolehlivé identifikace vozidla je kvalitní snímek za každých povětrnostních podmínek, v denní i noční době. Výhodou je snímání obrazu z čela vlaku, na druhé straně nelze tímto způsobem identifikovat elektrické jednotky, které nemají na čele prvního vozidla umístěnou identifikaci nebo je nekонтрастní. Na Obr. 3 jsou příklady zobrazení čela lokomotivy s identifikačními štítky. Kvalita však není

taková, aby bylo možné číslo softwarově rozpoznat. Snímky byly pořízeny z kamerového systému instalovaného v Pardubicích.

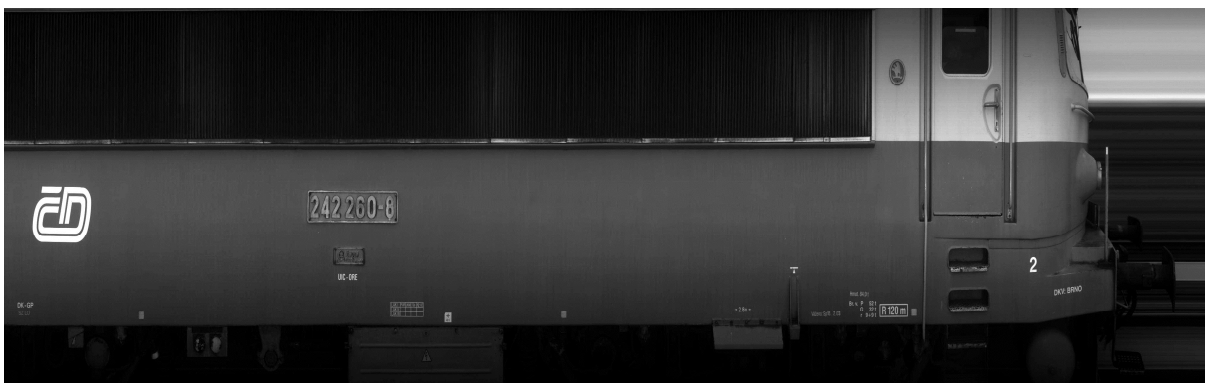
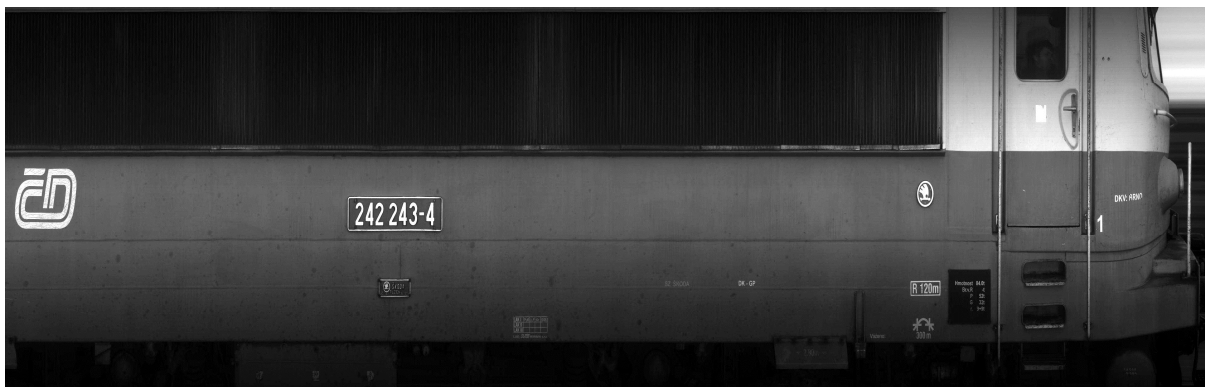


*Obr. 3 Snímek EHV s identifikací*

Poměrně solidním řešením se jeví optická identifikace pomocí záznamu rychloběžnou řádkovou kamerou a následným vyhodnocením získaného obrazu. Na tomto principu pracuje zařízení StarCam, které je v současné době v ověřovacím provozu v lokalitě Vojkovice nad Svratkou, jehož ukončení se předpokládá v roce 2015. V následujících obrazech jsou uvedeny příklady zachycených lokomotiv při ověřování osvětlení cíle, jeho snímání a složení výstupní fotografie pro další softwarové zpracování – vyhledání čísla lokomotivy a jeho identifikace.



*Obr. 4 Systém StarCam pro automatické čtení čísel vozidel za jízdy.*



*Obr. 5 Ukázka fotografií ze zařízení StarCam.*

Nedá se předpokládat, že by oba posledně jmenované systémy mohly zajistit stoprocentní identifikaci vozidla, je to dáno technickými možnostmi, které v druhém případě jsou vyvíjeny již 3 roky. Do procesu identifikace vozidla však vstupuje i další fenomén a sice vlastní kvalita označení. Vyskytují se případy znečištění nápisů, jejich

oprýskání, zakrytí nápisu plachtou a nebo součástmi vozu. V tom případě lze situaci řešit na výstupu prezentací fotografie místo čísla, ze které může obsluha případně sama identifikovat vozidlo.

Pomůckou pro zjištění čísla hnacího vozidla může být i číslo vlaku, které je na dálkově řízených tratích k dispozici z nadstavby zabezpečovacího zařízení – GTN. Z něho lze potom dohledat číslo hnacího vozidla v rozborech vlaku, pokud tento rozbor existuje.

