


# Integrovaná doprava

## Středočeského kraje

Souřadnicový systém S-JTSK, Výškový systém Bpv

|  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| Zhotovitel PD: PRAGOPROJEKT, a.s., K Ryšánci 1668/16, 147 54 Praha 4, IČ: 45272387, www.pragoprojekt.cz, datová schránka: 4kifr54<br>Zpracovatelský útvar: Středisko technické asistence – K Ryšánci 1668/16, 147 54 Praha 4, Tel.: 226 066 111, E-mail: mailbox@pragoprojekt.cz |  |   |   |
| Navrhl/vypracoval:<br>Ing. Miloš KRÁLÍK<br>podpis:   | Zodpovědný projektant:<br>Ing. Miloš KRÁLÍK<br>podpis: | Vedoucí střediska<br>technické asistence:<br>Ing. Otakar FABIÁN |  |
| Technická kontrola:<br>Ing. František ROSA<br>podpis:  | Hlavní inženýr projektu:<br>Ing. Jiří PECH<br>podpis:  |   |   |

|  |                |               |
|--|----------------|---------------|
| Místo stavby: Středočeský kraj, Hlavní město Praha   | Číslo zakázky: | 19-174-4-000  |
| Objednatel: Integrovaná doprava Středočeského kraje, příspěvková organizace<br>Rytířská 406/10, 110 00 Praha 1 | Číslo akce:    | 19-174        |
| Název stavby:<br><b>OVĚŘOVACÍ STUDIE ROZVOJE PARCIÁLNÍCH TROLEJBUSŮ<br/>         VE STŘEDOČESKÉM KRAJI</b>     | Datum:         | 11/2019       |
|  | Formát:        | 9xA4          |
|  | Měřítko:       |               |
|  | Stupeň:        | Souprava:     |
| Část (příloha):<br><b>ENERGETICKÁ ROZVAHA</b>  | Číslo přílohy: | C.1           |
|  |                | <b>STUDIE</b> |

# **ENERGETICKÁ ROZVAHA**

## **Obecný napájecí úsek tratí Sčk**

### **1. Identifikační údaje :**

*Stavba:* **Rozvoj parciálních autobusů  
ve Středočeském kraji**

*Druh dokumentace:* **Ověřovací studie**

*Místo stavby:*

*Kraj:* Hlavní město Praha, Středočeský kraj

*Druh stavby:* **Stavba trolejbusové dráhy dle zák. č. 266/94 Sb.**

*Část dokumentace:* **C.1 – Energetická rozvaha**

*Objednatel / stavebník:* **Integrovaná doprava Středočeského kraje,  
příspěvková organizace**

Rytířská 406/10

110 00 Praha 1

*Zhotovitel dokumentace:* PRAGOPROJEKT, a.s.

K Ryšance 1668/16, 147 54 Praha 4

IČO 452 72 387

*Zpracovatelský útvar:* Středisko technické asistence

*Hlavní inženýr projektu:* Ing. Jiří PECH

*Zpracovatelé:*

*Dopravní řešení* Ing. Ondřej Trešl (DIPRO, spol. s r.o.)

*Trakční vedení, napájení* Ing. Miloš Králík

## **2. Předmět energetického výpočtu**

Energetický výpočet je zpracován pro nové trolejbusové tratě linek 351, 375 a 377 obsluhující severní část Středočeského kraje. Nové tratě navazují na projektované TV linky č. 140 v Letňanech u OC Globus. Výpočet je zpracován pro nespécifikovanou část tratě jako obecný příklad použití napájení nových trolejbusových tratí. Pro výpočet bylo uvažováno s nasazením trolejbusů 35Tr, tak jako na lince č.140. Pro trolejové vedení se uvažuje s trolejovým drátem Cu 120mm<sup>2</sup>, pro zpětné a napájecí kabely budou použity kabely 3-AHKCY 1x500/35Cu mm<sup>2</sup>.

Energetický výpočet je zpracován pro ověření zkratového proudu a úbytku napětí v nejnevýhodnějším místě nalézajícím se v napájecím úseku.

