

Rekonstrukce vozovny Slovany Plzeň

KOROZNÍ STUDIE

Analýza vlivu přímého propojení kolejí, izolačních styků a uzemnění kolejnic na proudové a potenciálové poměry ve vozovně Slovany, posouzení ve smyslu ČSN EN 50122-1, kap. 7.



Číslo zakázky: 19-B-032
Praha, září 2019

 **JEKU, s.r.o.**
ateliér Praha
Limuzská 8
100 00 Praha 10 - Strašnice
ICO: 25031261, Tel: 272 702 597

Vypracoval:

JEKU s.r.o.
Limuzská 8
100 00 Praha 10 – Strašnice
+272 011 090, JEKU@JEKU.CZ

Ing. Bohumil Kučera
Ing. Jozef Legěň



A. Přehled ustanovení norem

- **ČSN EN 50122-2 ed. 2**

Z hlediska ochranných opatření proti účinkům bludných proudů to je pro tramvajové tratě základní norma.

Podle této EN musí být kontrolovány, ověřovány a schvalovány všechna opatření pro omezení dopadu bludných proudů (viz kap. 6).

Zpětný obvod DC trakčních soustav obvykle není spojen se zemí, proto musí být splněny bezpečnostní požadavky na potenciál kolejnice (na napětí mezi jízdnicí a zemí), které jsou stanoveny v čl. 6.2.2 a kap. 9 EN 50122-1: 2010.

Pokud opatření proti bludnému proudu ovlivní elektrickou bezpečnost, pak mají ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem uvedené v EN 50122-1 přednost před opatřeními proti účinkům bludných proudů (viz 1).

Opatření proti účinkům bludných proudů požadované normou lze rozdělit na:

- opatření pro širokou trať a
- opatření pro depa a dílny.

Jízdni kolejnice, které jsou součástí zpětného obvodu, musí mít vysoké hodnoty izolačního odporu jízdnicí a celého zpětného obvodu proti zemi. Požadované kritéria související s izolací kolejnic, které musí být dodrženy, jsou dány rovnicemi resp. nerovnostmi (1), (2) a (3) vyjadřujícími vztahy mezi měrnou svodovou vodivostí kolejice, potenciálem kolejnice a průměrným bludným proudem na jednotku délky kolejice, které jsou uvedeny v 5.2.

Izolační stav zpětného obvodu se podle 6.2.6 nesmí zhoršit přímými vodivými spojeními se zařízeními, stavebními prvky nebo kovovými konstrukcemi, které nejsou izolovány od země. V případě přímého vodivého spojení se zařízeními, stavebními prvky nebo kovovými konstrukcemi neizolovanými proti zemi musí být pro zpětný obvod splněny hodnoty požadované v rovnicích (nerovnostech) (1), (2) a (3), včetně částí k němu připojených.

Pro kolejice zaústěné do dep a dílen platí zvláštní opatření proti účinkům bludných proudů uvedené v kapitole 9.

Protože kolejiště v depech a v dílnách je soustředěno na poměrně malém prostoru, nedochází v něm k významnějším úbytkům napětí (v kolejnicovém vedení).

Z bezpečnostních důvodů (z důvodu ochrany proti nebezpečnému dotykovému napětí) je proto v depech a dílnách povoleno pro vyrovnání potenciálu (mezi kolejí a zemí) přímé spojení mezi uzemněnými konstrukcemi a zpětným obvodem. Kromě přímého spojení musí být potom v depech a v dílnách realizována další dvě opatření proti účinkům bludných proudů:

- **jízdni kolejnice depa (dílny) musí být odděleny od hlavní tratě izolovanými kolejnicovými styky a**

- trakční napájení hnacích kolejových vozidel v depu (dílně) musí být zajištěno ze samostatné usměrňovací jednotky.

V depech (dílnách) jsou povoleny výjimky z výše uvedených požadavků za předpokladu, že korozní studie bludných proudů neprokáže žádné negativní účinky. Možnosti výjimek nejsou v normě blíže popsány.

V případě, že jsou jízdni kolejnice v prostoru depa (dílň) připojené k hlavní trati (izolované styky nejsou instalovány), musí být izolování zpětného obvodu v depu (dílně) stejné, jako na hlavní trati.

Pro splnění ochranných opatření může být v depu (dílně) použité zařízení omezující napětí VLD-O. Nastavení tohoto zařízení musí splňovat hodnoty pro depa a dílny uvedené v EN 50122-1: 2010, 9.3.2.3. V 6.4.2 ČSN EN 50122-1 ed. 2 je však uvedeno, že v **depech a dílnách může být ochrana proti nedovolenému dotykovému napětí (omezení potenciálu kolejnice) zajištěna jen přímým uzemněním jízdnic** při zvýšeném výskytu bludných proudů.

Praxe zavedená v ČR v jednotlivých dopravních podnicích je mírně odlišná. Jednotlivé dopravní podniky v naprosté většině dodržují systém propojení kolejnic bez izolačních styků. Rovněž z hlediska napájení se nepraktikují oddělené napáječe pro haly vozoven a odstavu. Zachovává se systém elektrického izolačního uložení kolejnic od stavby vozovny s uzemnění a vyrovnáním potenciálu pro halu samotnou. Pro toto uspořádání navržené pro konkrétní případ je nutno zpracovat tuto korozní studii.

B. Výběr údajů z energetického výpočtu a z technické zprávy

V rámci stavby bylo v areálu vozovny vytvořených 8 napájecích úseků:

- úsek č. 1 - Slovanská alej,
- úsek č. 2 - výjezdová harfa,
- úsek č. 3 - vjezdová harfa,
- úsek č. 4 - koleje 2 až 4, dílny,
- úsek č. 5 - koleje 5 až 7, depo pochozí,
- úsek č. 6 - koleje 8 až 12, depo prosté,
- úsek č. 7 - koleje 13 až 17, depo prosté,
- úsek č. 8 - koleje 18 až 25, depo rozšířené.

Z MR Slovany jsou dále napájeny napájecí úseky 14, 15, 19, 20, které se nacházejí mimo areál vozovny.

Označení napájecího úseku	Název napáječe	Délka (m)	Zakončení
14	Částková	1000	Slovanská x Strnadová
15	Ořechová	650	Slovanská x Ořechová
19	Světovar A	510	Koterovská x Slovanská alej
19	Světovar B	510	Koterovská x Slovanská alej
19	Světovar C	250	Koterovská x Sladová
20	Nám. Gen. Píky A	1000	Koterovská x Umo
20	Nám. Gen. Píky B+C	1000	Koterovská x Umo
20	Nám. Gen. Píky D	1000	Nám.gen.Píky x kruhový objezd
20	Nám. Gen. Píky E+F	1000	Nám.gen.Píky x kruhový objezd

Původní napájecí úseky 16, 17, 18 byly nahrazeny novými napájecími úseky areálu vozovny.

Účel napájecích úseků ve vozovně Slovany:

- úsek č. 1 (ZR1) je určen pro manipulační jízdy do zastávek Slovany a Světovar, není určen pro pravidelný provoz
- úsek č. 2 (ZR2) - výjezdní harfa,
- úsek č. 3 (ZR3) - vjezdová harfa,
- úsek č. 4 (koleje 2 až 4) - dílny, hala kontrolních prohlídek,
- úsek č. 5 (koleje 5 až 7) - depo "pochozí", hala denního ošetřování,
- úsek č. 6 (koleje 8 až 12) - depo "prosté", hala pro odstavy,
- úsek č. 7 (koleje 13 až 17) - depo "prosté", hala pro odstavy,
- úsek č. 8 (koleje 18 až 25) - depo "rozšířené", hala pro odstavy.

Odvod zpětných trakčních proudů z nových napájecích úseků v areálu vozovny zabezpečují 3 zpětné rozvaděče (skříňe): - zpětné rozvaděče ZR2 a ZR3, které jsou umístěny ve vozovně a zpětný rozvaděč ZR1 v její blízkosti.

Zpětné rozvaděče jsou ke kolejnicím připojeny odsávacími kabely YY240, do zpětného rozvaděče měnirny MR4 vedou kabely AHKCY 1x500. Podobně je řešeno připojení i dalších stávajících zpětných rozvaděčů.

Zpětné kabely vedené od místa připojení na kolejnicové vedení přes zpětnou skříň ZR1 do MR Slovany:

- ZR1.1a 10 m 2× YY 1×240 mm², - ZR1.1b 35 m AHKCY 1×500 mm²,

- ZR1.2a 10 m 2× YY 1×240 mm², - ZR1.2b 35 m AHKCY 1×500 mm².

Zpětné kabely vedené od místa připojení na kolejnicové vedení přes zpětnou skříň ZR2 do MR Slovany:

- ZR2.1a 10 m 2× YY 1×240 mm², - ZR2.1b 37 m AHKCY 1×500 mm²,

- ZR2.2a 10 m 2× YY 1×240 mm², - ZR2.2b 37 m AHKCY 1×500 mm².

Zpětné kabely vedené od místa připojení na kolejnicové vedení přes zpětnou skříň ZR3 do MR Slovany:

- ZR3.1a 10 m 2× YY 1×240 mm², - ZR3.1b 320 m AHKCY 1×500 mm²,

- ZR3.2a 10 m 2× YY 1×240 mm², - ZR3.2b 320 m AHKCY 1×500 mm².

Přehled původních zpětných odsávacích kabelových vedení AYKCY 1x500 z kolejnicového vedení (zpětných skříní) do měnírny MR4 Slovany:

Označení kabelu	Zakončení kabelu
19C-	Zpětná skříň ZR 019.1
19A-	Zpětná skříň ZR 019
19B-	Zpětná skříň ZR 019
18A-	Zpětná skříň ZR 018
18B-	Zpětná skříň ZR 018
18C-	Zpětná skříň ZR 018
18D-	Zpětná skříň ZR 018
17A-	Zpětná skříň ZR 017
17B-	Zpětná skříň ZR 017
20D-	Zpětná skříň ZR 020.2
20E-	Zpětná skříň ZR 020.2
20F-	Zpětná skříň ZR 020.2
20A-	Zpětná skříň ZR 020.1
20B-	Zpětná skříň ZR 020.1
20C-	Zpětná skříň ZR 020.1
16C-	Zpětná skříň ZR 016 Mototechna
16D-	Zpětná skříň ZR 016 Mototechna

Přehled délek původních zpětných odsávacích kabelů měnírny MR4 Slovany:

Označení	Název	Délka (m)	Zakončení
14	Částkova	1000	Slovanská x Strnadova
15	Ořechová	650	Slovanská x Ořechová
16	Slovanská alej A	65	Vozovna Slovany-vjezd
16	Slovanská alej B	65	Vozovna Slovany-vjezd
16	Slovanská alej C	35	Vozovna Slovany-mototechna
16	Slovanská alej D	35	Vozovna Slovany-mototechna
17	Vozovna A	110	Vozovna Slovany-HV
17	Vozovna B	110	Vozovna Slovany-HV
18	Nádvoří A	52	Měnírna Slovany
18	Nádvoří B	52	Měnírna Slovany
18	Nádvoří C	52	Měnírna Slovany

18	Nádvoří D	52	Měsírna Slovany
19	Světovar A	510	Koterovská x Slovanská alej
19	Světovar B	510	Koterovská x Slovanská alej
19	Světovar C	250	Koterovská x Sladová
20	Nám. Gen. Píky A	1000	Koterovská x Umo
20	Nám. Gen. Píky B+C	1000	Koterovská x Umo
20	Nám. Gen. Píky D	1000	Nám. Gen. Píky – kruh. objezd
20	Nám. Gen. Píky E+F	1000	Nám. Gen. Píky – kruh. objezd

Na jiném místě dokumentace je uveden následující přehled zpětných odsávacích vedení:

- MR Slovany (zpětný rozvaděč) – Částkova ZR14 1xAYKCY 1x500, délka 1000 m,
- MR Slovany (zpětný rozvaděč) - Ořechova ZR15 2 x AYKCY 1x500, délka 650 m,
- MR Slovany (zpětný rozvaděč) – Francouzská ZR20.1 3 x AYKCY 1x500, ZR20.2 3 x AYKCY 1x500, délka A (Koterovská x Umo) 1000 m, délka B+C (Koterovská x Umo) 1000 m, délka D (Nám. Gen. Píky x kruh. objezd) 1000 m, délka E+F (Nám. Gen. Píky x kruh. objezd) 1000 m,
- MR Slovany (zpětný rozvaděč) – Koterovská ZR19 2 x AYKCY 1x500, ZR19.1 1 x AYKCY 1x500, délka A, B (Koterovská x Slovanská alej) 510 m, délka C (Koterovská x Sladová) 250 m,
- MR Slovany (zpětný rozvaděč) – Slovanská alej ZR1 2 x AYKCY 1x500, délka 35 (délka kabelů ke kolejnicím 2 x 2 x YY 1x240 je 10 m),
- MR Slovany (zpětný rozvaděč) – vozovna ZR2 2 x AYKCY 1x500, délka 37 m (délka kabelů ke kolejnicím 2 x 2 x YY 1x240 je 10 m),
- MR Slovany (zpětný rozvaděč) – nádvoří ZR3 2 x AYKCY 1x500, délka 320 m (délka kabelů ke kolejnicím 2 x 2 x YY 1x240 je 10 m).

V místě vjezdu a výjezdu z hal budou v novém kolejišti vyhotovené příčně propojení kolejí kabelem YY240.

Příčné propojení kolejí jsou ve vozovně vytvořeny:

- u kolejí 2 až 4 na jejich začátku a konci,
- u kolejí 5 až 7 na jejich začátku,
- u kolejí 8 až 12 na jejich začátku,
- u kolejí 13 až 17 na jejich začátku,
- u kolejí 18 až 21 na jejich začátku,
- u kolejí 26 (3 průjezdné a 2 neprůjezdné koleje) na jejich začátku,
- u kolejí 5 až 26 na jejich konci.

Na severozápadě halového komplexu je dvoulodní remízovací hala pro úklid tramvají. V jihovýchodní části jsou pracovní jámy, ve zbytku haly jsou prohlížecí kanály, stanoviště pro

MO a BO, jsou zde strojní zvedáky a točna s napojením na zámečnickou dílnu. Mezi kolejemi 11-12 a 13-14 jsou kontrolní lávky. Na severozápadní straně je přístavba s dílnami a údržba aku baterií. V jihovýchodní části je dvouodní hala oprav, na severozápadní straně pískovna, olejovna, elektrodílna.

Ve venkovním kolejišti vozovny a v kolejišti v hale odstavit jsou použity žlábkované kolejnice NT1.

Koleje ve vozovně budou elektricky odizolované od stavby vozovny. Stejně budou elektricky izolačně uloženy i koleje mimo halu v areálu vozovny.

Pro samotnou technologii měřírny je navrženo samostatné oddělené uzemnění (samostatná zemnicí soustava), jehož zemní odpor je 2Ω .

Budova vozovny a budovy zázemí tvoří jeden celek se společnou uzemňovací soustavou vlastní spotřeby. Stavba Administrativní budovy budou přizemněné společně s budovou vozovny na společnou uzemňovací soustavu, uzemnění měřírny je oddělené.

Uzemňovací soustava energocentra bude mřížová s doplněnými tyčovými uzemňovači. Ve vozovně bude vytvořeno uzemnění ze základových zemničů stavby, které bude součástí uzemnění VS.

Do měřírny bude kabelovým vedením 22 kV resp. stíněním kabelu přivedeno také uzemnění ČEZ Di, které bude vyvedené na přípojnicí a spojené přes průrazku s opakovatelnou funkcí 100 V, 100 kA s uzemňovací soustavou VS.