## 2.3 Identifikace počtu činných sběračů

Pro určení počtu činných sběračů se použije záznam o zdvihu trakčního vodiče, ze kterého lze na základě detekce špiček zdvihu vyjmout údaj o času průjezdu prvního a následujících sběračů a z jejich rozdílů a znalosti rychlosti vlaku vypočítat vzdálenost mezi nimi.

$$l = 0,278 \cdot v \cdot t \text{ [m; km/hod, s]} \quad (1)$$

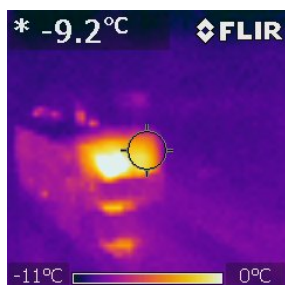
kde:

- $l$  – vzdálenost mezi sběrači
- $v$  – rychlost vlaku
- $t$  – časový rozdíl mezi sběrači

Rychlost vlaku je průběžně měřena zařízením pro detekci horkých ložisek, případně zařízením pro čtení čísel vozidel při pohybu vlaku v místě instalace. V lokalitách, kde nebude zařízení pro měření zdvihu trakčního vodiče umístěné v bezprostřední blízkosti diagnostického zařízení vozidel (např. Vojkovice nad Svratkou) bude nutné instalovat v tomto místě dva kolejnicové doteky v definované vzdálenosti od sebe a z časového posunu jejich výstupních impulsů vypočítat rychlost vlaku, která se potom použije ve vzorci (1).

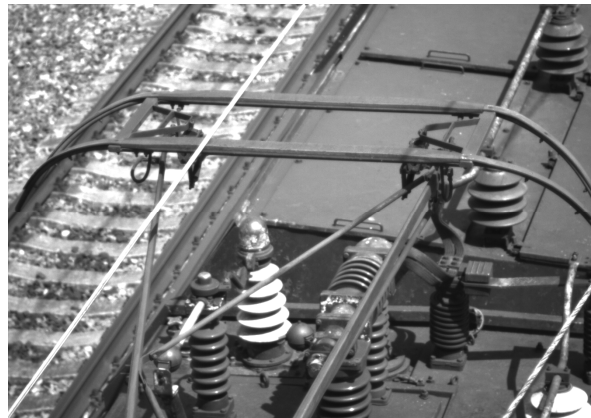
## 2.4 Zpracování výstupů z kamerového systému

Prvotní pokusy o zachycení stavu sběračů elektrických lokomotiv proběhly v roce 2013 pomocí zapůjčených kamer včetně infračervené. Výsledky záznamů však byly neuspokojivé.



Obr. 6 Fotografie z kamerových zkoušek u Třebovic v Čechách.

Získané zkušenosti potom vedly k instalaci pevných kamer v Pardubicích. V rámci zpracování předchozí studie „Pozemní diagnostika stavu obložení ližin sběračů EHV a elektrických jednotek“ byl v žst. Pardubice namontován kamerový systém pro sledování stavu sběračů se záznamem nasnímaných záběrů v počítači.



*Obr. 7 Fotografie z kamerového systému v Pardubicích.*

Základním požadavkem pro další zpracování záběrů je jejich kvalita za každých povětrnostních podmínek a umístění sběrače na stejném místě snímku ve všech případech.

Prezentované ukázky jsou pořízeny za ideálních světelných podmínek a sloužily jako podklad k zadání úlohy pro zpracování programu pro vyhodnocení stavu ližin.

Ze získaných snímků byl proveden rozbor možností pro jejich vyhodnocení a na jeho základě bylo požádáno pracoviště Masarykovy univerzity v Brně o zpracování programu pro vyhodnocení snímků sběračů za účelem detekce jejich závad a poškození. Byla navržena metoda překrytí obrazu mřížkou a následné porovnání. Vlastní programátorské kapacity však univerzita nemá a proto uvažovala o řešení úlohy zadáním diplomové práce některému studentovi.

Následně bylo jednáno s výzkumným střediskem Joanneum Research v Grazu, Rakousko. Dle vyjádření zástupců střediska by se úloha musela řešit dlouhodobým vývojem s cílem zajištění základních podmínek pro snímání obrazu, měření existujících sběračů a nakonec vývoj aplikačního softwaru.

Rovněž další snahy o řešení této problematiky vlastní cestou zatím nevedly k výsledku.

Hlavní problém vidíme v nutnosti značné časové náročnosti při práci na vývoji technologie pro získání velmi kvalitních fotografií za každých povětrnostních podmínek a v jejich následném softwarovém zpracování, které by umožňovalo jejich automatické vyhodnocování.

Vhodným řešením se jeví použití systému APMS (Automatic Pantograf Monitoring System) firmy Sensys ze Švédska – viz příloha č. 1. Zařízení APMS je již druhou generací systému pro kontrolu sběračů, jeho počátek spadá do období před deseti lety. Z dostupných materiálů a z rozhovoru se zástupcem firmy je zřejmé, že zařízení prošlo dlouhým vývojem a splňuje požadavky uváděné v tomto zadání.

## 2.5 Měření přitlačné síly sběrače

Překračování přitlačné síly sběračů provozovaných elektrických lokomotiv je rovněž jedna z příčin možného poškození trakčního vedení. Přímé měření této síly je v praxi nereálné a proto se nahrazuje měřením zdvihu trakčního vedení při průjezdu lokomotivy místem snímání.

### 2.5.1 Instalace zařízení

V rámci řešení zakázky bylo zakoupeno a následně instalováno zařízení firmy Micronor ve 2.koleji tratě Břeclav – Brno ve Vojkovicích nad Svatkou – viz Příloha č. 2. Lokalizace zařízení byla projednána se zodpovědnými složkami Správy elektrotechniky a energetiky SŽDC,s.o. a realizace byla provedena ve spolupráci se SŽDC,s.o., OŘ Brno a Elektrizací železnic Praha, a.s. Vlastní zařízení je předmětem ověřovacího provozu. Lokalita Vojkovice nad Svatkou byla zvolena záměrně proto, že na této trati je střídavá trakce a v blízkosti se nachází domek indikátoru horkoběžnosti, kde se nachází napájení 230 V, tak i datové připojení, což je pro sledování zařízení v době ověřovacího provozu důležité.