## **3. Základní parametry výpočtu**

### **3.1) Výchozí podklady**

- směrnice pro zpracování energetických výpočtů tramvajových a trolejbusových drah FMD
- ČSN 37 6754, 33 3516
- návrh metodiky energetických výpočtů, ing. Kuchařová (1989)
- situační podklad
- podklady pro napájecí úseky

### **3.2) Hlavní technické údaje**

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| Proudová soustava.....                          | stejnosměrná                       |
| Soustava TB vedení.....                         | IT izolovaná                       |
| Provozní napětí soustavy.....                   | 750 Vss                            |
| Jmenovité napětí měření.....                    | 825 Vss                            |
| Trolejový drát.....                             | 2x Cu 120 mm <sup>2</sup>          |
| Napájecí a zpětné nové trakční kabely.....      | 3-AHKCY 1x500/35Cu mm <sup>2</sup> |
| Proudové kabely pro napájecí a dělicí body..... | 1-CHBU 1x180 mm <sup>2</sup>       |

|  |               |
|--|---------------|
| Trakční kabel 3-AHKCY 1x500/35Cu mm <sup>2</sup> ..... | 0,07 Ω /km    |
| Kabel 1-CHBU 1x120 mm <sup>2</sup> .....               | 0,19614 Ω /km |

Uvedené hodnoty platí při t = 70°C

|  |              |
|--|--------------|
| Trolejový drát 2x Cu 120 mm <sup>2</sup> ..... | 0,1485 Ω /km |
|--|--------------|

Uvedená hodnota platí pro opotřeбенý TD při t = 70°C

### 3.3) Parametry pro výpočet

| Parametry pro trolejbus Tr 35                           |               |      | Jednotky       |
|---|---------------|------|----------------|
| Hmotnost vozu plně obsazeného vozu                      | G             | 29,1 | t              |
| Max rozjezdový proud                                    | $I_r$         | 500  | A              |
| Výkon pomocných pohonů                                  |               | 259  | kW             |
| Proud pomocných pohonů                                  | $I_p$         | 84   | A              |
| Součinitel rotačních hmot                               | $\xi$         | 1,25 |                |
| Rozjezdová rychlost                                     | $v_r$         | 25   | km/h           |
| Cestovní rychlost                                       | $v_c$         | 23   | km/h           |
| Koeficient účinnosti soupravy při rozjezdu              | $\varepsilon$ | 1,3  |                |
| Počet náprav  | $P_n$         | 3    | ks             |
| Čelní plocha vozidla                                    | S             | 6,2  | m <sup>2</sup> |
| Účinnost soupravy                                       | $\eta_c$      | 0,69 |                |
| Koeficient ekvivalentního proudu                        | $c_e$         | 1,33 |                |
| Koeficient závislosti proudů                            | $k_z$         | 0,6  |                |
| Napětí měřírny naprázdno                                | $U_o$         | 900  | V              |
| Jmenovité napětí měřírny                                | $U_n$         | 825  | V              |
| Jmenovitý proud nejmenší usměrňovací jednotky v měřírně | $I_n$         | 1000 | A              |

### 3.4) Výpočet parametrů pro napájecí úsek TV

|   |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|
| <b>3.4.1) Redukovaná délka napájeného úseku</b>                           |       |       |       |       |
|   | $n_1$ | $l_1$ |       |       |
| $n_n$ - počet vlaků jedné linky jedoucí v úseku                           | 6     | 1,400 | 8,400 |       |
| $l_n$ - délka trasy linky jedoucí v úseku                                 | $n_2$ | $l_2$ |       |       |
|   |       |       | 8,4   |       |
|   |       |       |       |       |
| $l = \sum n_{1-n} \cdot l_{1-n} / \sum n_{1-n}$                           |       |       | 1,4   | km    |
|   |       |       |       |       |
| <b>3.4.2) Redukovaný odpor stoupání úseku</b>                             |       |       |       |       |
|   | $p_1$ | $l_1$ |       |       |
|   | 12,39 | 1,41  | 12,39 |       |
| $p_{sn}$ - stoupání v řešené části tratě                                  |       |       |       |       |
| $l_n$ - délka řešené části tratě  |       |       |       |       |
| $p_s = \sum p_{s1-n} \cdot l_{1-n} / \sum l_{1-n}$                        |       |       | 12,39 | ‰     |
|   |       |       |       |       |
| <b>3.4.3) Rozjezdové a brzdné dráhy</b>                                   |       |       |       |       |
|   |       |       |       |       |
| $Z = 1,072 \cdot 10^{-2} \cdot \xi \cdot v_r^2 \cdot \varepsilon \cdot Z$ |       |       | 43,55 | 43,55 |
|   |       |       |       |       |
| $\xi$ - Součinitel rotačních hmot   |       | 1,2   |       |       |
| $v_r$ - rozjezdová rychlost   |       | 25    |       |       |
| $\varepsilon$ - koeficient účinnosti soupravy při rozjezdu                |       | 1,3   |       |       |