Pokud nebude kolejniové vedení vozovny na vstupu do vozovny odizolované izolačními styky od traťového kolejniového vedení (pro problémy s opalováním izolovaných styků), bude zpětné trakční vedení posíleno odsávacími kabely v místě vstupu kolejí do areálu a před vstupem každé koleje do vozovny. Z uvedeného textu vyplývá, že úvahy o odizolování kolejiště vozovny nebyly zcela zavrženy.

Výběr z výsledků energetického výpočtu je v následujících tabulkách.

Veličina		Úsek č. 1	Úsek č. 2	Úsek č. 3	Úsek č. 4	
Redukovaná délka napájeného úseku	l	0,405	0,160	0,160	0,090	km
Počet projíždějících souprav úsekem	m	69	69	69	4	-
Efektivní proud	I_{ef}	618,50	491,87	491,68	16,73	A
Maximální proud	I_{max}	1636,27	3040,54	3040,50	1971,01	A
Měrný proud v úseku	i	916,00	1839,50	1842,12	111,56	A/km
Největší dovolený zpětný proud v kolejích	$I_{z,max}$	714,29	714,29	714,29	714,29	A
Minimální zkratový proud	$I_{k,min}$	9094,28	11288,56	8591,05	11403,01	A
Max. vzdálenost mezi dvěma odsávacími body	L_{max}	0,780	0,388	0,388	6,403	km
Odpor zpětných kabelů	R_{zk}	0,001	0,001	0,011	0,001	Ω

Veličina		Úsek č. 5	Úsek č. 6	Úsek č. 7	Úsek č. 8	
Redukovaná délka napájeného úseku	l	0,130	0,137	0,137	0,137	km
Počet projíždějících souprav úsekem	m	22	22	22	22	-
Efektivní proud	I_{ef}	105,47	107,82	107,82	107,82	A
Maximální proud	I_{max}	2455,19	2455,96	2455,96	2455,96	A
Měrný proud v úseku	i	486,78	472,21	472,21	472,21	A/km
Největší dovolený zpětný proud v kolejích	$I_{z\ max}$	714,29	714,29	714,29	714,29	A
Minimální zkratový proud	$I_{k\ min}$	10029,43	9373,09	9079,37	9079,37	A
Max. vzdálenost mezi dvěma odsávacími body	L_{max}	1,467	1,513	1,513	1,513	km
Odpor zpětných kabelů	R_{zk}	0,001	0,001	0,001	0,001	Ω

Poznámka k energetickému výpočtu:

Výchozími podklady a předpisy, které byly použity při výpočtu jsou:

- ČSN 37 6754 - Projektování trakčního vedení tramvajových a trolejbusových drah,
- ČSN 33 3516 - Předpisy pro trakčního vedení tramvajových a trolejbusových drah,
- Ing. Kuchařová - Návrh metodiky energetických výpočtů,
- Směrnice pro energetický výpočet tramvajových a trolejbusových drah.

Mezi použitými podklady nejsou uvedeny (nebyly při energetickém výpočtu použité) ČSN EN 50122-1 ed. 2 ani ČSN EN 50122-2 ed. 2. (nejsou uvedeny ani mezi souvisejícími vyhláškami).

Souhrnná užitečná délka kolejí 1, 1a, 2 až 4 je 682,2 m, souhrnná užitečná délka kolejí 5 až 11 je 1137,3 m, užitečná délka koleje 12 je 160,6 m, souhrnná užitečná délka kolejí 13 až 21 a 24 až 26 je 1801,3 m, souhrnná užitečná délka jednostranných kolejí 22 a 23 je 249,1 m, užitečná délka jednostranné koleje 27 je 83,8 m.

Celková provozní délka tramvajových tratí je 20,3 km

Náčrt zpětného kolejnicového vedení a zpětného kabelového vedení tramvajových tratí v Plzni, v blízkosti měřirny Slovany a ve vozovně Slovany pro odstavy vozů

- 1 Bolevec - Slovany**
- 2 Skvrňany - Světovar**
- 4 Bory - Košutka**

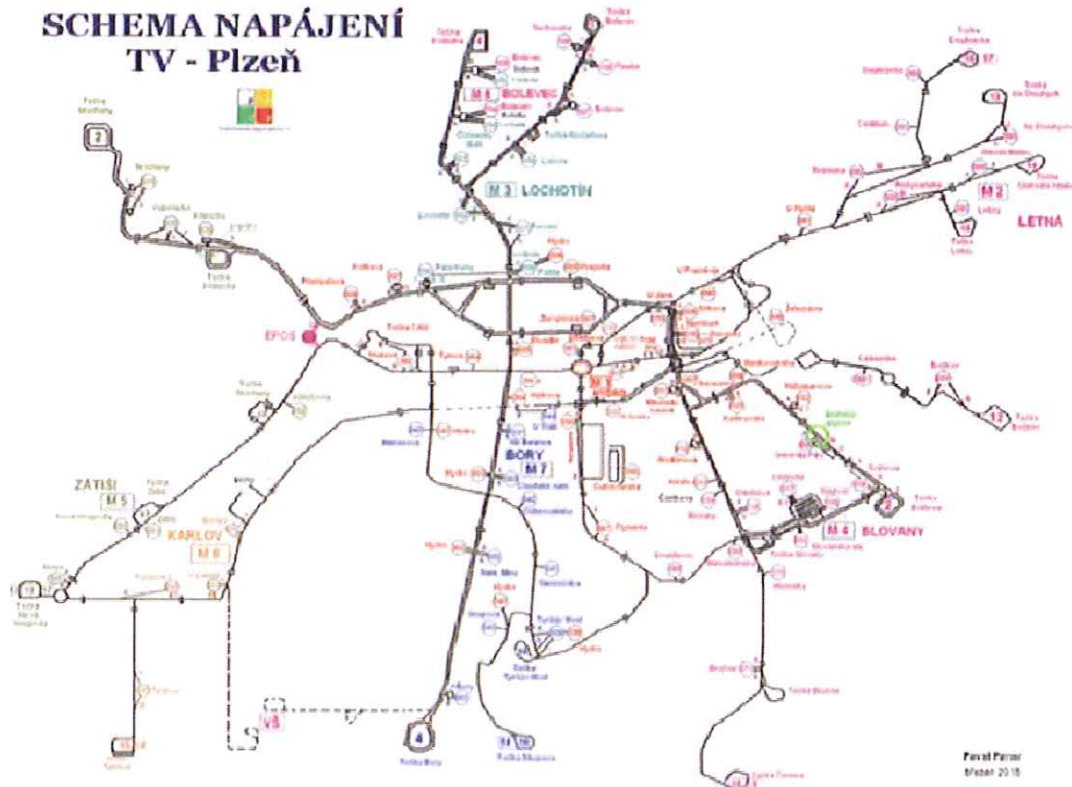
www.plzensketramvaje.cz



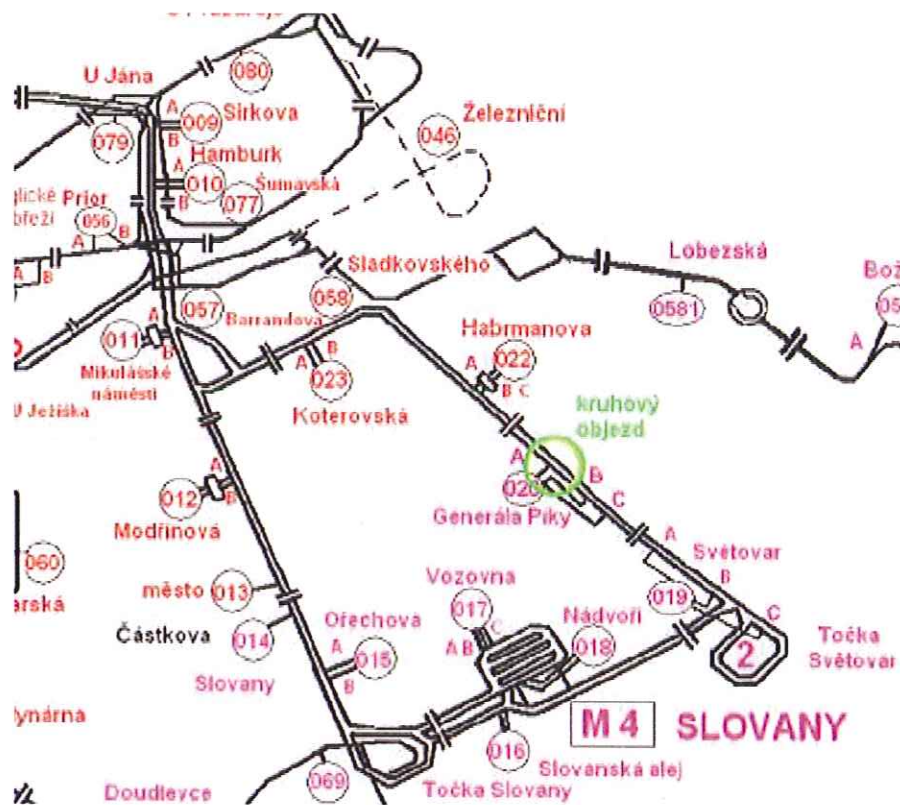
M1 – MR Hydro, M3 – MR Lochotín, M4 – MR Slovany, M5 – MR Zátíší, M6 – MR Bolevec, M7 – MR Bory,

Obr. 1 Náčrt tramvajových linek a poloh trakčních měření

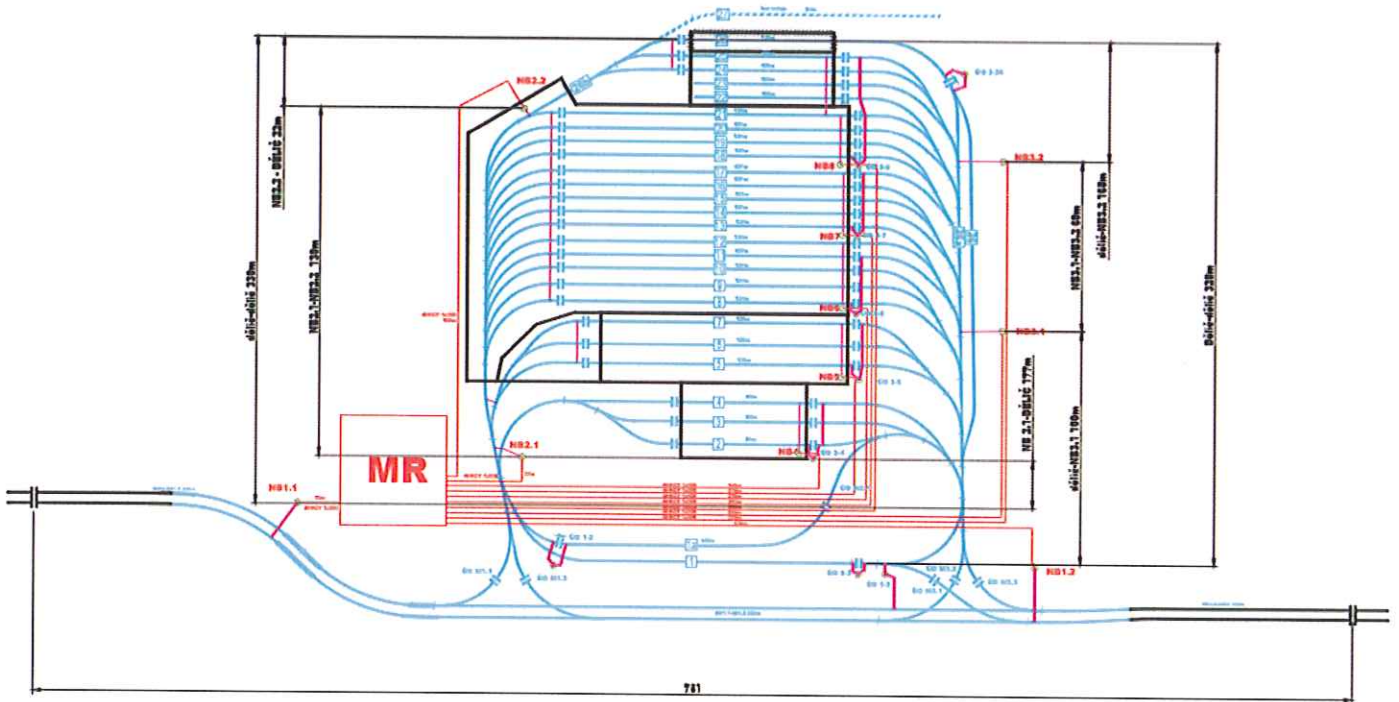
SCHEMA NAPÁJENÍ TV - Plzeň



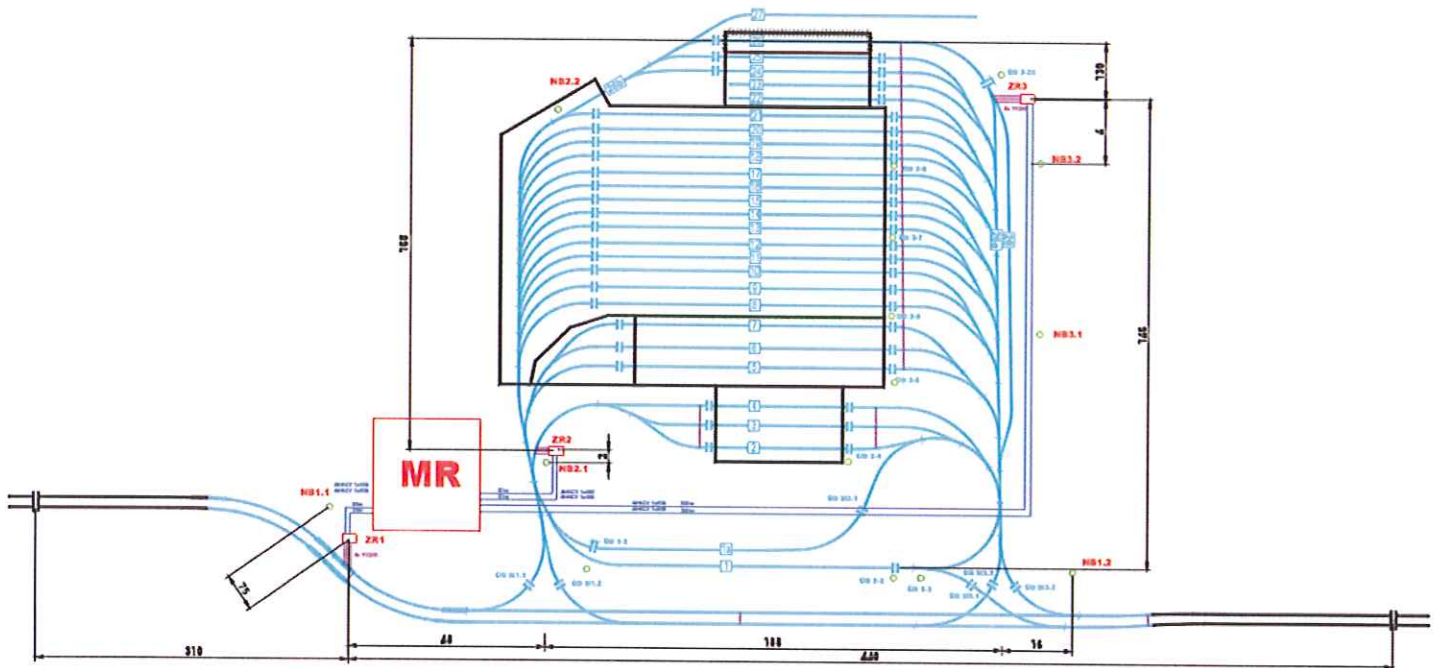
Obr. 2 Schéma napájení trolejového vedení tramvajových a trolejbusových tratí z roku 2015