*Obr. 8 Instalace zařízení  
Micronor.*

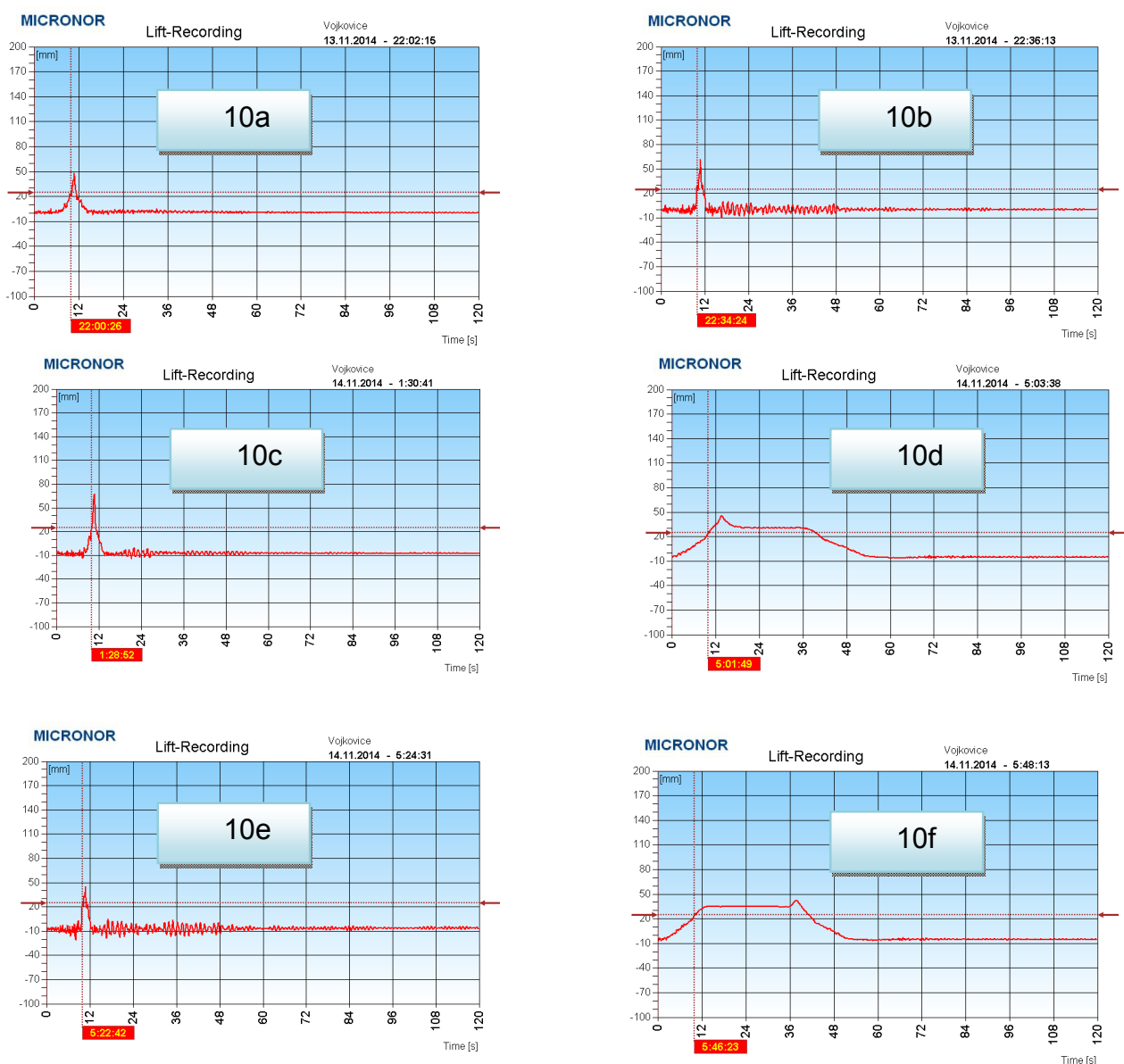


*Obr. 9 Detail zařízení Micronor.*

Zařízení bylo namontováno na bránu trakčního vedení soustavy 25 kV. Jeho hlavní součástí je převodník mechanického pohybu trakčního vodiče na optický signál. Převodník je upevněn na držáku a spojen s trakčním vodičem lankem, které se navíjí na válec ve snímači. Signál je potom veden optickým kabelem do vyhodnocovací skříňky umístěné v cca 400 m vzdáleném domku indikátoru horkoběžnosti. Odtud bude prostřednictvím technologické datové sítě SŽDC,s.o. zaveden do serveru ROSA k dalšímu zpracování.

## 2.5.2 Výstupy ze zařízení

Po oživení zařízení byly nasnímány průběhy signálu o zdvihu trakčního vedení při průjezdu lokomotivy se zdviženým sběračem v místě snímače. Následují ukázky záznamů.



Obr. 10 Příklady záznamů ze zařízení Micronor.

Prezentované záznamy pochází z 13. a 14. listopadu 2014 a představují příklad průběhů křivek pro rychlé a pomalé vlaky. Hranice 25 mm byla nastavena náhodně a nemá vztah k nastavení případných limitů pro poplachy. Ty budou muset být nastaveny po vyhodnocení dostatečného množství dat a po získání relevantních provozních zkušeností. Přitom je třeba dbát na jejich optimální nastavení s ohledem na plynulost provozu a zároveň na eliminaci jízdy vadných vozidel.

### 2.5.3 Převod zdvihu na přítlak

Součástí zpracování studie bylo i měření pružnosti trakčního vedení v místě snímače zdvihu, které provedli pracovníci Elektrizace železnic Praha a.s. Výsledky měření jsou uvedeny v Tab 2.