|  |  |          |         |        |
|--|--|----------|---------|--------|
| z - počet zastavení v úseku v obou směrech   |  | 4        |         |        |
|  |  |          |         |        |
| <b>3.4.4) Měrný jízdní odpor</b>   |  |          |         |        |
|  |  |          |         |        |
| $p_o = 3,65 + 14,5 / (G/P_n) + 0,045 \cdot V_c + (44 \cdot S \cdot v_c^2 / G) \cdot 10^{-4}$ |  |          | 6,004   |        |
|  |  |          |         |        |
| G - hmotnost vozu  |  | 17,7     |         |        |
| P <sub>n</sub> - počet náprav  |  | 3        |         |        |
| v <sub>c</sub> - cestovní rychlost   |  | 23       |         |        |
| S - čelní poloha vozidla   |  | 6,2      |         |        |
|  |  |          |         |        |
| <b>3.4.5) Měrná spotřeba elektrické energie</b>  |  |          |         |        |
|  |  |          |         |        |
| $w = [2,72 \cdot (p_o + p_s) + Z/l] \cdot 1/\eta_c$  |  |          | 117,596 | Wh/tkm |
|  |  |          |         |        |
| p <sub>o</sub> - měrný jízdní odpor  |  | viz výše |         |        |
| p <sub>s</sub> - redukovaný odpor stoupání   |  | viz výše |         |        |
| Z - rozjezdové a brzděné dráhy   |  | 43,55    |         | Wh/t   |
| l - redukovaná délka napájeného úseku  |  | viz výše |         |        |
| η <sub>c</sub> - účinnost soupravy   |  | 0,69     |         |        |
|  |  |          |         |        |
| <b>3.4.6) Efektivní proud</b>  |  |          |         |        |
|  |  |          |         |        |
| $I_{ef} = l \cdot m \cdot (c_e \cdot G \cdot w/U + I_p/v_c)$                                 |  |          | 171,20  | A      |
|  |  |          |         |        |
| l - redukovaná délka napájeného úseku  |  | viz výše |         | km     |
| m - ekvivalentní počet souprav za hodinu v obou směrech                                      |  | ks       |         |        |
| c <sub>e</sub> - koeficient ekvivalentního proudu  |  | 1,25     |         |        |
| G - hmotnost vozu  |  | 29,1     |         | t      |
| w - měrná spotřeba elektrické energie  |  | viz výše |         |        |
| I <sub>p</sub> - proud pomocných pohonů  |  | 100      |         | A      |
| v <sub>c</sub> - cestovní rychlost   |  | 23       |         | km/h   |
| U - jmenovité napětí   |  | 750      |         | V      |
|  |  |          |         |        |
| <b>3.4.7) Minimální interval mezi soupravami ve špičce</b>                                   |  |          |         |        |
|  |  |          |         |        |
| $int = 60/m$   |  | viz výše | 5       | min    |
|  |  |          |         |        |
| m - ekvivalentní počet souprav za hodinu v obou směrech                                      |  |          |         |        |
|  |  |          |         |        |
|  |  |          |         |        |
| <b>3.4.8) Počet souprav v úseku ve špičce</b>  |  |          |         |        |
|  |  |          |         |        |
| $n = (120 \cdot l) / (v_c \cdot int)$  |  |          | 1,6     | ks     |
| Zaokrouhleno   |  |          | 2       | ks     |