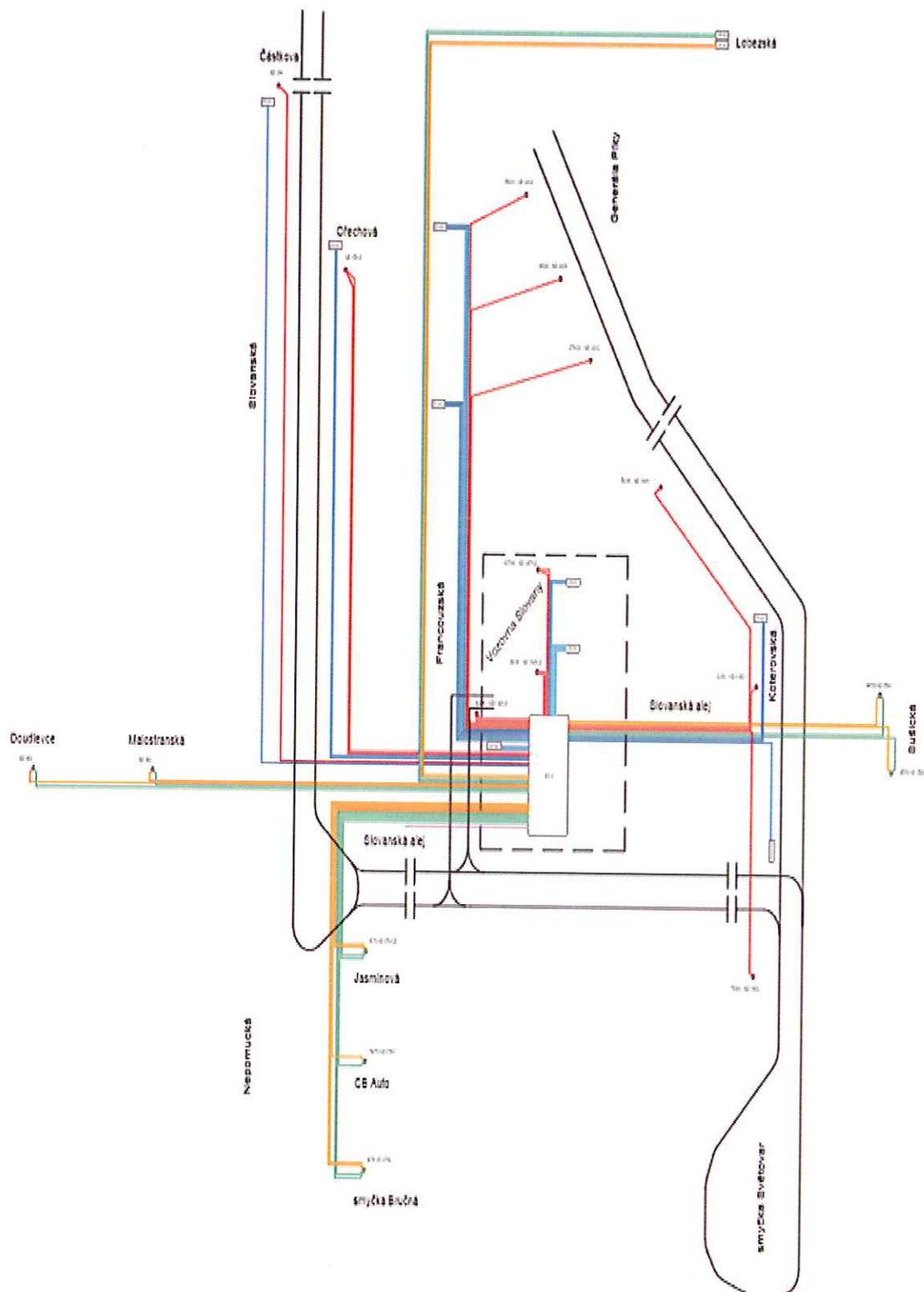
Obr. 3 Původní napájecí úseky tramvajového trolejového vedení napájeného z M4 Slovánska



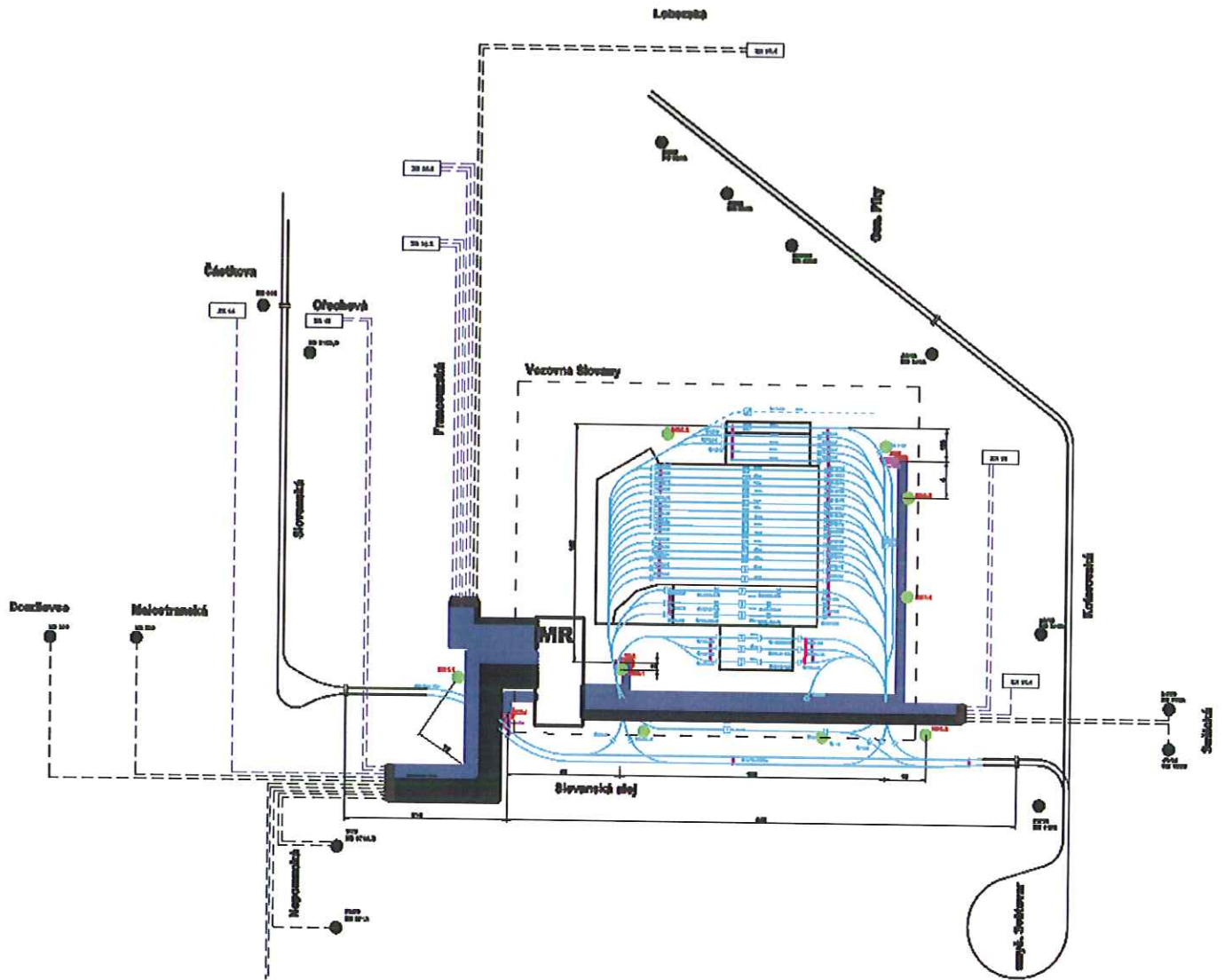
Obr. 4 Nové napájecí úseky trolejového vedení ve vozovně Slovany a v její blízkosti napájené z MR Slovany (napájecí vedení jsou zakresleny červenými čarami, napájecí úseky ohraničené řadovými izolátory jsou zakresleny modře)



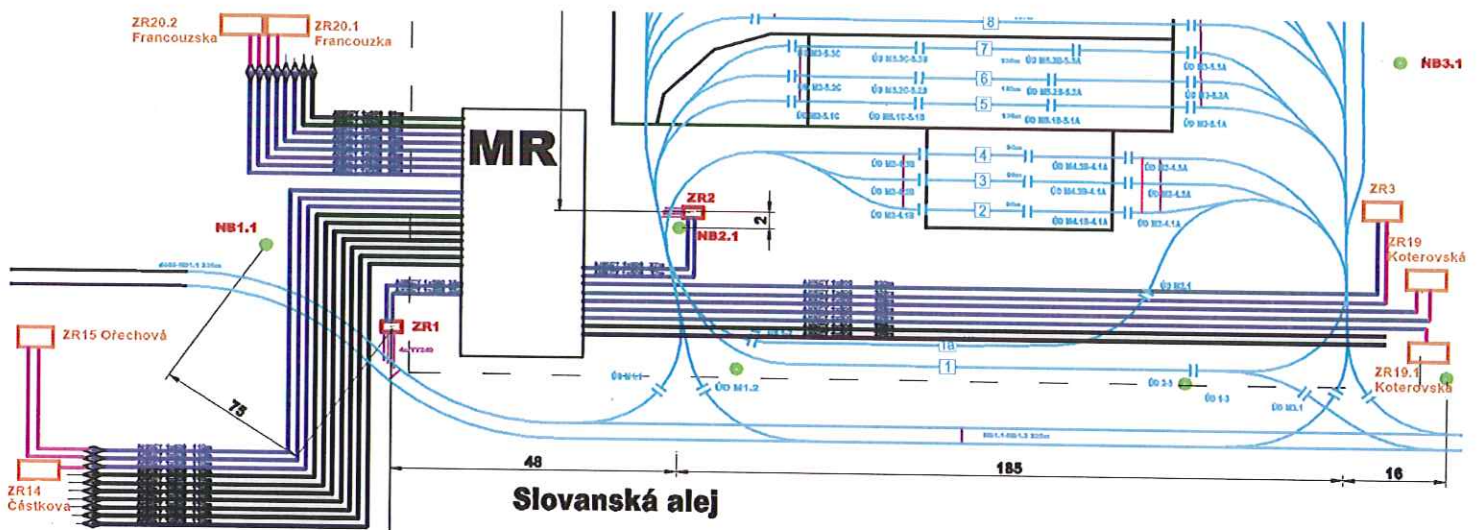
Obr. 5 Nové zpětné odsávací vedení ve vozovně Slovany a její blízkosti mezi zpětnými rozvaděči ZR1, ZR2 a ZR3 a zpětným rozvaděčem MR Slovany (zpětná vedení jsou zakresleny tmavomodrými čarami)



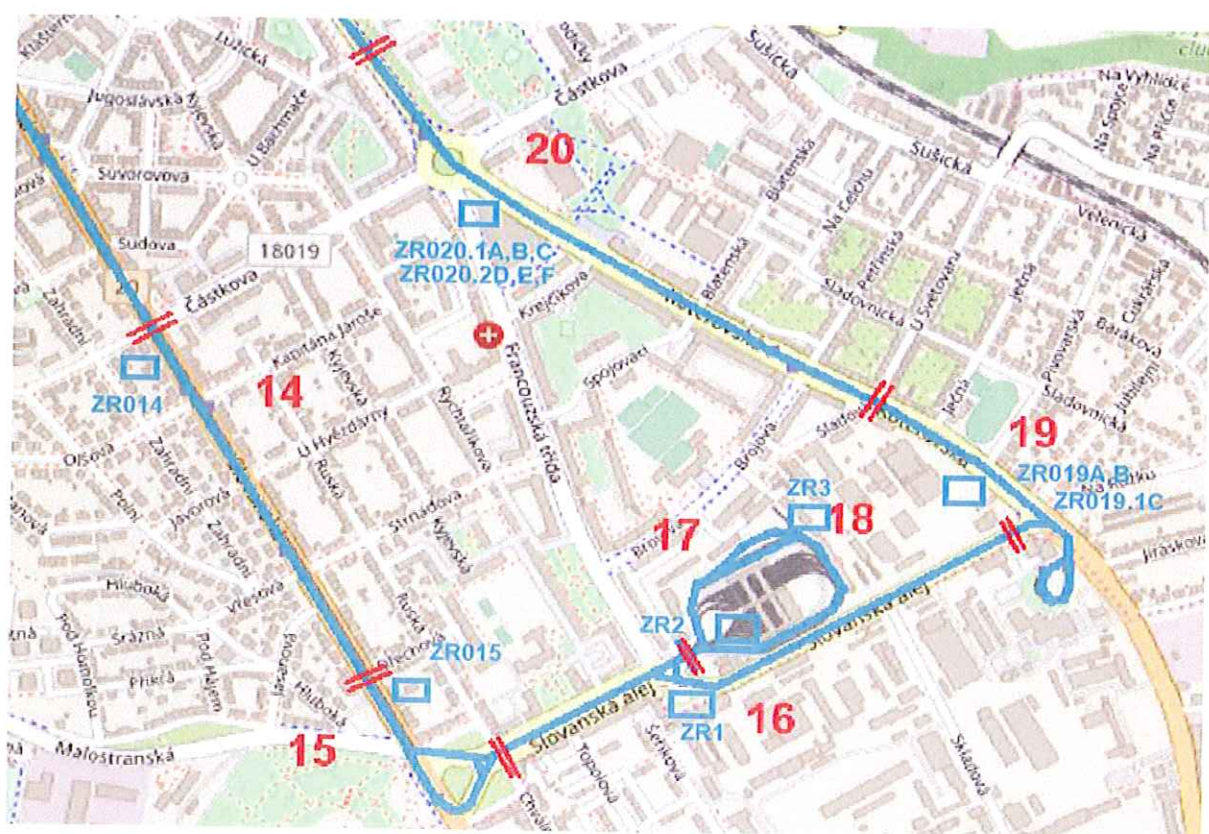
Obr. 6 Úplné nové napájecí a zpětné odsávací vedení MR Slováky (včetně trolejbusových linek) (zakresleno červenými a modrými čarami)



Obr. 7 Úplné zpětné odsávací vedení MR Slovany (včetně trolejbusů) (zakresleno tmavomodrými čarami)



Obr. 8 Podrobné znázornění všech zpětných odsávacích vedení vedených ze zpětných rozvaděčů tramvajových tratí do zpětného rozvaděče MR Slovany