Parametry TV Vojkovice nad Svratkou 2.kolej			
Č.stožáru	Pružnost [mm/N]		Délka rozpětí [m]
	změřená	vypočtená	
58	0,63	0,63	
58-60 střed rozpětí	0,94	0,85	64,5
60 (snímač)	0,64	0,64	
60-62 střed rozpětí	1,07	0,95	62,5
62	0,66	0,65	

Tab 2: *Naměřené a vypočtené hodnoty pružnosti vedení*

Změřené hodnoty velmi dobře odpovídají výpočtu. Rozdíly uprostřed rozpětí odpovídají o cca 10% nižšímu tahu ve vodičích a jsou patrně způsobeny chodem kotvení při dilataci vodičů (měření bylo provedeno ve slunečním dopoledni, kdy docházelo k teplotnímu prodlužování vodičů). Na pružnost v místě snímače však uvedený jev nemá praktický vliv.

Vlastní převod zdvihu na přítlak lze provést několika způsoby:

- Použitím vzorců
- Kalibrační křivkou získanou simulací
- Kalibrační křivkou získanou empiricky

Vzorce jsou nejstarším způsobem určování konstrukčně-montážních i fyzikálních parametrů trolejového vedení. Zabývá se jimi především starší literatura, přičemž některé vzorce jsou normalizovány. Vztahy vycházejí z analytického vyjádření za daných zjednodušení, případně jsou ještě upřesněny empiricky zjištěným součinitelem. Hlavním nedostatkem vzorců je jejich omezená přesnost daná zanedbáním mnoha vstupních veličin, možnost zjišťovat parametry pouze v předem daných bodech trolejového vedení (u závěsu, uprostřed rozpětí) a praktická nepoužitelnost pro přímé výpočty parametrů interakce se sběračem. Vzorci však poskytují některé vstupní parametry pro simulace a samy o sobě umožňují snadné srovnání jednotlivých druhů trolejových vedení a snadné určování vlivu konstrukčně-montážních parametrů na některé jejich vlastnosti včetně grafického znázornění. V tomto případě je však nutné pečlivě zvážit nezávislost vstupních veličin vzorce, která nemusí být vždy splněna. Z toho plyne, že použitelnost vzorců je pro převod zdvihu na přítlak velmi omezená. Praktické použití má pouze vzorec (2) pro výpočet pružnosti u závěsu, který ovšem dává správné výsledky pouze v přímé (v oblouku značně klesá

pružnost z důvodu tvrdého místa daného velkým lomem trolejového drátu v bočním držáku):

$$e_{\min} = \frac{x_{1v}(l - x_{1v})}{2l(F_{td} + F_{nl})} + \frac{2x_{1v}}{k \cdot F_{td}} + \frac{(F - F_v)^2}{2F \cdot x_{1v} \cdot m_{td} \cdot F_{td}} \quad (2)$$

kde

$x_{1v}$  je vzdálenost prvního věšáku od závěsu [m];

$F$  velikost přitlačné síly, pro kterou se určuje pružnost [N];

$F_v$  zatížení prvního věšáku, dané tíhou úseku trolejového drátu od bočního držáku do poloviny vzdálenosti ke druhému věšáku [N];

$m_{td}$  délková hmotnost trolejového drátu [kg/m].

$l$  délka rozpětí;

$k$  a) rovno 4 za předpokladů shodných s předpoklady vzorce (10), tzv. analytická varianta vztahu, např. [9], [28];

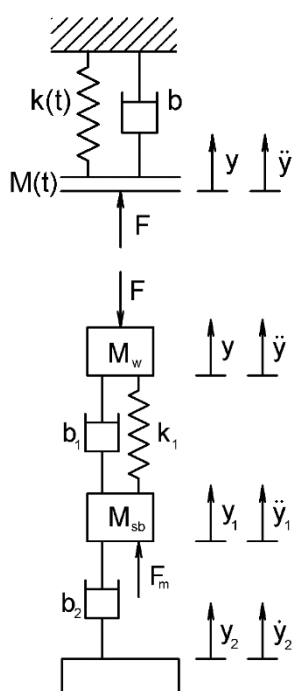
b) rovno jiným hodnotám zjištěným podle měření na konkrétních typech vedení tzv. poloempirická varianta vztahu. Např. při měření trolejového vedení typu „S“ byla zjištěna hodnota  $k = 3,5$ ;

$F_{td}, F_{nl}$  tahová síla v trolejovém drátu, resp. nosném laně.

V každém případě je však pro přesné vyhodnocení provést měření pružnosti vedení, což bylo při zkušební realizaci provedeno.

Další vzorce sloužící např. pro výpočet rezonanční rychlosti nemají pro převod zdvihu na přítlak význam, neboť jejich účelem je hledání lokálních extrémů zdvihu v závislosti na jízdní rychlosti a parametrech vedení, nikoliv výpočet konkrétních hodnot zdvihu.

Simulační výpočty již umožňují poměrně přesné stanovení závislosti přitlačné síly na zdvihu a jízdní rychlosti. Simulace vycházejí z numerického řešení diferenciálních rovnic popisujících dynamické chování soustavy sběrač – trolejové vedení. Oba členy systému jsou v případě diskrétních modelů popsány jako soustava hmotných bodů, lineárních nebo nelineárních pružin a tlumičů, spojených kinematickými vazbami. Počet stupňů volnosti soustavy závisí především na složitosti modelu sběrače a bývá obvykle v rozmezí 1 – 7. Pohybové rovnice lze sestavit různými způsoby (Newtonovým, d'Alembertovým, případně pomocí Lagrangeových rovnic); řešení vede na obyčejnou diferenciální rovnici druhého řádu, resp. soustavu těchto rovnic. Rovnice nemají konstantní koeficienty a nemusí být lineární, to však při numerickém řešení nepřináší větší potíže. Naopak se s výhodou využívá možnosti vkládat do výpočtu údaje získané měřením, například průběh pružnosti vedení. Typický model soustavy sběrač – vedení je uveden na obrázku. Vstupními údaji modelů jsou:



- tuhost vedení závislá na dráze, resp. čase  $k(t)$  [N/m];
- kmitající hmotnost vedení závislá na dráze, resp. čase  $m(t)$  [kg];
- tlumení vedení  $b$  [N·s/m];

Obr. 11 Model soustavy sběrač - vedení.

- neodpružená hmotnost hlavy sběrače  $M_w$  [kg];
- efektivní hmotnost ramen sběrače  $M_{sb}$  [kg];
- tuhost sekundárního vypružení ližin  $k_1$  [N/m];
- tlumení sekundárního vypružení ližin  $b_1$  [N·s/m];
- střední hodnota přítláčné síly při dané rychlosti jízdy  $F_m$  [N];
- tlumení ramen sběrače  $b_2$  [N·s/m];
- svislé pohyby skříňě vozidla  $y_2, y_2'$  [m, m/s];
- rychlost jízdy pro transformaci závislostí na dráze na závislosti na čase  $v = s / t$  [m/s].

Soustava je popsána následujícími diferenciálními rovnicemi (3):

$$\begin{aligned} -k(t) \cdot y_{td} - b \cdot \dot{y}_{td} - k_1(y_w - y_1) - b_1(\dot{y}_w - \dot{y}_1) &= M(t) \cdot \ddot{y}_{td} + M_w \ddot{y}_w \\ F_m + k_1(y_w - y_1) + b_1(\dot{y}_w - \dot{y}_1) + b_2(y_2 - y_1) &= M_{sb} \cdot \ddot{y}_1 \\ y_{td} &= y_w - p(x) \end{aligned} \quad (3)$$

kde

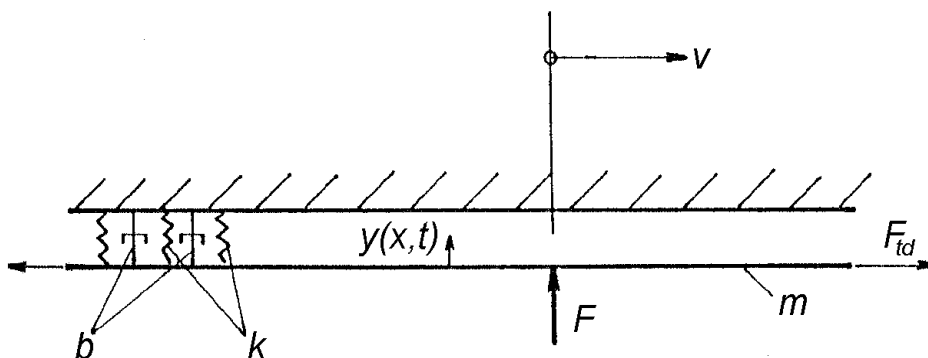
$y_{td}$  je zdvih trolejového drátu [m];

$y_w$  výška kontaktního bodu [m];

$p(x)$  klidová výška trolejového drátu v [m] ve vzdálenosti  $x$  od začátku simulovaného úseku, daná předprůhybem, náhodnými odchylkami v regulaci a průhybem mezi věšáky

Kromě diskretních modelů lze použít i dokonalejší tzv. vlnové modely, které vychází z teorie kmitání kontinua. Podle vlnových modelů je hlavním zdrojem „kmitání“ přítláčné síly a případné nestability pohybu sběrače šíření příčného mechanického vlnění v trolejovém drátu a jeho odrazy od nehomogenit, tj. věšáků, bočních držáků, křížení trolejových drátů atd. Vlnové modely jsou nezbytné pro simulace rychlostí blízkých rychlosti šíření vlny a při více sběračích na soupravě, kde dochází k jejich vzájemnému ovlivňování příčným vlněním v trolejovém drátu.

Na obr. 12 je uveden model řetězovkového trolejového vedení, který uvažuje jak proměnnou tuhost trolejového vedení, tak jeho tlumení. Jak bude dále patrné, model tak umožňuje komplexní řešení pohybu sběrače jak z hlediska rezonanční rychlosti, tak z hlediska rychlosti šíření vlny.



Obr. 12 Model řetězovkového trolejového vedení.

Model je popsán parciální diferenciální rovnicí

$$m \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} + b \frac{\partial y(x,t)}{\partial t} + k(x)y(x,t) - F_{td} \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2} = F(t)\delta(x-vt) \quad (4)$$

kde

$m$  je délková hmotnost trolejového drátu [kg/m];  
 $b$  tlumení trolejového drátu na jednotku délky [N·s/m<sup>2</sup>];  
 $k$  tuhost trolejového vedení na jednotku délky [N/m<sup>2</sup>];  
 $F_{td}$  tahová síla v trolejovém drátu [N];  
 $F$  přítlačná síla sběrače [N].

Rovnici lze řešit pomocí Fourierovy transformace. Fourierova transformace převádí funkce z časové oblasti do oblasti frekvenční a její nesymetrická varianta je definována:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{i\omega t} dt; \quad f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega)e^{-i\omega t} d\omega \quad (5)$$

Význam Fourierovy transformace při řešení parciálních rovnic tkví, podobně jako u transformace Laplaceovy, ve vztahu pro obraz derivace funkce:

$$F[f^{(k)}(t)] = (-i\omega)^k F[f(t)] \quad (6)$$

Po provedení substituce do pohyblivých délkových souřadnic vztahem  $x' = x - vt$  provedeme Fourierovu transformaci rovnice (4). S využitím vztahu (6) dostaneme obyčejnou diferenciální rovnici druhého řádu s konstantními koeficienty a speciálním tvarem pravé strany [7]:

$$(c-v) \cdot Y''(x', \omega) + 2v(\beta + i\omega) \cdot Y'(x', \omega) - (\omega_0^2 - \omega^2 + 2i\beta\omega) \cdot Y(x', \omega) = \frac{-F(\omega)\delta(x')}{m} \quad (7)$$

kde

$Y(x', \omega)$  je Fourierův obraz funkce  $y(x', t)$ ;  
 $F(\omega)$  Fourierův obraz funkce  $F(t)$ ;  
 $\beta$  konstanta útlumu,  $\beta = b / (2m)$  [1/s];  
 $c$  rychlost šíření vlny v [m/s];  
 $\omega_0$  vlastní kmitočet trolejového vedení, [1/s].