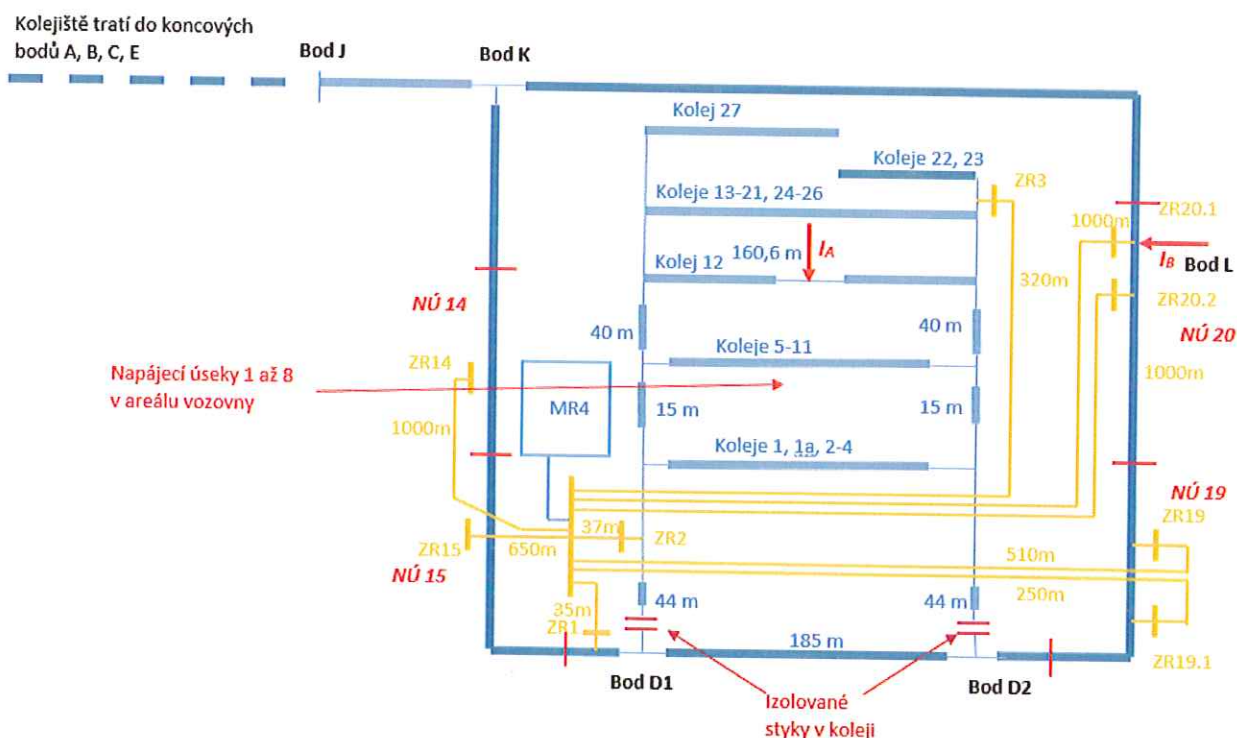
Obr. 9 Situační náčrt původních napájecích úseků 14 až 20 napájených z MR Slovany a poloh stávajících a nových zpětných rozvaděčů ZR (napájecí úseky 16, 17 a 18 byly nahrazeny novými napájecími úseky)

C. Schémata a vztahy pro výpočet proudů a potenciálů kolejnicového vedení

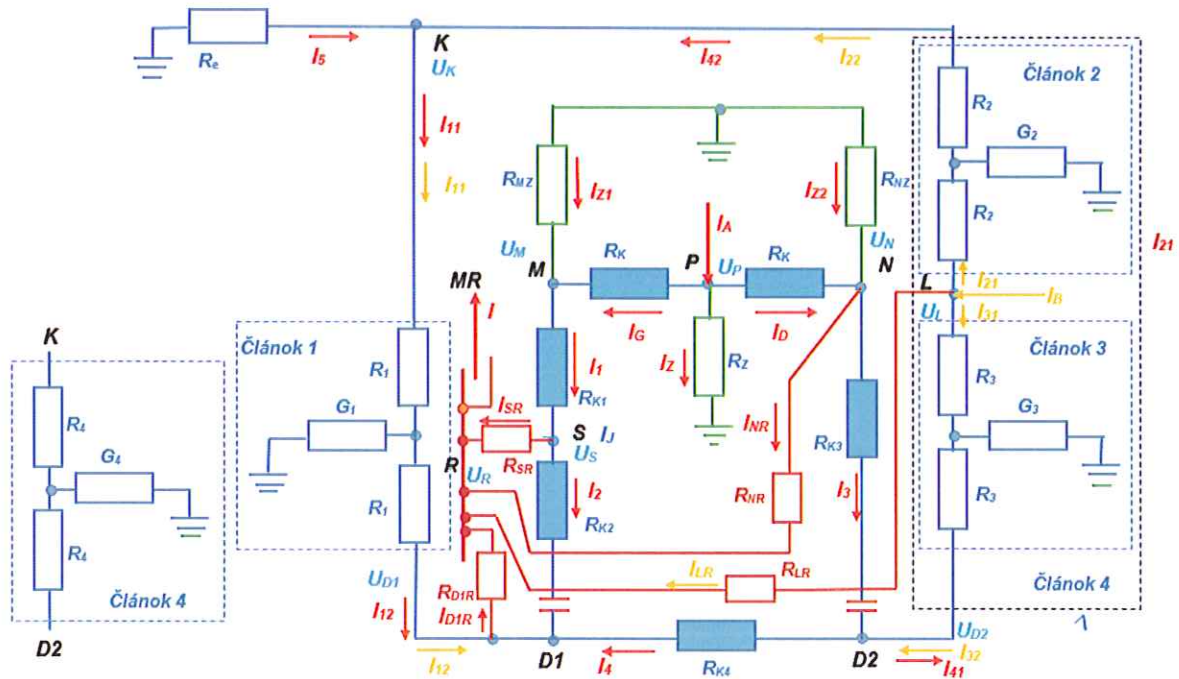
D.1 Zjednodušené schéma pro výpočet proudů a potenciálů

V zjednodušených schématech na obr. 11a, 11b jsou úseky kolejnicového vedení dvoukolejné trati mezi body K - D1, K - D2, K - L, L - D2 (viz obr. 13) nahrazeny podélnými odpory dvou kolejí. Se svodem těchto úseků kolejnicového vedení se při výpočtech neuvažuje. V náhradním schématu na obr. 12 jsou tyto úseky nahrazeny symetrickými T články. V parametrech T článků je svodovou vodivostí G vyjádřený svod těchto úseků. Svodová vodivost T článků závisí na délce úseku a parametrech kolejnicového vedení.

Výpočty proudů a potenciálů v kolejnicovém vedení jsou zpracovány pro trakční zátěž ve vozovně v bodě P uprostřed koleje č. 12 a trakční zátěž mimo vozovnu v bodě L, který se nachází na konci napájecího úseku č. 20 v místě, ve kterém jsou na obě koleje připojeny zpětná kabelová vedení. V obou případech se uvažovalo s odběrem trakčního proudu $I = 1000$ A. Pro jiné hodnoty trakčního proudu je možné proudy a potenciály kolejnicového vedení stanovit vynásobením poměrem hodnoty proudu/1000.

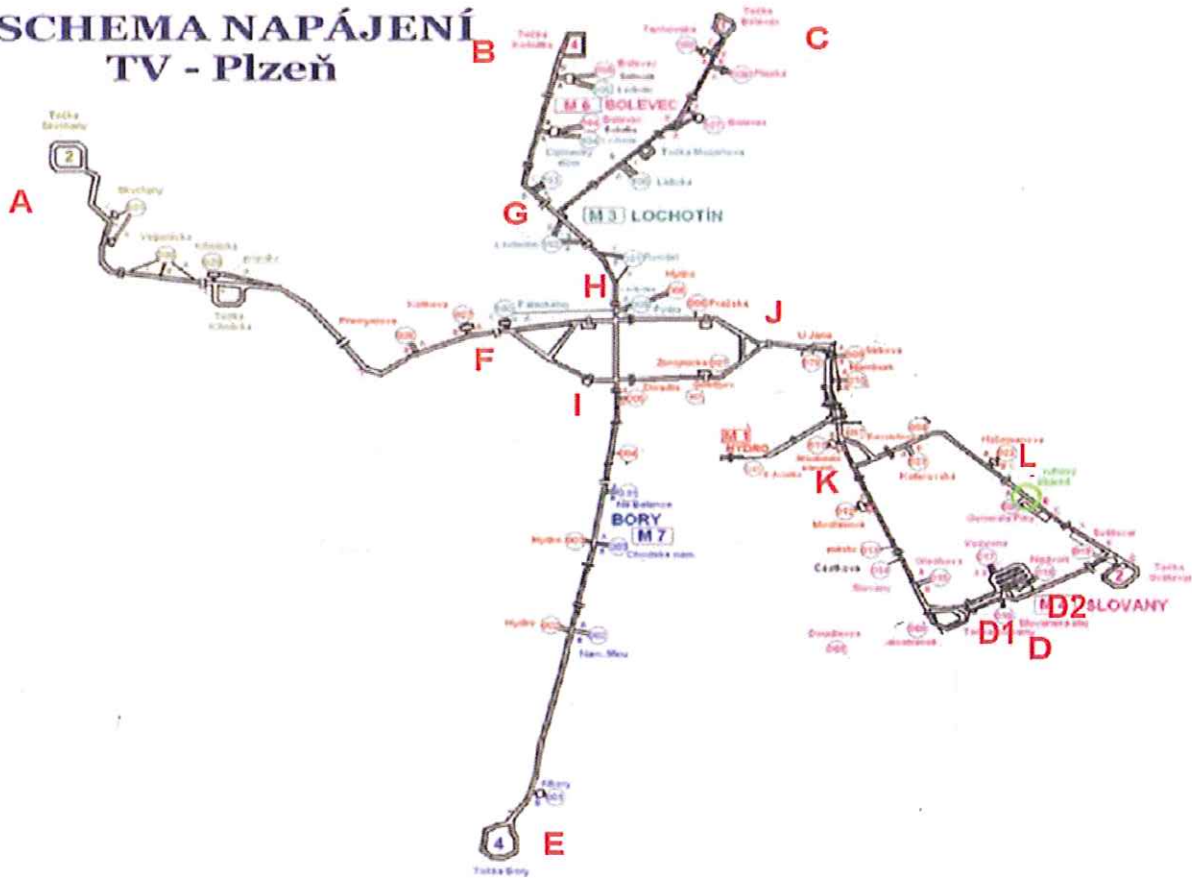


Obr. 10 Náčrtek úseků zpětného kolejnicového vedení a zpětných kabelových vedení vedených do měřírny Slovany



Obr. 12 Náhradní schéma pro výpočet potenciálů a proudů kolejnicového vedení při trakční zátěži ve vozovně (I_A) a mimo vozovnu (I_B) s náhradou úseků kolejnicového vedení mezi body K – D1 a K – D2 resp. K – L a L – D2 symetrickými T články 1 až 4

SCHEMA NAPÁJENÍ TV - Plzeň



Pavel Perner
březen 2015

Obr. 13 Polohy hraničních bodů úseků kolejnicového vedení pro výpočet ekvivalentní délky a ekvivalentního odporu

D.2 Rovnice pro výpočet proudů a potenciálů kolejnicového vedení v areálu vozovny a mimo vozovnu Slovany

Rovnice podle obr. 11a pro zátěž ve vozovně v bodě P a stav bez izolačních styků oddělujících kolejiště vozovny od vnějších traťových kolejí:

Uzlové rovnice:

$$\begin{aligned} P & 1000 = I_G + I_D + I_Z \\ M & I_{Z1} + I_G = I_1 \\ N & I_D + I_{Z2} = I_{NR} + I_3 \\ S & I_1 = I_{SR} + I_2 \\ R & 1000 = I_{SR} + I_{NR} + I_{DIR} \\ D1 & I_2 + I_4 = I_{DIR} + I_6 \\ D2 & I_3 = I_4 + I_5 \\ K & I_5 + I_6 = I_7 \end{aligned}$$

Potenciály na svodových odporech:

$$U_P = R_Z \cdot I_Z \quad U_M = -R_{MZ} \cdot I_{Z1} \quad U_N = -R_{NZ} \cdot I_{Z2}$$

Smyčkové rovnice:

$$\begin{aligned} R_{MZ} \cdot I_{Z1} - R_K \cdot I_G + R_K \cdot I_D - R_{NZ} \cdot I_{Z2} &= 0 \\ R_K \cdot I_G + R_{K1} \cdot I_1 + R_{K2} \cdot I_2 - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K3} \cdot I_3 - R_K \cdot I_D &= 0 \\ R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K2} \cdot I_2 &= 0 \\ R_{NR} \cdot I_{NR} - I_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K3} \cdot I_3 &= 0 \\ R_{K6} \cdot I_6 - R_{K5} \cdot I_5 + R_{K4} \cdot I_4 &= 0 \\ R_{MZ} \cdot I_{Z1} - R_K \cdot I_G + R_Z \cdot I_Z &= 0 \\ R_{NZ} \cdot I_{Z2} - R_K \cdot I_D + R_Z \cdot I_Z &= 0 \end{aligned}$$

Rovnice podle obr. 11a pro zátěž ve vozovně v bodě P a stav s izolačními styky oddělujícími kolejiště vozovny od vnějších traťových kolejí:

Uzlové rovnice:

$$\begin{aligned} P & 1000 = I_G + I_D + I_Z \\ M & I_1 = I_G + I_{Z1} \\ N & I_D + I_{Z2} = I_{NR} \\ S & I_1 = I_{SR} \\ R & 1000 = I_{SR} + I_{NR} + I_{DIR} \\ D1 & I_4 = I_{DIR} + I_6 \\ D2 & I_4 + I_5 = 0 \\ K & I_6 + I_5 = I_7 \end{aligned}$$

Potenciály na zemních odporech:

$$U_P = R_Z \cdot I_Z \quad U_M = -R_{MZ} \cdot I_{Z1} \quad U_N = -R_{NZ} \cdot I_{Z2}$$

Smyčkové rovnice:

$$\begin{aligned} R_K \cdot I_G - R_{MZ} \cdot I_{Z1} + R_{NZ} \cdot I_{Z2} - R_K \cdot I_D &= 0 \\ R_K \cdot I_G + R_{K1} \cdot I_1 + R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{NR} \cdot I_{NR} - R_K \cdot I_D &= 0 \\ R_{K6} \cdot I_6 - R_{K5} \cdot I_5 + R_{K4} \cdot I_4 &= 0 \\ R_{MZ} \cdot I_{Z1} + R_{K1} \cdot I_1 + R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} + R_{K6} \cdot I_6 + R_e \cdot I_7 &= 0 \end{aligned}$$

$$R_{MZ} \cdot I_{Z1} - R_K \cdot I_G + R_Z \cdot I_Z = 0$$

Rovnice podle obr. 11b pro zátěž mimo vozovnu v bodě L a stav bez izolačních styků oddělujících kolejiště vozovny od vnějších traťových kolejí :

Uzlové rovnice:

$$P \quad I_D = I_G + I_Z$$

$$M \quad I_G + I_{Z1} = I_1$$

$$N \quad I_{Z2} = I_D + I_{NR} + I_3$$

$$S \quad I_1 + I_2 = I_{SR}$$

$$R \quad 1000 = I_{SR} + I_{NR} + I_{LR} + I_{DIR}$$

$$D1 \quad I_4 + I_7 = I_{DIR} + I_2$$

$$D2 \quad I_5 + I_3 = I_4$$

$$K \quad I_6 = I_7 + I_8$$

$$L \quad 1000 = I_5 + I_6 + I_{LR}$$

Potenciály na zemních odporech:

$$U_P = R_Z \cdot I_Z$$

$$U_M = - R_{MZ} \cdot I_{Z1}$$

$$U_N = - R_{NZ} \cdot I_{Z2}$$

Smyčkové rovnice:

$$R_K \cdot I_G - R_{MZ} \cdot I_{Z1} + R_{NZ} \cdot I_{Z2} + R_K \cdot I_D = 0$$

$$R_K \cdot I_G + R_{K1} \cdot I_1 + R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{NR} \cdot I_{NR} + R_K \cdot I_D = 0$$

$$R_{K6} \cdot I_7 - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K8} \cdot I_5 + R_{K7} \cdot I_6 = 0$$

$$R_{MZ} \cdot I_{Z1} + R_{K1} \cdot I_1 + R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K6} \cdot I_7 + R_e \cdot I_8 = 0$$

$$R_{MZ} \cdot I_{Z1} - R_K \cdot I_G + R_Z \cdot I_Z = 0$$

$$R_{LR} \cdot I_{LR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K8} \cdot I_5 = 0$$

$$R_{K1} \cdot I_1 - R_{K2} \cdot I_2 - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K3} \cdot I_3 + R_K \cdot I_D + R_K \cdot I_G = 0$$

$$- R_e \cdot I_8 + R_{K6} \cdot I_7 - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K3} \cdot I_3 + R_K \cdot I_D + R_Z \cdot I_Z = 0$$