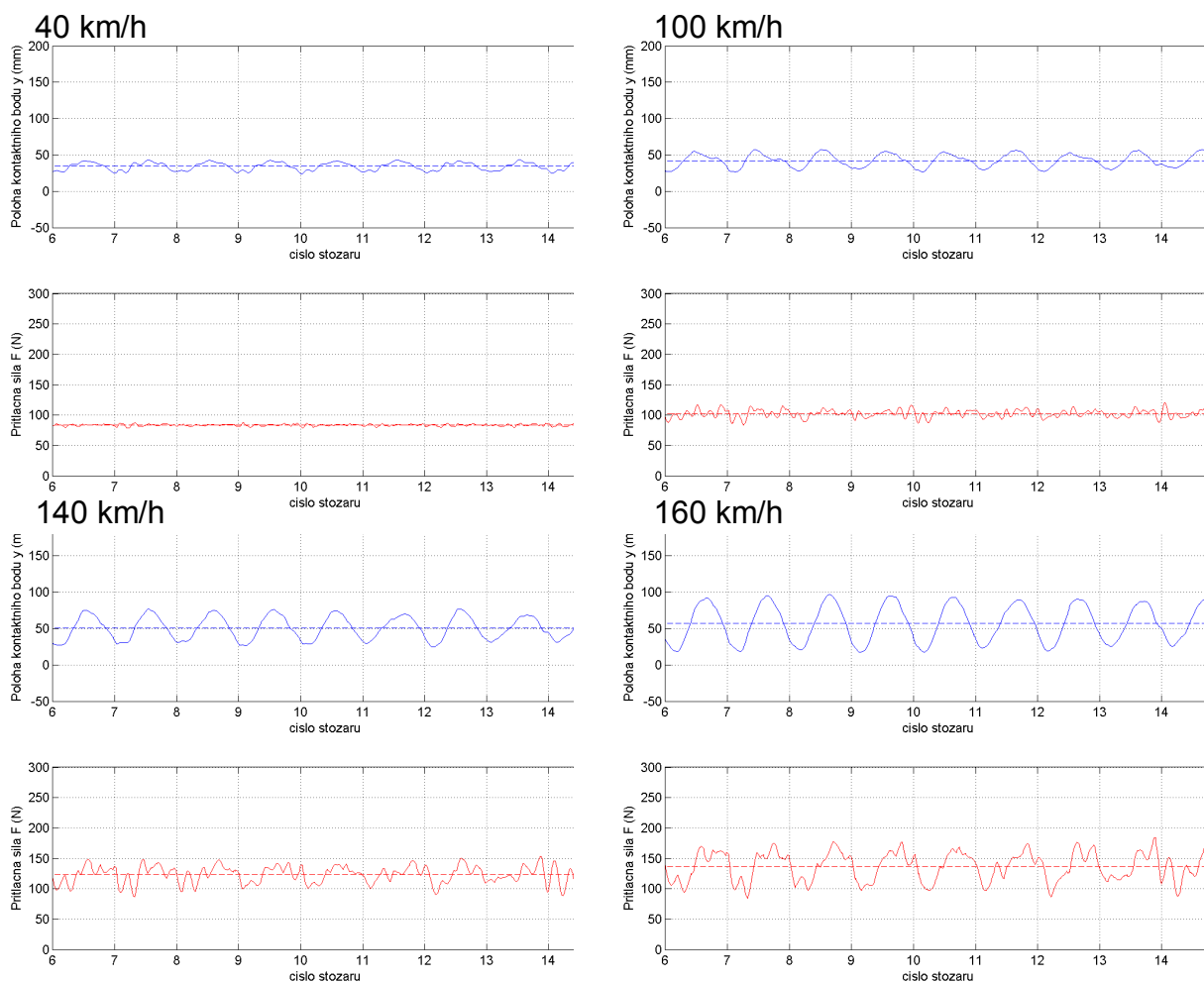
Tuto rovnici lze použít buď ke kvalitativní identifikaci typických provozních stavů ve vztahu k rezonanční rychlosti i rychlosti šíření vlny, především pak k získání časového průběhu velikosti přítlačné síly i zdvihu trolejového drátu. To ovšem předpokládá numerické provedení dopředné i zpětné Fourierovy transformace.

Protože simulacemi se získá řešení diferenciálních rovnic v časové oblasti, je pro získání kalibrační křivky nutno provést několik výpočtů pro různé rychlosti a provést výpočet střední hodnoty získaného průběhu přítlačné síly. Následující obrázky ukazují příklady výsledků simulace diskrétního modelu podle obr. 11 pro vedení typu „J“.

Z těchto simulací lze pro daný případ (např. stožár č. 13) získat následující hodnoty pro kalibrační křivku:

Rychlost (km/h)	40	100	140	160
Zdvih (cm)	2,7	3,4	3,2	4,5
Střední přítláčná síla (N)	85	102	123	135

Tab 3: *Hodnoty zdvihu a přítlaku získané simulací*



Obr. 13 *Průběhy přítláčné síly*

Z výsledků je zřejmé, že nemusí nutně s rostoucí rychlostí růst zdvih u závěsu, ačkoliv přítláčná síla, stejně jako zdvih uprostřed rozpětí rostou. Tento jev je zvlášť patrný u vedení s nízkou pružností u závěsu, tj. stejnosměrných vedení, vedení bez přídavných lan a vedení v ostrých obloucích. Je tedy nutné pro převod zdvihu na přítláčnou sílu měřit též rychlost projíždějících vozidel jako druhou proměnnou, která může ovlivnit vypočtenou přítláčnou sílu více, než vlastní změřený zdvih.