Rovnice podle obr. 11b pro zátěž mimo vozovnu v bodě L a stav s izolačními styky oddělujícími kolejiště vozovny od vnějších traťových kolejí:

Uzlové rovnice:

$$P \quad I_D = I_G + I_Z$$

$$M \quad I_1 = I_G + I_{Z1}$$

$$N \quad I_{Z2} = I_D + I_{NR}$$

$$S \quad I_1 = I_{SR}$$

$$R \quad 1000 = I_{SR} + I_{NR} + I_{LR} + I_{DIR}$$

$$D1 \quad I_4 + I_7 = I_{DIR}$$

$$D2 \quad I_5 = I_4$$

$$K \quad I_6 = I_7 + I_8$$

$$L \quad 1000 = I_5 + I_6 + I_{LR}$$

Potenciály na zemních odporech:

$$U_P = R_Z \cdot I_Z$$

$$U_M = - R_{MZ} \cdot I_{Z1}$$

$$U_N = - R_{NZ} \cdot I_{Z2}$$

Smyčkové rovnice:

$$R_K \cdot I_G - R_{MZ} \cdot I_1 + R_{NZ} \cdot I_{Z2} + R_K \cdot I_D = 0$$

$$R_K \cdot I_G + R_{K1} \cdot I_1 + R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{NR} \cdot I_{NR} + R_K \cdot I_D = 0$$

$$R_{K6} \cdot I_7 - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K8} \cdot I_5 + R_{K7} \cdot I_6 = 0$$

$$\begin{aligned}
R_{MZ} \cdot I_{Z1} + R_{K1} \cdot I_1 + R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K6} \cdot I_7 + R_e \cdot I_8 &= 0 \\
R_{LR} \cdot I_{LR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K8} \cdot I_5 &= 0 \\
R_{MZ} \cdot I_{Z1} - R_K \cdot I_G + R_Z \cdot I_Z &= 0
\end{aligned}$$

Rovnice podle obr. 12 pro zátěž ve vozovně v bodě P a stav bez izolačních styků oddělujících kolejiště vozovny od vnějších traťových kolejí (výpočet podle obr. 12 s uvažováním T článků byl zpracován pro porovnání s výpočtem podle obr. 11.a neuvažujícím se svodem kolejí mezi body K - D1 a K - D2):

Uzlové rovnice:

$$\begin{aligned}
P \quad I &= I_G + I_D + I_Z \\
M \quad I_1 &= I_G + I_{Z1} \\
N \quad I_D + I_{Z2} &= I_{NR} + I_3 \\
S \quad I_1 &= I_{SR} + I_2 \\
R \quad I &= I_{SR} + I_{NR} + I_{DIR} \\
D1 \quad I_2 + I_4 + I_{12} &= I_{DIR} \\
D2 \quad I_3 &= I_4 + I_{41} \\
K \quad I_{42} + I_5 &= I_{11}
\end{aligned}$$

Potenciály na zemních odporech:

$$U_P = R_Z \cdot I_Z \quad U_M = - R_{MZ} \cdot I_{Z1} \quad U_N = - R_{NZ} \cdot I_{Z2} \quad U_K = - R_e \cdot I_5$$

Přenosové rovnice T článků (T článku 1 a T článku 4):

$$\begin{aligned}
U_K &= 1,015396 \cdot U_{D1} + 0,0147 \cdot I_{12} \\
I_{11} &= 2,1108 \cdot U_{D1} + 1,015396 \cdot I_{12} \\
U_{D2} &= 1,021957 \cdot U_K + 0,017629 \cdot I_{42} \\
I_{41} &= 2,51827 \cdot U_K + 1,021957 \cdot I_{42}
\end{aligned}$$

Smyčkové rovnice:

$$\begin{aligned}
R_K \cdot I_G - R_{MZ} \cdot I_{Z1} + R_{NZ} \cdot I_{Z2} - R_K \cdot I_D &= 0 \\
- R_Z \cdot I_Z + R_K \cdot I_G - R_{MZ} \cdot I_{Z1} &= 0 \\
R_{K1} \cdot I_1 + R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{NR} \cdot I_{NR} - R_K \cdot I_D + R_K \cdot I_G &= 0 \\
R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K2} \cdot I_2 &= 0 \\
R_{NR} \cdot I_{NR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K4} \cdot I_4 - R_{K3} \cdot I_3 &= 0 \\
R_e \cdot I_5 + (U_K - U_{D1}) - R_{K2} \cdot I_2 - R_{MZ} \cdot I_{Z1} &= 0 \\
(U_K - U_{D1}) - R_{K4} \cdot I_4 + (U_{D2} - U_K) &= 0
\end{aligned}$$

D.3 Výpočet proudů a potenciálů v kolejnicovém vedení v areálu vozovny a mimo vozovnu **Slovany**

Výpočty soustav rovnic byly zpracovány pomocí softwarového vybavení pro výpočet matic. Při výpočtech bylo třeba dodržet následující pravidla pro psaní rovnic a ve shodě s tím upravit označování neznámých v soustavě rovnic.

Značení neznámých v uzlových, přenosových a smyčkových rovnicích a rovnicích pro potenciály na svodových odporech jsou značeny následovně:

- při výpočtech podle obr. 11a

$$I_G \sim a, \quad I_D \sim b, \quad I_1 \sim c, \quad I_2 \sim d, \quad I_3 \sim z, \quad I_4 \sim f, \quad I_5 \sim m, \quad I_6 \sim n, \quad I_7 \sim o, \quad I_{NR} \sim g, \quad I_{SR} \sim h, \\ I_{DIR} \sim i,$$

$$I_Z \sim j, \quad I_{Z1} \sim k, \quad I_{Z2} \sim l,$$

$$U_M \sim s, \quad U_N \sim t, \quad U_P \sim u, \quad U_S \sim p, \quad U_R \sim q, \quad U_J \sim v, \quad U_K \sim w, \quad U_{D1} \sim x, \quad U_{D2} \sim y,$$

- při výpočtech podle obr. 11b

$$I_G \sim a, \quad I_D \sim b, \quad I_1 \sim c, \quad I_2 \sim d, \quad I_3 \sim z, \quad I_4 \sim f, \quad I_5 \sim m, \quad I_6 \sim n, \quad I_7 \sim o, \quad I_8 \sim v, \quad I_{NR} \sim g, \\ I_{SR} \sim h, \quad I_{DIR} \sim i, \quad I_{LR} \sim r,$$

$$I_Z \sim j, \quad I_{Z1} \sim k, \quad I_{Z2} \sim l,$$

$$U_M \sim s, \quad U_N \sim t, \quad U_P \sim u, \quad U_S \sim p, \quad U_R \sim q, \quad U_K \sim w, \quad U_{D1} \sim x, \quad U_{D2} \sim y,$$

- při výpočtech podle obr. 12 pro zátěž ve vozovně bez izolovaných styků

$$I_G \sim a, \quad I_D \sim b, \quad I_1 \sim c, \quad I_2 \sim d, \quad I_3 \sim z, \quad I_4 \sim f, \quad I_5 \sim o, \quad I_{NR} \sim g, \quad I_{SR} \sim h, \quad I_{DIR} \sim i, \\ I_{LR} \sim r,$$

$$I_Z \sim j, \quad I_{Z1} \sim k, \quad I_{Z2} \sim l,$$

$$I_{11} \sim n, \quad I_{12} \sim p, \quad I_{41} \sim q, \quad I_{42} \sim v,$$

$$U_M \sim s, \quad U_N \sim t, \quad U_P \sim u, \quad U_K \sim w, \quad U_{D1} \sim x, \quad U_{D2} \sim y,$$

Rovnice popsané v D.2 s nově označenými neznámými jsou uvedeny v příloze. V příloze jsou také výsledky výpočtů, které jsou zpracovány v následujících tabulkách 1 až 3:

Tabulka 1. Proudy a potenciály v kolejničovém vedení podle obr. 11a při odběru trakčního proudu 1000 A ve vozovně v bodě P

Poloha odběru proudu, izolované styky	I _G (A)	I _d (A)	I _z (A)	I _{z1} (A)	I _{z2} (A)	I _{SR} (A)	I _{NR} (A)	I _{DIR} (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I ₄ (A)	I ₅ (A)	I ₆ (A)	I ₇ (A)	U _P (V)	U _M (V)	U _N (V)
Bod P ve vozovně, stav bez IS	593,9	405,7	0,38	-0,09	-0,32	463,6	122,1	414,2	593,8	130,2	283,3	273,0	10,2	-11,0	-0,8	0,76	-0,1	-0,31
Bod P ve vozovně, stav s IS	780,9	218,1	0,95	-0,97	-1,7	779,9	216,4	3,6	779,9	-	-	1,4	-1,4	-2,2	-3,6	1,9	-1,02	-1,66

Tabulka 2. Proudy a potenciály v kolejničovém vedení podle obr. 12 při odběru trakčního proudu 1000 A ve vozovně v bodě P

Poloha odběru proudu, izolované styky	I _G (A)	I _d (A)	I _z (A)	I _{z1} (A)	I _{z2} (A)	I ₁₁ (A)	I ₁₂ (A)	I ₄₁ (A)	I ₄₂ (A)	I _{SR} (A)	I _{NR} (A)	I _{DR} (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I ₄ (A)	I ₅ (A)	U _P (V)	U _M (V)	U _N (V)	U _K (V)	U _{D1} (V)	U _{D2} (V)
Bod P ve vozovně, stav bez IS, T články	593,9	405,7	-0,26	-0,5	11,4	11,8	10,5	10,6	463,6	122,1	414,3	593,5	129,9	283,2	272,6	0,83	0,94	0,27	0,48	-0,1	-0,27	0,09	

Z porovnání tabulky 1 a tabulky 2 vyplývá:

- odpovídající hodnoty proudů v úsecích kolejničového vedení se odlišují jen nepatrně,
- hodnoty proudů zemních uzemňovacích soustav a kolejiště ve vozovně jsou při uvažování svodu kolejí v úseku K - D1 a K - D2 nepatrně kladnější resp. zápornější (+0,38 A resp. +0,47 A, -0,09 A resp. -0,26 A, -0,32 A resp. -0,5 A), směr proudu se však nemění,
- proud v úseku K - D1 má hodnotu I₆ = - 11 A (ve schématu 11a byla zvolena opačná orientace proudu) resp. při uvažování svodu hodnoty I₁₁ = 11,4 A; I₁₂ = 11,8 A - rozdíl proudů jsou nepatrné; proud v úseku K - D2 má hodnotu I₅ = 10,2 A resp. při uvažování svodu hodnoty I₄₁ = 10,59 A; I₄₂ = 10,6 A - rozdíl proudů jsou stejně nepatrné - vzhledem k zanedbatelným rozdílům proudů bez uvažování svodu kolejí a s uvažováním svodu kolejí byly v dalším provedeny jen výpočty bez uvažování svodu kolejí v úsecích K - D1 a K - D2 (podle schémat 11a 11b).

Tabulka 3. Proudění a potenciály v kolejničové vedení podle obr. 11b při odběru trakčního proudu 1000 A mimo vozovnu v bodě L

Poloha odběru proudu, izolované styky	I _G (A)	I _D (A)	I _Z (A)	I _{Z1} (A)	I _{Z2} (A)	I _{SR} (A)	I _{NR} (A)	I _{LR} (A)	I _{DR} (A)	I ₁ (A)	I ₂ (A)	I ₃ (A)	I ₄ (A)	I ₅ (A)	I ₆ (A)	I ₇ (A)	I ₈ (A)	U _P (V)	U _M (V)	U _N (V)
	a	b	j	k	l	h	g	r	i	c	d	z	f	m	n	o	v	u	s	t
Bod L mimo vozovnu, stav bez IS	99,7	98,9	-0,78	1,59	1,5	243,4	59,0	358,3	339,3	101,3	142,1	-156,4	330,5	486,9	154,8	150,9	3,87	-1,57	-1,68	-1,45
Bod L mimo vozovnu, stav s IS	2,1	1,04	-1,07	2,03	2,2	4,1	1,2	381,9	612,8	4,1	-	-	462,8	462,8	155,3	150,0	5,3	-2,14	-2,14	-2,13

D.4 Parametry kolejí a kabelových vedení použitých ve výpočtech

Parametry kolejnicového vedení:

- měrný podélný odpor kolejí r_K z kolejnic typu NT1 (dle ČSN 376754:1997)
 - měrný odpor kolejnice 0,028 Ω/km
 - měrný odpor koleje 0,014 Ω/km
 - měrný odpor dvou kolejí 0,007 Ω/km
- vlnový odpor R_V a koeficient šíření α kolejnicového vedení pro měrný svod jedné koleje $G'_{RE} = 0,5 \text{ S/km}$

Počet kolejí, parametr $R_V (\Omega)$, α (km^{-1})	Vlnový odpor R_V (Ω)	Činitel šíření α (km^{-1})
Jedna kolej $R_V = \sqrt{(0,014/0,5)}$ $\alpha = \sqrt{(0,014 \cdot 0,5)}$	0,16733	0,08367
Dvě koleje $R_V = \sqrt{(0,007/(2 \cdot 0,5))}$ $\alpha = \sqrt{(0,007 \cdot (2 \cdot 0,5))}$	0,08367	0,08367

Hodnota $G'_{RE} = 0,5 \text{ S/km}$ je v čl. 5.2 ČSN EN 50122_1 ed.2 požadovaná jako maximální pro otevřené kolejové lože (pro zapuštěné kolejové lože norma připouští max 2,5 S/km). Podle čl. 6.5 ČSN 333516 byla min. hodnota přechodového odporu mezi kolejí a zemí 0,5 $\Omega \cdot \text{km}$ (s odvoláním na ČSN 038371).