Čistě empirické stanovení kalibračních křivek je sice poměrně přesné, neboť eliminuje vlivy, které model zanedbává, na druhou stranu by vyžadovalo neúměrný počet zkušebních jízd různými rychlostmi, různými přítláčnými silami a dokonce různými sběrači, nehledě na nutnost vyhodnocení z hlediska reprodukovatelnosti měření i statistického zajištění. Z tohoto důvodu se jeví jako nejvýhodnější získání

typových kalibračních křivek pomocí simulací a jejich následná úprava na základě údajů z měřicího vozu SŽDC, TÚDC Bohumín. Vzhledem k pravidelným jízdám 2x ročně lze provést i statistické zajištění získaných dat.

Z dat získaných v dosavadním zkušebním provozu měření zdvihu byla sestavena tabulka č.3 s maximálními hodnotami zdvihu trakčního vodiče s převodem na přítlakovou sílu podle vztahu (8).

$$F_M = \frac{\Delta h_{max}}{e} \quad [N] \quad (8)$$

Kde:

$F_M$  – maximální síla přítlaku [N]

$\Delta h_{max}$  – maximální zdvih [mm]

$e$  – pružnost trakčního vedení [mm/N]

Datum	13.11.2014			14.11.2014														
Čas průjezdu	22:00:26	22:34:24	22:53:26	0:49:05	1:08:42	1:28:02	2:39:11	3:16:10	3:52:16	4:24:00	4:33:27	4:37:03	5:01:49	5:22:42	5:31:46	5:36:10	5:46:23	6:01:44
Zdvih (mm)	50	62	40	60	65	68	47	45	45	55	35	48	47	48	30	40	40	43
Přítlak (N)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	73	x	x	x	62	x
Rychlost (km/h)	68	137				95								137				
Poznámka	Obr 10a	Obr 10b				Obr 10c							Osobní vlak, Obr 10d	Obr 10e			Osobní vlak, Obr 10f	

Tab 4: Tabulka zdvihu trakčního vodiče a odpovídajícího přítlaku sběrače

Údaje o přítlaku sběrače v záznamech zdvihu (Obr 10d a Obr 10f) byly vypočítány dle vztahu (8), protože se jednalo o pomalé vlaky (osobní vlak rozjíždějící se ze zastávky). Z údajů je patrné, že obě soupravy splňovaly povolené rozmezí statického přítlaku 60 až 90 N podle EN 50367. V ostatních případech se jednalo o rychlé vlaky (traťová rychlost v místě činí 160 km/hod), kde původní vztah pro přepočet musí být korigován rychlostní korekcí. K jejímu stanovení je nutné provést zkušební jízdy vozidlem při různém přítlaku sběrače a při různých rychlostech.

#### 2.5.4 Teplota trolejového vodiče

V souvislosti s řešením této úlohy byla ještě plánována instalace snímače teploty trakčního vodiče. Snímač byl objednáán, ale nebyl ještě dodán ze zahraničí. Jakmile bude doručen, provedeme kroky k jeho instalaci a spuštění. Předběžně bylo dohodnuto, že bude nainstalován v blízkosti stožáru trakčního vedení č. 72 za zastávkou Vojkovice n./Svratkou směrem na Brno a signál z něho bude odtud sveden optickým kabelem do blízkého domku indikátoru horkoběžnosti a ukončen ve vyhodnocovací skříňce. Účelem tohoto měření je trvalé sledování teploty trakčního vodiče za účelem statistického vyhodnocení a porovnání s výsledky měření zdvihu trakčního vodiče.



*Obr. 14 Místo pro instalaci snímače teploty Micronor.*

Údaje o teplotě vodiče budou spárovány se záznamy o zdvihu a dále zpracovány podobně jak bylo popsáno v odstavci pro měření zdvihu.

### 3 Zpracování dat

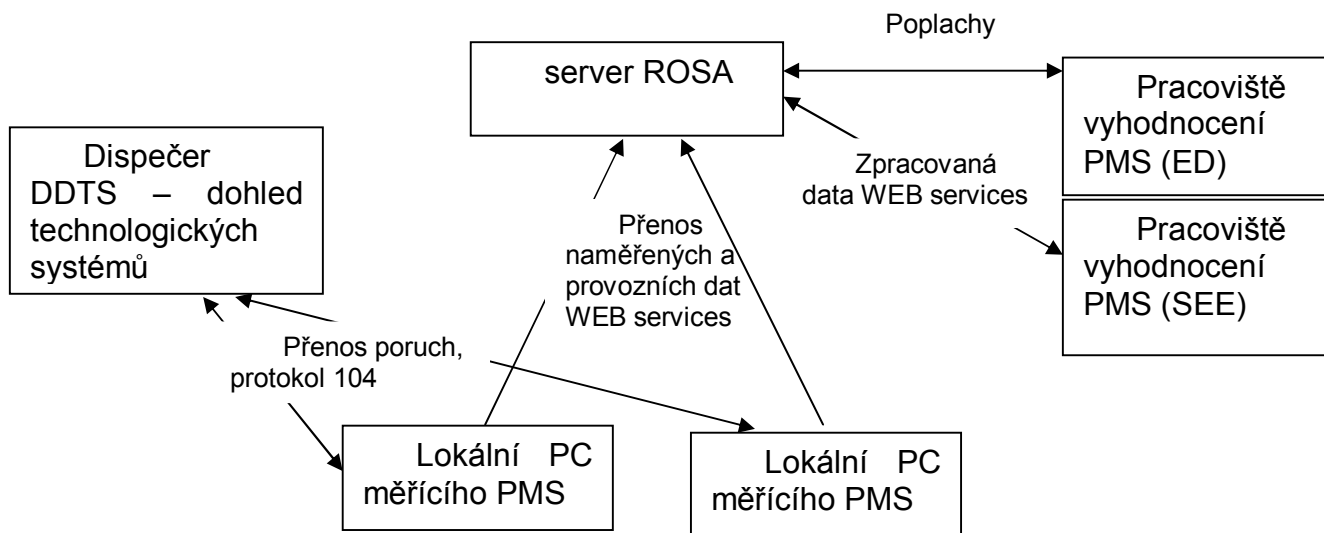
Naměřená data budou přenášena z lokálních PC na server ROSA, kde budou dále zpracovávána a archivována. Na serveru ROSA bude prováděno vyhodnocování naměřených hodnot a párování konkrétního měření ke konkrétnímu vlaku, v případě že bude přesáhnutý limit pro detekci nevyhovujícího sběrače, bude toto indikováno na počítač u elektrodispečera, kde bude možné prohlédnout naměřená data jak v tabulkové tak v grafické podobě. Ze serveru ROSA bude možné rovněž přenášet data na základě dotazu na vyhodnocovací pracoviště SEE pro případy, kdy bude nutné zpětně dohledávat konkrétní případy. Z lokálního PC bude možno pomocí protokolu 104 (ČSN EN 60870-5-104 ed.2) indikovat poruchu systému na dohledový dispečerský systém na pracovišti dohledu technologických systémů - DDTS.

#### 3.1 Primární sběr dat

Na úrovni lokálních počítačů pantografového monitorovacího systému (PMS) budou prováděny následující operace:

- komunikace s kamerovým systémem a se snímačem zdvihu a teploty

- zpracování, formátování a lokální uložení dat
- odeslání výstupních dat na server ROSA pomocí webových služeb
- možnost náhledu na sejmutá a uložená data
- odeslání informace o funkci zařízení na dispečerské pracoviště DDTS.
- 



Obr. 15 Schéma toku dat

### 3.2 Server ROSA

Na centrálním diagnostickém serveru ROSA se sbíhají data ze všech dosud instalovaných indikátorů horkoběžnosti a plochých kol, včetně čísla vlaku ze systému GTN a v budoucnu i čísla vozidel. Na tento server budou rovněž přenesena on-line data z lokálních počítačů PMS, tak jak budou postupně tyto systémy budovány.

Funkcionality:

- on-line sběr dat z lokálních PC z jednotlivých systémů
- zpracování a uložení dat na serveru
- párování s číslem vlaku ev. číslem vozidla
- přepočítání zdvihu trakčního vodiče na přítlak
- vyhodnocení překročení nastavených limitů
- on-line diagnostika zařízení PMS pro účely správce systému.

### 3.3 Pracoviště vyhodnocení PMS – elektrodispečer

Prvotním úkolem této datové vazby je umožnit elektrodispečerovi provedení zákroku v případě, že na zařízení PMS v jeho obvodu došlo k detekci vadného sběrače nebo k překročení nastavených limitů pro přítlak sběrače.

Funkcionality:

- přenos poplachů ze serveru ROSA,
- grafické a akustické upozornění na výskyt poplachu,
- identifikace případu – místo, datum, čas, směr jízdy, rychlost, číslo vlaku, číslo vozidla, hodnota zdvihu a přítlaku včetně grafického znázornění, fotografie poškozeného sběrače.

### 3.4 Pracoviště vyhodnocení PMS – SEE

Pracoviště SEE bude vykonávat dohled nad zařízením a jeho správu.

Dostupné funkcionality:

- on-line prohlížení naměřených dat,
- vyhledávání, třídění a filtrace dat,
- tvorba statistik,
- zobrazení formou tabulek a grafů,
- tisk a export dat,
- upozornění v případě poplachu,
- administrace systému
- nastavování limitů pro poplachy,
- nastavení přístupu uživatelů.

### 3.5 Pracoviště DDTS

Účelem této vazby je dohled nad zařízením a jeho řádnou činností. Data přenášena na toto pracoviště jsou diagnostického rázu a umožňují dispečerovi směřovat servisní zásah na konkrétní místo a v potřebném rozsahu.

## 4 Reakce provozovatele dráhy

Pro stanovení závěrů vedoucích k vypracování směrnice pro obsluhu zařízení z hlediska provozovatele dráhy je zapotřebí provést detailní rozbor dostatečného vzorku dat, tak aby bylo možné zodpovědně stanovit postupy pro činnost zainteresovaných pracovníků a zároveň stanovit přípustné hodnoty zdvihu a přítlaku sběračů jak pro stejnosměrnou, tak pro střídavou trakci v maximálních a minimálních hodnotách. Doposud získaná data nejsou pro tento účel dostačující. Předpokladem je aspoň půlroční sledování záznamů.

## 5 Ukládání a archivace dat

Ukládání a archivace dat je prováděno ve dvou úrovních – v místě vzniku dat, tj. v počítači u snímače a následně na serveru ROSA, kde jsou data ukládána, zpracovávána a prezentována uživatelům. Data jsou zde ukládána na dva nezávislé nosiče, aby byla zachována v případě poruchy jednoho z nich.

- Přílohy:
- 1) Zařízení APMS f-y Sensys
  - 2) Zařízení Micronor
  - 3) Projekt instalace kamer žst. Pardubice
  - 4) Projekt instalace měření zdvihu TV zast. Vojkovice n./Svratkou
  - 5) Předběžné technické podmínky zařízení Micronor
  - 6) Žádost o povolení ověřovacího provozu zařízení Micronor

Listopad 2014

Zpracoval:  
Ing. Ladislav Kovář  
STARMON s.r.o.  
Choceň

Ing. Tomáš Krčma  
Elektrizace železnic Praha a.s.  
Praha