Vlnový odpor kolejnicového vedení byl vypočten podle vztahu $R_V = \sqrt{r_K \cdot r_{KZ}} = \sqrt{\frac{r_K}{G'_{RE}}}$, činitel

šíření kolejnicového vedení podle vztahu $\alpha = \sqrt{\frac{r_K}{r_{KZ}}} = \sqrt{r_K \cdot G'_{RE}}$

Hodnoty náhradních odporů R_{SR} , R_{NR} , R_{LR} , R_{DIR} zpětných kabelových vedení (ve jmenovateli zlomku je počet paralelních kabelů):

- měrný odpor kabelu AHKCY 1 x 500 mm^2 0,061 Ω/km
- $R_{SR} = (1/2) \times 0,037 \text{ km} \times 0,061 \Omega/\text{km} = 0,00113 \Omega$
- $R_{NR} = (1/2) \times 0,32 \text{ km} \times 0,061 \Omega/\text{km} = 0,00976 \Omega$
- $R_{LR} = (1/5) \times 1 \text{ km} \times 0,061 \Omega/\text{km} = 0,0122 \Omega$
- $R_{DIR} = (1/2) \times 0,035 \text{ km} \times 0,061 \Omega/\text{km} = 0,00107 \Omega$

Hodnoty ekvivalentních zemních odporů přilehlých úseků kolejí, odpor uzemnění vozovny:

- $R_{MZ} = 1,056 \Omega$
- $R_{NZ} = 0,971 \Omega$
- $R_Z = 2 \Omega$
- $R_e = R_{(ABCE-K)_e} = 0,11524 \Omega$

Hodnoty náhradních odporů kolejových úseků R_K, R_{K1} až R_{K8} :

- $R_K = 0,014 \Omega/\text{km} \times 0,0803 \text{ km} = 0,00112 \Omega$
- $R_{K1} = 0,014 \Omega/\text{km} \times 0,055 \text{ km} = 0,00077 \Omega$
- $R_{K2} = 0,014 \Omega/\text{km} \times 0,044 \text{ km} = 0,00062 \Omega$
- $R_{K3} = 0,014 \Omega/\text{km} \times 0,099 \text{ km} = 0,00139 \Omega$
- $R_{K4} = 0,007 \Omega/\text{km} \times 0,185 \text{ km} = 0,0013 \Omega$
- $R_{K5} = 0,007 \Omega/\text{km} \times 2,8 \text{ km} = 0,0196 \Omega$
- $R_{K6} = 0,007 \Omega/\text{km} \times 2,0 \text{ km} = 0,014 \Omega$
- $R_{K7} = 0,007 \Omega/\text{km} \times 1,75 \text{ km} = 0,01225 \Omega$
- $R_{K8} = 0,007 \Omega/\text{km} \times 1,05 \text{ km} = 0,00735 \Omega$

Poznámka: Délky úseků kolejí v areálu vozovny byly stanoveny odečtením z výkresu C.4 Situace povrchu a C.2 koordinační situace.

Hodnoty ekvivalentního přechodového odporu kolejiště vozovny:

Podle situačního výkresu C.2 Koordinační situace je souhrnná užitečná délka kolejí 1 až 11, 13 až 21 a 24 až 26 rovná 3620,5 m. Souhrn užitečných délek kolejí 22, 23 připojených k ostatním kolejím jednostranně zprava je 249 m, užitečná délka koleje 27 připojené k ostatním kolejím zleva je 83,8 m. Při výpočtu se uvažuje s odběrem trakčního proudu uprostřed koleje 12, která má užitečnou délku 160,6 m. Výsledné hodnoty přechodových odporů kolejišť pro uvažované měrné svodové vodivosti kolejí ve vozovně jsou uvedeny v následující tabulce.

Délka kolejiště (km)	$G'_{RE} = 0,5\text{S}/\text{km}$	$G'_{RE} = 0,1\text{S}/\text{km}$
Koleje 1 až 11, 13 až 21, 24 až 26 – délka 3,62 km	$R_Z = 0,55 \Omega$	$R_Z = 2,76 \Omega$
Koleje 22 a 23 – délka 0,249 km	$R_{ZP} = 8 \Omega$	$R_{ZP} = 40,2 \Omega$
Kolej 27 – délka 0,084 km	$R_{ZL} = 23,9 \Omega$	$R_{ZL} = 119,1 \Omega$

Náhradní zemní odpor části kolejiště vozovny	$G'_{RE} = 0,5\text{S}/\text{km}$	$G'_{RE} = 0,1\text{S}/\text{km}$
Náhradní zemní odpor vlevo $R_{MZ} (\Omega)$	$R_{MZ} = 1/(0,5 \text{ S}/\text{km} \times ((3,62/2) + 0,084)) = 1,056 \Omega$	$R_{MZ} = 1/(0,1 \text{ S}/\text{km} \times ((3,62/2) + 0,084)) = 5,28 \Omega$
Náhradní zemní odpor vpravo $R_{NZ} (\Omega)$	$R_{NZ} = 1/(0,5 \text{ S}/\text{km} \times ((3,62/2) + 0,249)) = 0,971 \Omega$	$R_{NZ} = 1/(0,1 \text{ S}/\text{km} \times ((3,62/2) + 0,249)) = 4,857 \Omega$

E. Náhrada přilehlých úseků tramvajové kolejí ekvivalentním odporem

E.1 Vztahy pro výpočet ekvivalentního odporu části kolejiště

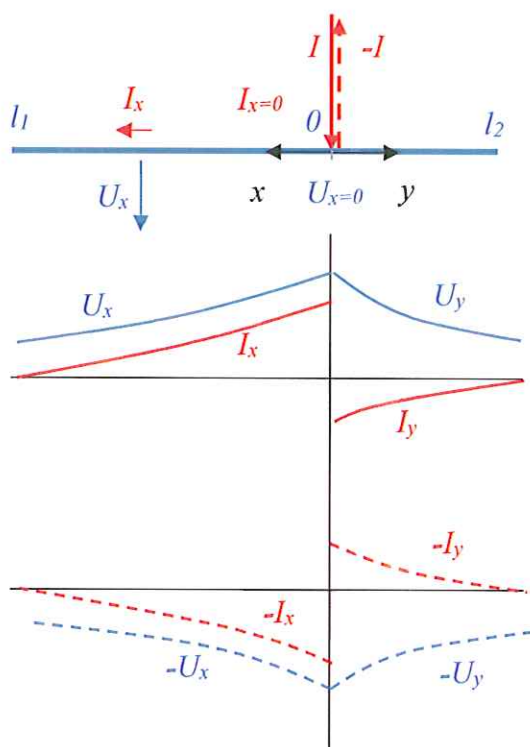
Rozvětvené kolejiště, ve kterém se nenachází trakční zátěž, je možné v bodě rozvětvení nahradit ekvivalentním odporem R_e . Hodnotu odporu kolejiště proti zemi je možné vypočítat podle vztahu $R_e = R_V \cdot \text{cth}(\alpha \cdot L_e)$.

Ve vztahu je R_V vlnový odpor, α činitel šíření kolejnicového vedení a L_e ekvivalentní délka rozvětveného kolejiště.

Poznámka:

Uvedený vztah pro výpočet ekvivalentního odporu byl odvozen z rovnic pro dlouhé homogenní stejnosměrné kolejnicové vedení s rozloženými parametry.

Ekvivalentní odpor kolejnicového vedení je odpor vztažený k místu se souřadnicí $x = 0$, ve kterém proud trakční zátěže nebo proud tekoucí kolejnicovým vedením do rozvětveného kolejnicového vedení vtéká resp. z něhož vytéká.



Obr. 14 Náčrt ke vztahům pro výpočet proudu kolejnicového vedení a potenciálu kolejnicového vedení, průběhy proudu a potenciálu při kladné orientaci proudu ve směru doleva a potenciálu ve směru kolej - zem při vtoku proudu do koleje (plně červené a modré čáry) resp. výtoku proudu z koleje (čárkované červené a modré čáry)

Pro potenciál kolejnicového vedení U_x a proud tekoucí kolejnicovým vedením I_x platí následující rovnice spolu se vztahy pro stanovení integračních konstant A_1 a B_1 (identické vztahy platí i pro úsek l_2 a souřadnici y):

$$U_x = (A_1 \cdot e^{\alpha x} + B_1 \cdot e^{-\alpha x}) \quad I_x = -\frac{1}{R_V} (A_1 \cdot e^{\alpha x} - B_1 \cdot e^{-\alpha x})$$

$$A_1 = \frac{I \cdot R_V}{2} \cdot \frac{e^{-\alpha l_1} \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l_2)}{\operatorname{sh} \alpha \cdot (l_1 + l_2)} \quad B_1 = \frac{I \cdot R_V}{2} \cdot \frac{e^{\alpha l_1} \cdot \operatorname{ch}(\alpha \cdot l_2)}{\operatorname{sh} \alpha \cdot (l_1 + l_2)}$$

Prakticky pro úsek, do kterého proud I na jeho začátku do kolejnicového vedení vtéká (ze kterého proud I na jeho začátku z kolejnicového vedení vytéká), delší více než 20 km, je $R_e \approx R_V$ (při délce kolejnicového vedení 20 km je $\coth(\alpha \cdot l_1) = 1,07296$).

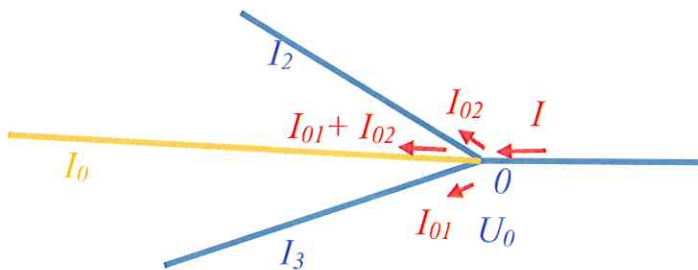
Ekvivalentní odpor úseku kolejnicového vedení dlouhého l_1 pak možné stanovit z poměru potenciálu a proudu kolejnicového vedení v souřadnici $x = 0$:

$$R_e = \frac{U_{x=0}}{I_{x=0}} = R_V \cdot \coth(\alpha \cdot l_1)$$

Stejný ekvivalentní odpor má úsek kolejnicového vedení, ze kterého na začátku úseku soustředěný proud vytéká.

Dva vzdalující se úseky s délkou l_2 a l_3 je možné nahradit jedním ekvivalentním úsekem o délce l_0 za předpokladu, že podélný odpor úseků kolejnicového vedení l_2 a l_3 a jejich přechodový odpor proti zemi jsou stejné. Vycházejí z rovnic pro dlouhé vedení platí pro potenciál kolejnicového vedení proti zemi v bodě 0 následující rovnice:

$$U_0 = I_{02} \cdot R_V \cdot \coth(\alpha \cdot l_2) = I_{03} \cdot R_V \cdot \coth(\alpha \cdot l_3) = (I_{02} + I_{03}) \cdot R_V \cdot \coth(\alpha \cdot l_0)$$



Obr. 15 Náčrt k odvození vztahů pro výpočet ekvivalentní délky kolejnicového vedení

Z rovnic je pak možné snadno odvodit vztah (hyperbolickou rovnici) pro výpočet délky ekvivalentního úseku:

$$\coth(\alpha \cdot l_0) = \frac{\coth(\alpha \cdot l_2) \cdot \coth(\alpha \cdot l_3)}{\coth(\alpha \cdot l_2) + \coth(\alpha \cdot l_3)}$$

Touto metodou je možné řešit i složitější situace v kolejnicovém vedení a metodou superpozice také stavy s více trakčními proudy (s více trakčními zátěžemi, s více soustředěnými trakčními proudy vytékajícími z kolejnicového vedení do měřírny) nacházejícími se v různých větvích kolejnicového vedení.

E.2 Výpočet ekvivalentní délky a ekvivalentního odporu části kolejiště dvoukolejných tratí mezi body A, B, C, E a bodem K

Protože kolejiště mezi body A až K ovlivňuje potenciálové a proudové poměry v části kolejiště mezi body K a D1 resp. D2 (při trakční zátěži nacházející se v této části kolejiště část zpětného trakčního proudu protéká do kolejiště mezi body A, B, C, E a K a přes zem a koleje v blízkosti

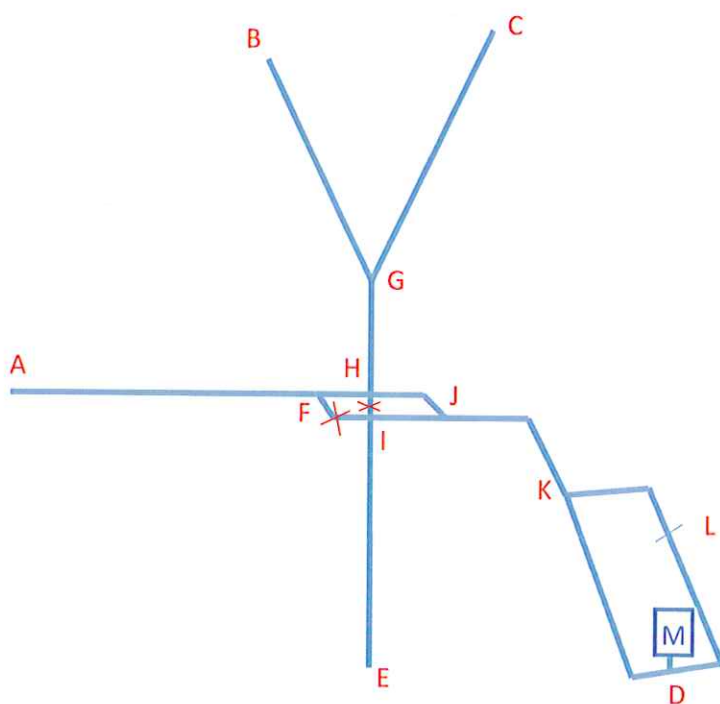
vozovny se vrací do měřírny Slovany), která je napájena z MR Slovany, je pro zjednodušení třeba nahradit kolejiště mezi body A až K dvoukolejným úsekem s ekvivalentní délkou resp. ekvivalentním odporem proti zemi. Body A až K, ve kterých se tramvajové tratě rozvětvují, jsou znázorněny na následujícím obrázku. Při stanovení ekvivalentní délky byly pro zjednodušení zanedbané dva krátké úseky mezi body F a I a mezi body H a I (zmenší se tím rozsah řešené soustavy lineárních rovnic bez výraznějšího ovlivnění výsledku výpočtu).

Při výpočtu ekvivalentní délky rozvětveného kolejiště mezi body A, B, C, E a bodem K byl opakovaně aplikován vztah odvozený v E.1.

Délky jednotlivých dvoukolejných úseků mezi vyznačenými body A až K a K až D byly stanoveny odečtením vzdáleností z mapového podkladu

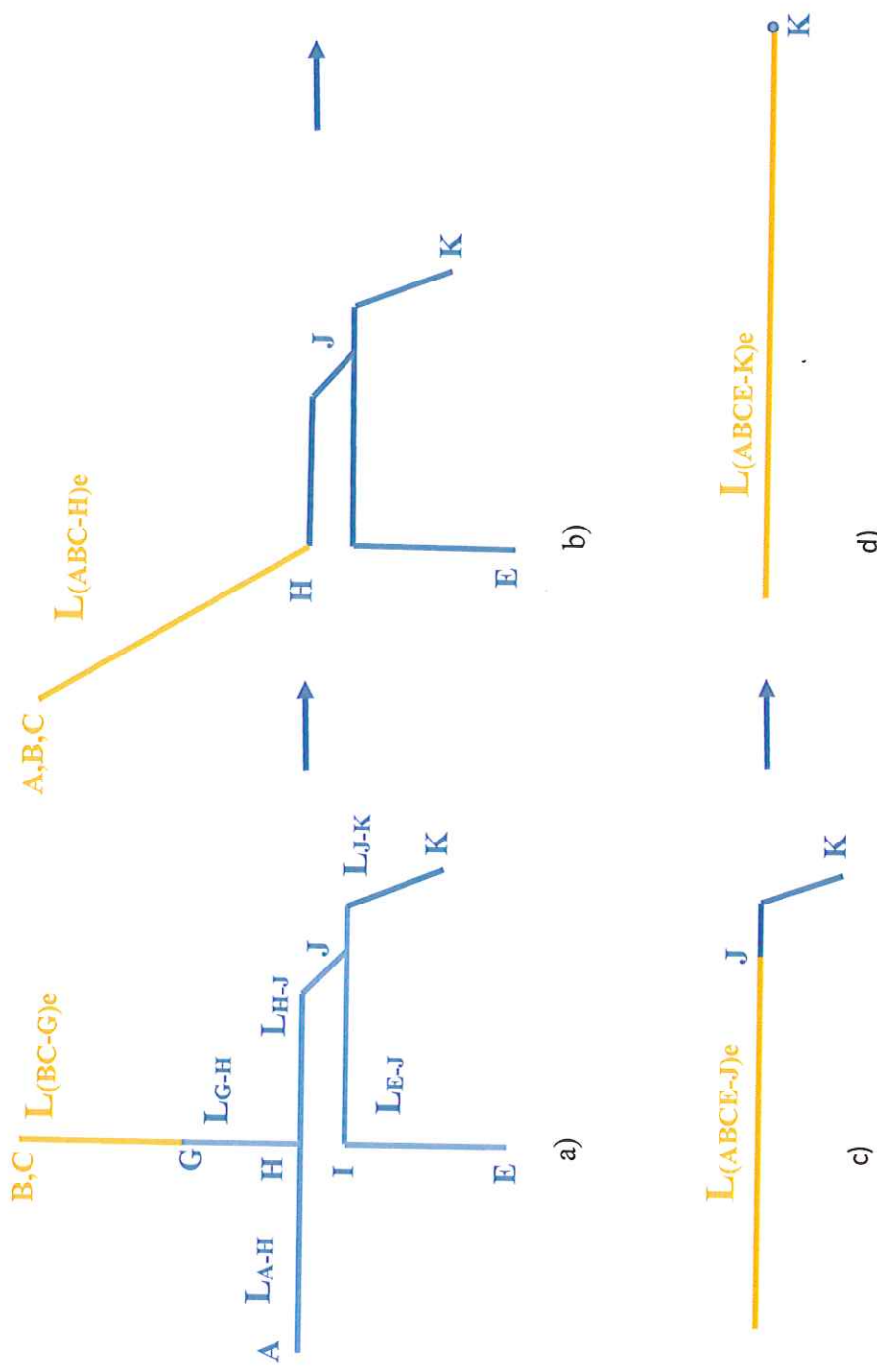
<https://www.google.com/maps:>

$L_{AH} = 4,27$ km; $L_{FH} = 0,19$ km; $L_{BG} = 2,81$ km; $L_{CG} = 2,99$ km; $L_{GH} = 1,48$ km; $L_{FI} = 0,25$ km; $L_{HJ} = 0,64$ km; $L_{IJ} = 0,59$ km; $L_{EI} = 2,51$ km; $L_{JK} = 1,4$ km; $L_{DK} = 2,0$ km (přes Slovany); $L_{DK} = 2,8$ km (přes Světovar); $L_{LK} = 1,05$ km; $L_{DL} = 1,75$ km; $L_{HI} = 0,17$ km;



Obr. 16 Náčrt úseků kolejí pro výpočet ekvivalentní délky resp. ekvivalentního odporu nahrazujícího kolejiště mezi body A, B, C, E a K

Postup při postupném výpočtu ekvivalentní délky části kolejiště, kterou je třeba znát pro výpočet ekvivalentního odporu a proudových a napět'ových poměrů v úseku mezi body K a D, mezi nimiž se nachází trakční zátěž, je zřejmý z následujícího náčrtu.



Obr. 17 Náčrt postupné náhrady kolejiště mezi body A až K ekvivalentním dvoukolejným úsekem o délce $L_{(ABCE-K)e}$

Podle a)

$$\coth \alpha \cdot L_{(BC-G)e} = \frac{\coth \alpha \cdot L_{B-G} \cdot \coth \alpha \cdot L_{C-G}}{\coth \alpha \cdot L_{B-G} + \coth \alpha \cdot L_{C-G}} = \frac{\coth(0,08367 \cdot 2,81) \cdot \coth(0,08367 \cdot 2,99)}{\coth(0,08367 \cdot 2,81) + \coth(0,08367 \cdot 2,99)} = 2,1010355 \quad L_{(BC-G)e} = 6,19 \text{ km}$$

Podle b)

$$\coth \alpha \cdot L_{(ABC-H)e} = \frac{\coth(\alpha \cdot (L_{(BC-G)e} + L_{(G-H)}) \cdot \coth \alpha \cdot L_{A-H}}{\coth(\alpha \cdot (L_{(BC-G)e} + L_{(G-H)}) + \coth \alpha \cdot L_{A-H}} = \frac{\coth(0,08367 \cdot (6,19 + 1,48)) \cdot \coth(0,08367 \cdot 4,27)}{\coth(0,08367 \cdot (6,19 + 1,48)) + \coth(0,08367 \cdot 4,27)} = 1,1002346$$

$$L_{(ABC-H)e} = 18,15 \text{ km}$$

Podle c)

$$\coth \alpha \cdot L_{(ABCE-J)e} = \frac{\coth(\alpha \cdot (L_{(ABC-G)e} + L_{(H-J)}) \cdot \coth \alpha \cdot L_{E-J}}{\coth(\alpha \cdot (L_{(ABC-G)e} + L_{(H-J)}) + \coth \alpha \cdot L_{E-J}} = \frac{\coth(0,08367 \cdot (18,15 + 0,64)) \cdot \coth(0,08367 \cdot (2,51 + 0,59))}{\coth(0,08367 \cdot (18,15 + 0,64)) + \coth(0,08367 \cdot (2,51 + 0,59))} = 0,8539115$$

Tato hyperbolická rovnice vycházející z předpokladu, že proud do obou rozvětvlujících se kolejí vtéká, nemá pro výpočet ekvivalentní délky reálné řešení - hodnota funkce coth musí být vždy větší nebo rovna hodnotě +1 nebo menší nebo rovna hodnotě -1. Příčinou je výrazně rozdílná délka větvi vycházejících z bodu J (18,79 km a 3,1 km), následkem čehož je součinn členů v čitateli menší než jejich součet. Ekvivalentní délku kolejí je možné vypočítat pouze za předpokladu, že proud do větve dlouhé 3,1 km nevtéká ale naopak z této větve do bodu rozvětvení vytéká. Pak je možné napsat rovnici:

$$\begin{aligned} \coth \alpha \cdot L_{(ABCE-J)e} &= \frac{\coth(\alpha \cdot (L_{(ABC-G)e} + L_{(H-J)}) \cdot (-\coth \alpha \cdot L_{E-J})}{\coth(\alpha \cdot (L_{(ABC-G)e} + L_{(H-J)}) - \coth \alpha \cdot L_{E-J}} = \\ &= \frac{\coth(0,08367 \cdot (18,15 + 0,64)) \cdot (-\coth(0,08367 \cdot (2,51 + 0,59)))}{\coth(0,08367 \cdot (18,15 + 0,64)) - \coth(0,08367 \cdot (2,51 + 0,59))} = 1,5068 \end{aligned}$$

Odpovídající ekvivalentní délka kolejiště po bod J pak je: $L_{(ABCE-J)e} = 9,6 \text{ km}$

Na kolejiště s ekvivalentním odporem $R_{(ABCE-J)e}$ navazuje úsek koleje mezi body J a K, jehož délka je $L_{(J-K)} = 1,4 \text{ km}$.

Celková ekvivalentní délka kolejiště k bodu K je: $L_{(ABCE-K)_e} = L_{(ABCE-I)_e} + L_{JK} = 9,6 + 1,4 = 11 \text{ km}$

Ekvivalentní odpor kolejiště po bod K potom je:

$$R_e = R_V \cdot \text{cth}(\alpha \cdot L_{(ABCE-K)_e}) = 0,08367 \cdot \text{cth}(0,08367 \cdot 11) = 0,11524 \Omega$$

S touto hodnotou R_e bylo uvažováno při výpočtu proudových a potenciálových poměrů mezi body K - D1, K - D2 a ve vozovně.

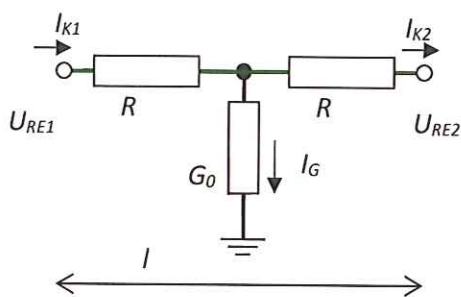
F. Náhrada dvoukolejných úseků mezi body K a D symetrickými T články

Homogenní úseky kolejnicového vedení mezi body K resp. J a D je možné při výpočtu potenciálů a proudů kolejnicového vedení nahradit symetrickými T články.

Za homogenní úsek kolejnicového vedení se považuje úsek, jehož měrná vodivost koleje G'_{RE} a měrný podélný odpor koleje r_K podél úseku je neměnná. Úsek je pak homogenní také z hlediska vlnového odporu R_V a činitele (koeficientu) šíření α úseku koleje:

$$R_V = \sqrt{r_K \cdot r_{KZ}} = \sqrt{\frac{r_K}{G'_{RE}}} \quad \alpha = \sqrt{\frac{r_K}{r_{KZ}}} = \sqrt{r_K \cdot G'_{RE}}$$

Homogenní úsek zpětného kolejnicového vedení je pak možné pro účel stanovení proudů a potenciálů v kolejnicovém vedení nahradit symetrickým T článkem.



Obr. 18 Schéma symetrického T článku

Pro symetrický T článek platí následující přenosové rovnice:

$$U_{RE1} = (1 + R \cdot G_0) \cdot U_{RE2} + (2 + R \cdot G_0) \cdot R \cdot I_{K2}$$

$$I_{K1} = G_0 \cdot U_{RE2} + (1 + R \cdot G_0) \cdot I_{K2}$$

Konstanty v přenosových rovnicích T článku jsou dány vztahy:

$$R = R_V \cdot \frac{\sinh \alpha \cdot l}{1 + \cosh \alpha \cdot l} \quad G_0 = \frac{\sinh \alpha \cdot l}{R_V}$$

Přenosové rovnice pro článek 1:

$$R_1 = R_V \cdot \frac{\sinh \alpha \cdot L_{DK}}{1 + \cosh \alpha \cdot L_{DK}} = 0,08367 \cdot \frac{\sinh 0,08367 \cdot 2,1}{1 + \cosh 0,08367 \cdot 2,1} = 0,007294 \Omega$$

$$G_1 = \frac{\sinh \alpha \cdot L_{DK}}{R_V} = \frac{\sinh 0,08367 \cdot 2,1}{0,08367} = 2,1108 S$$

$$U_{11} = (1 + R_1 \cdot G_1) \cdot U_{12} + (2 + R_1 \cdot G_1) \cdot R_1 \cdot I_{12} = 1,015396 \cdot U_{12} + 0,0147 \cdot I_{12}$$

$$I_{11} = G_1 \cdot U_{12} + (1 + R_1 \cdot G_1) \cdot I_{12} = 2,1108 \cdot U_{12} + 1,015396 \cdot I_{12}$$

Přenosové rovnice pro článek 2:

$$R_2 = R_V \cdot \frac{\sinh \alpha \cdot L_{KL}}{1 + \cosh \alpha \cdot L_{KL}} = 0,08367 \cdot \frac{\sinh 0,08367 \cdot 0,85}{1 + \cosh 0,08367 \cdot 0,85} = 0,002974\Omega$$

$$G_2 = \frac{\sinh \alpha \cdot L_{KL}}{R_V} = \frac{\sinh 0,08367 \cdot 0,85}{0,08367} = 0,85072S$$

$$U_{21} = (1 + R_2 \cdot G_2) \cdot U_{22} + (2 + R_2 \cdot G_2) \cdot R_2 \cdot I_{22} = 1,00253 \cdot U_{22} + 0,005956 \cdot I_{22}$$

$$I_{21} = G_2 \cdot U_{22} + (1 + R_2 \cdot G_2) \cdot I_{22} = 0,85072 \cdot U_{22} + 1,00253 \cdot I_{22}$$

Přenosové rovnice pro článek 3:

$$R_3 = R_V \cdot \frac{\sinh \alpha \cdot L_{DL}}{1 + \cosh \alpha \cdot L_{DL}} = 0,08367 \cdot \frac{\sinh 0,08367 \cdot 1,65}{1 + \cosh 0,08367 \cdot 1,65} = 0,0057664\Omega$$

$$G_3 = \frac{\sinh \alpha \cdot L_{DL}}{R_V} = \frac{\sinh 0,08367 \cdot 1,65}{0,08367} = 1,65525S$$

$$U_{31} = (1 + R_3 \cdot G_3) \cdot U_{32} + (2 + R_3 \cdot G_3) \cdot R_3 \cdot I_{32} = 1,009545 \cdot U_{32} + 0,011587 \cdot I_{32}$$

$$I_{31} = G_3 \cdot U_{32} + (1 + R_3 \cdot G_3) \cdot I_{32} = 1,65525 \cdot U_{32} + 1,009545 \cdot I_{32}$$

Přenosové rovnice pro článek 4:

$$R_4 = R_V \cdot \frac{\sinh \alpha \cdot L_{DK}}{1 + \cosh \alpha \cdot L_{DK}} = 0,08367 \cdot \frac{\sinh 0,08367 \cdot 2,5}{1 + \cosh 0,08367 \cdot 2,5} = 0,008719\Omega$$

$$G_4 = \frac{\sinh \alpha \cdot L_{DK}}{R_V} = \frac{\sinh 0,08367 \cdot 2,5}{0,08367} = 2,51827S$$

$$U_{41} = (1 + R_4 \cdot G_4) \cdot U_{42} + (2 + R_4 \cdot G_4) \cdot R_4 \cdot I_{42} = 1,021957 \cdot U_{42} + 0,017629 \cdot I_{42}$$

$$I_{41} = G_4 \cdot U_{42} + (1 + R_4 \cdot G_4) \cdot I_{42} = 2,51827 \cdot U_{42} + 1,021957 \cdot I_{42}$$

Při aplikaci přenosových rovnic T článků je třeba dbát, aby byly správně orientovány ve směru toku proudu, protože rovnice vyjadřují závislost vstupních napětí a proudů na výstupních napětích a proudů. Pro opačné závislosti mají rovnice jinou podobu.

G. Vyhodnocení vypočtených hodnot proudů a potenciálů

Všechny vypočtené hodnoty proudů a potenciálů jsou přehledně uvedeny v tabulkách 1 až 3. Proudů vtékajících resp. vytékajících z uvažovaných zemnicích konstrukcí jsou podbarveny žlutě, proudy vracející se do TM zpětným kabelovým vedením modře.

Proudů I_{Z1} resp. I_{Z2} protékajících z odstavných kolejí vozovny do země resp. opačně souhrnně dosahují:

- při trakčním odběru ve vozovně v bodě P nízkou hodnotu menší než 0,45 ‰ odebraného trakčního proudu, po instalaci izolovaných styků souhrn proudů vzroste na asi 2,7 ‰, což je však stále nízká hodnota (řádově cca 3 A). Proud protéká svody odstavných kolejí do země a vytváří v kolejišti vozovny anodovou korozní oblast. V energetickém výpočtu se uvažuje s denní jízdou v napájecích úsecích vozovny 69 souprav, která má však krátkodobý charakter. Při nižších hodnotách svodu kolejí vozovny svodový proud z kolejí do země klesne,
- při trakčním odběru mimo vozovnu v bodě L svodový proud změní směr (protéká ze země do kolejiště a mínus pólu TM), jeho hodnota je stále nízká - nižší než 3,2 ‰ resp. 4,3 ‰ (při instalaci izolovaných styků), z hlediska šíření bludných proudů v tomto případě kolejiště vytváří katodovou oblast.

Při galvanickém spojení kolejí vozovny s uzemňovací soustavou vozovny proud I_z protékající do zemniců resp. opačně ze zemniců dosahuje:

- při trakčním odběru ve vozovně v bodě P kladné hodnoty menší než 0,4 ‰ resp. při instalaci izolovaných styků menší než 1 ‰. Proud protéká zemnicem uzemňovací soustavy do země a na uzemňovací soustavě vytváří anodovou korozní oblast,
- při trakčním odběru mimo vozovnu v bodě L proud změní svůj směr - je záporný, jeho hodnota je kladnější než -0,78 ‰, při instalaci izolovaných styků kladnější než -1,07 ‰ (řádově 6A).

Ze srovnání nízkých hodnot proudů protékajících odstavnými kolejemi a uzemňovací soustavou do (ze) země vyplývá, že vyšší hodnoty proudu jsou dosahovány při instalovaných izolačních stycích. Příčinou je zamezení toku zpětného trakčního proudu vjezdovými a výjezdovými kolejemi způsobené instalovanými izolačními styky.

Napětí na izolačních stycích v bodech D1 a D2 jsou dána úbytky napětí na kolejích ve smyčce, která izolované styky přemostuje.

Při zátěži ve vozovně v bodě P:

$$U_{ISD1} = R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} = 0,87 \text{ V}$$

$$U_{ISD2} = R_{NR} \cdot I_{NR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K4} \cdot I_4 = 2,11 \text{ V}$$

Při zátěži mimo vozovnu v bodě L:

$$U_{ISD1} = R_{SR} \cdot I_{SR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} = 0,87 \text{ V}$$

$$U_{ISD2} = R_{NR} \cdot I_{NR} - R_{DIR} \cdot I_{DIR} - R_{K4} \cdot I_4 = 2,11 \text{ V}$$

V okamžiku přemostění izolovaných styků soupravou tramvaje pohybující se do vozovny protečou soupravou proudy I_2 resp. I_3 , které bude při průjezdu poslední dvojkolí soupravy vlastně přerušovat (za předpokladu, že odběr trakčního proudu bude trvat). Původcem proudů I_2 a I_3 může být i jiná souprava odebírající v blízkosti vozovny trakční proud v okamžiku průjezdu izolovaných styků jinou soupravou.

Při odběru proudu soupravou na koleji 12 se zpětný trakční proud v rozhodující míře vrací do mínus pólu TM kabelovým vedením mezi body S a R a paralelní cestou přes vjezdové výjezdové koleje a kabelové vedení mezi body D1 a R. Při instalaci izolovaných styků rozhodující část zpětného proudu protéká kabelovým vedením mezi body S a R.

Při odběru proudu soupravou v bodě L se zpětný trakční proud vrací do TM převážně kabelovými vedeními mezi body L a R a body D1 a R.

H. Závěr

a) Výsledky výpočtu korozní studie.

1. V rámci korozní studie bylo v souladu s ČSN EN 50122-2 provedeno hodnocení navrženého řešení uspořádání koleje, zpětné trakční cesty a napájení pro novou stavbu odstavu tramvají pro tramvajovou vozovnu Slovany v Plzni.
2. Do výpočtů byly zahrnuty postupně jednotlivé příspěvky ochranných opatření na úrovni izolačního uložení tramvajové koleje, izolačních styků, uložení koleje mimo vozovnu a řešení zpětné trakční proudové cesty včetně přílehlých úseků napájení.
3. Na základě provedených výpočtů bylo ověřeno, že pro uspořádání kolej – měnírna – vozovna s hlavními principy řešení:
 - elektrické izolační uložení kolejnic ve vozovně
 - elektrické izolační uložení kolejnic v trase mimo vozovnu
 - společné trakční napájení vozovny a navazující tramvajové trati
 - s doplňujícím opatřením formou posílení zpětných trakčních kabelů instalovaných před vstupem do vozovny
 - vložení izolačního styku, do místa odbočení kolejí do vozovny

mohou unikající proudy z kolejnic ve vozovně do systému uzemnění stavby, resp., do základů stavby dosahovat hodnot odpovídajících 0,4 až 1 promile trakčních napájecích proudů (v oblasti vozovny). Tyto proudy představují v absolutní hodnotě proud v řádu do 6 A pro celou vozovnu. **Při délce 100 m počtu 26 kolejí ve vozovně lze tak výpočtem deklarovat unikající proud z kolejnice ve vozovně o velikosti cca 2,3 mA/m kolejnice. Tato hodnota splňuje požadavek ČSN EN 50122-2; unikající proudy z kolejnice výpočtově dosahuje hodnot nižších než 3 mA/m délky kolejnice ve vozovně.**

b) Celkové hodnocení

1. Korozní studie řeší uspořádání vozovny, kolejí a měnírny z hlediska úniku bludných, resp. zpětných trakčních proudů z koleje do navrhované stavby. Řešení se zabývá zavedeným uspořádáním vozoven v ČR ve smyslu původních národních předpisů a norem s ohledem na rozsah navrhované stavby a konkrétní řešení jak stavby, tak zpětné trakční proudové cesty.
2. Konstatuje se, že korozní studie posuzovala uspořádání vozovny a měnírny tak, že pro vozovnu není vyčleněn samostatný usměrňovač a oddělené napájení od běžné tramvajové trati mimo vozovnu, jak doporučuje ČSN EN 50122-1, ed.2. Předmětem posouzení je hodnocení stavu elektrického izolačního uložení kolejnic v hale odstavu s posílením kabelového vedení zpětného trakčního proudu a samostatného uzemnění haly odstavu. Součástí komplexního řešení, které korozní studie respektuje, je dále systém ochranných opatření zahrnující pasivní ochranná opatření stavby v souladu se zavedenými rezortními předpisy v návaznosti na ČSN EN 50162 včetně oddělení systémů uzemnění stavebních instalací od uzemnění měnírny a distribuční soustavy ČEZ Di (TP 124 MD ČR (2009), SR 5/7(S) SŽDC (1997, resp. 2018 v návrhu).
3. Konstatuje, že korozní studie prokázala v souladu s kap. 7 ČSN EN 50122-2, vyhovující řešení z hlediska ochrany stavby dráhy před účinky bludných proudů při odlišném řešení koncepce systému napájení a ochranných opatření od doporučení uvedených v ČSN EN 50122-2.
4. Korozní studie je přílohou stavebního objektu Ochrana stavby před účinky bludných proudů, která definuje soubor ochranných opatření před účinky bludných proudů pro celou stavbu vozovny.
5. Pro stavbu je definován soubor měření vlivu bludných proudů v průběhu a po dokončení stavby, jejichž cílem je mimo jiné i ověření shora uvedených předpokladů pro výpočet a vypočtených hodnot na základě reálně dosažených výsledků měření v průběhu stavby a po uvedení stavby do provozu.
6. Korozní studie, jak je zpracována, bude aktualizována na základě skutečných výsledků z měření v průběhu stavby a výsledky budou korigovány dle skutečných dosažených hodnot svodových vodivostí jednotlivých kolejí a vlastností zemnicí soustavy; s ohledem na navrhovanou technologii elektrického izolačního uložení kolejnic se očekávají výsledky přibližně o jeden příznivější.

Vypracoval: Ing. Bohumil Kučera
Ing. Jozef Legéň

Literatura

L (1) Trakční soustava pro MHD v Plzni, Bakalářská práce Roman Duchoň, 2014/2015, ZČU v Plzni, Fakulta elektrotechnická

Příloha

Výpisy výpočtů soustavy lineárních rovnic pomocí kalkulačky

Výpočet pro zátěž ve vozovně v bodě P bez izolovaných styků

Rovnice:

$$1000=a+b+j;$$

$$c=a+k;$$

$$b+l=g+z;$$

$$c=h+d;$$

$$1000=h+g+i;$$

$$d+f=i+n;$$

$$z=f+m;$$

$$m+n=o;$$

$$1,056k-0,00112a+0,00112b-0,971l=0;$$

$$0,00112a+0,00077c+0,00062d-0,0013f-0,00139z-0,00112b=0;$$

$$0,00113h-0,00107i-0,00062d=0;$$

$$0,00976g-0,00107i-0,0013f-0,00139z=0;$$

$$0,014n-0,0196m+0,0013f=0;$$

$$1,056k-0,00112a+2j=0;$$

$$0,971l-0,00112b+2j=0;$$

$$s=1,056k;$$

$$t=0,971l;$$

$$u=2j;$$

Řešení:

$$a = 593.903396$$

$$b = 405.716124$$

$$c = 593.812687$$

$$d = 130.163295$$

$$f = 273.04032$$

$$g = 122.123906$$

$$h = 463.649392$$

$$i = 414.226701$$

$$j = 0.38048$$

$$k = -0.090709$$

$$l = -0.315714$$

m = 10.236184
n = -11.023086
o = -0.786902
s = -0.095788
t = -0.306558
u = 0.76096
z = 283.276504

Výpočet se zátěží ve vozovně v bodě P s izolovanými styky

Rovnice:

$$1000=a+b+j;$$

$$c=a+k;$$

$$b+l=g;$$

$$c=h;$$

$$1000=h+g+i;$$

$$f=i+n;$$

$$f+m=0;$$

$$n+m=o;$$

$$0,00112a-1,056k+0,971l-0,00112b=0;$$

$$0,00112a+0,00077c+0,00113h-0,00976g-0,00112b=0;$$

$$0,014n-0,0196m+0,0013f=0;$$

$$1,056k+0,00077c+0,00113h-0,00107i+0,014n+0,11524o=0;$$

$$1,056k-0,00112a+2j=0;$$

$$s=1,056k;$$

$$t=0,971l;$$

$$u=2j;$$

Řešení:

$$a = 780.922363$$

$$b = 218.125965$$

$$c = 779.948205$$

$$f = 1.457935$$

$$g = 216.417373$$

$$h = 779.948205$$

$$i = 3.634422$$

$$j = 0.951672$$

$$k = -0.974158$$

$$l = -1.708592$$

$$m = -1.457935$$

$$n = -2.176488$$

$$o = -3.634422$$

$$s = -1.028711$$

$$t = -1.659043$$

$$u = 1.903344$$

Výpočet se zátěží mimo vozovnu v bodě L bez izolovaných styků

Rovnice:

$$\begin{aligned}b &= a + j; \\ a + k &= c; \\ l &= b + g + z; \\ c + d &= h; \\ 1000 &= h + g + r + i; \\ f + o &= i + d; \\ m + z &= f; \\ n &= o + v; \\ 1000 &= m + n + r; \\ u &= 2j; \\ s &= -1.056k; \\ t &= -0.971l; \\ 0.00112a - 1.056k + 0.971l + 0.00112b &= 0; \\ 0.00112a + 0.00077c + 0.00113h - 0.00976g + 0.00112b &= 0; \\ 0.014o - 0.0013f - 0.00735m + 0.01225n &= 0; \\ 1.056k + 0.00077c + 0.00113h - 0.00107i - 0.014o + 0.11524v &= 0; \\ 1.056k - 0.00112a + 2j &= 0; \\ 0.0122r - 0.00107i - 0.0013f - 0.00735m &= 0; \\ 0.00077c - 0.00062d - 0.0013f - 0.00139z + 0.00112b + 0.00112a &= 0; \\ -0.11524v + 0.014o - 0.0013f - 0.00139z + 0.00112b + 2j &= 0;\end{aligned}$$

Řešení:

$$\begin{aligned}a &= 99.695309 \\ b &= 98.912698 \\ c &= 101.283265 \\ d &= 142.08615 \\ f &= 330.534466 \\ g &= 58.95866 \\ h &= 243.369416 \\ i &= 339.346592 \\ j &= -0.782611 \\ k &= 1.587956 \\ l &= 1.497879 \\ m &= 486.907945 \\ n &= 154.766722 \\ o &= 150.898276 \\ r &= 358.325333 \\ s &= -1.676881 \\ t &= -1.45444 \\ u &= -1.565223 \\ v &= 3.868446 \\ z &= -156.373479\end{aligned}$$

Výpočet se zátěží mimo vozovnu v bodě L s izolovanými styky

Rovnice:

$$\begin{aligned}b &= a + j; \\ a + k &= c; \\ l &= b + g;\end{aligned}$$

$c=h$;
 $1000=h+g+r+i$;
 $f+o=i$;
 $m=f$;
 $n=o+v$;
 $1000=m+n+r$;
 $u=2j$; $s=-1,056k$; $t=-0,971l$;
 $0,00112a-1,056k+0,971l+0,00112b=0$;
 $0,00112a+0,00077c+0,00113h-0,00976g+0,00112b=0$;
 $0,014o-0,0013f-0,00735m+0,01225n=0$;
 $1,056k+0,00077c+0,00113h-0,00107i-0,014o+0,11524v=0$;
 $0,0122r-0,00107i-0,0013f-0,00735m=0$;
 $1,056k-0,00112a+2j=0$;

Řešení:

$a = 2.103078$
 $b = 1.035004$
 $c = 4.128176$
 $f = 462.7966$
 $g = 1.163749$
 $h = 4.128176$
 $i = 612.829534$
 $j = -1.068074$
 $k = 2.025098$
 $l = 2.198753$
 $m = 462.7966$
 $n = 155.324859$
 $o = 150.032934$
 $r = 381.878541$
 $s = -2.138504$
 $t = -2.134989$
 $u = -2.136148$
 $v = 5.291925$

Výpočet se zátěží ve vozovně v bodě P bez izolovaných styků s T články

Rovnice:

$1000=a+b+j$;
 $c=a+k$;
 $g+z=b+l$;
 $c=h+d$;
 $1000=h+g+i$;
 $d+f+p=i$;
 $z=f+q$;
 $v+o=n$;
 $u=2j$; $s=-1,056k$; $t=-0,971l$; $w=-0,11524o$;
 $w=1,015396x+0,0147p$;
 $n=2,1108x+1,015396p$;

$$\begin{aligned}
y &= 1,021957w + 0,017629v; \\
q &= 2,51827w + 1,021957v; \\
0,00112a - 1,056k + 0,971l - 0,00112b &= 0; \\
-2j + 0,00112a - 1,056k &= 0; \\
0,00077c + 0,00113h - 0,00976g - 0,00112b + 0, \\
00112a &= 0; \\
0,00113h - 0,00107i - 0,00062d &= 0; \\
0,00976g - 0,00107i - 0,0013f - 0,00139z &= 0; \\
0,11524o + (w-x) - 0,00062d - 0,00077c - 1,056k &= 0; \\
(w-x) - 0,0013f + (y-w) &= 0;
\end{aligned}$$

Řešení:

$$\begin{aligned}
a &= 593.754966 \\
b &= 405.776635 \\
c &= 593.497586 \\
d &= 129.896805 \\
f &= 272.617194 \\
g &= 122.069442 \\
h &= 463.60078 \\
i &= 414.329778 \\
j &= 0.468399 \\
k &= -0.25738 \\
l &= -0.496734 \\
n &= 11.436779 \\
o &= 0.834219 \\
p &= 11.815779 \\
q &= 10.593265 \\
s &= 0.271793 \\
t &= 0.482329 \\
u &= 0.936799 \\
v &= 10.60256 \\
w &= -0.096135 \\
x &= -0.265736 \\
y &= 0.088666 \\
z &= 283.210459
\end{aligned}$$