|  |         |            |              |              |
|--|---------|------------|--------------|--------------|
| $l$ - redukovaná délka napájeného úseku  |         | 1,4        |              | km           |
| $int$ - minimální interval mezi soupravami ve špičce                                 |         | 5          |              |              |
| $v_c$ - cestovní rychlost  |         | 23         |              | km/h         |
| <b>3.4.9) Efektivní proud jednoho vozu</b>   |         |            |              |              |
|  |         |            |              |              |
| $I_{ef\ 1vozu} = I_{ef} / n$   |         |            | <b>85,60</b> | A            |
| $I_{ef}$ - efektivní proud   |         | viz výše   |              | A            |
| $n$ - počet souprav v úseku v jednu chvíli   |         | viz výše   |              | ks           |
| <b>3.4.10) Maximální proud</b>   |         |            |              |              |
|  |         |            |              |              |
| $I_{max} = ( I_{ef\ 1vozu} + ( I_r - I_{ef\ 1vozu} ) \cdot 0,82^{(n-1)/z} ) \cdot n$ |         |            | <b>960</b>   | A            |
| $I_{ef\ 1vozu}$ - efektivní proud jednoho vozu                                       |         |            |              |              |
| $I_r$ - rozjezdový proud jednoho vozu  |         | <b>330</b> |              | A            |
| $n$ - počet souprav v úseku v jednu chvíli   |         | viz výše   |              | ks           |
| $z$ - počet zastavení v úseku v obou směrech   |         | <b>7</b>   |              | ks           |
| $k_z$ - koeficient závislosti proudů   |         | 0,6        |              |              |
| <b>3.4.11) Měrný proud v úseku</b>   |         |            |              |              |
|  |         |            |              |              |
| $i = I_{ef} \cdot k_z / l$   |         |            | <b>73,37</b> |              |
|  |         |            |              |              |
| $I_{ef}$ - efektivní proud   |         | viz výše   |              | A            |
| $k_z$ - koeficient závislosti proudů   |         | 0,6        |              |              |
| $l$ - redukovaná délka napájeného úseku  |         | 1,4        |              | km           |
| <b>3.4.12) Vnitřní odpor měřírny</b>   |         |            |              |              |
|  |         |            |              |              |
| $R_M = ( U_o - U_n ) / I_n$  |         |            | <b>0,075</b> |              |
|  |         |            |              |              |
| $U_o$ - napětí měřírny naprázdno   |         | 900        |              | V            |
| $U_n$ - jmenovité napětí měřírny   |         | 825        |              | V            |
| $I_n$ - jmenovitý ss proud nejmenší usm skupiny měřírny                              |         | 1000       |              | A            |
| <b>3.4.13) Odpor napájecích kabelů</b>   |         |            |              |              |
| $R_{TKa+} = I_{nk} \cdot R_{nk}$   |         |            | <b>0,014</b> | $\Omega$     |
| $R_{TKb+} = I_{nk} \cdot R_{nk}$   |         |            | <b>0,014</b> | $\Omega$     |
| $R_{NKd} = I_{nk} \cdot R_{nk}$  | CHBU120 | 0,19614    | <b>0</b>     | $\Omega$     |
| $R_{nk}$ - odpor napájecích kabelů na 1 km 3x500mm <sup>2</sup>                      |         | 0,02333    |              | $\Omega$ /km |
| $R_{nk}$ - odpor napájecích kabelů na 1 km 2x500mm <sup>2</sup>                      |         | 0,035      |              | $\Omega$ /km |
| $R_{nk}$ - odpor napájecích kabelů na 1 km 1x500mm <sup>2</sup>                      |         | 0,07       |              | $\Omega$ /km |
| $I_{nk}$ - délka trasy napájecích kabelů   |         |            |              | km           |
| $la+ = la- (km)$   | 0,4     |            |              | km           |
| $lb+ = lb- (km)$   | 0,4     |            |              | km           |
| <b>3.4.14) Odpor trakčního vedení</b>  |         |            |              |              |

|   |   |        |               |                    |
|---|---|--------|---------------|--------------------|
| $R_{TV1} = I_{TV1} \cdot R_{TV}$  |   |        | <b>0,1485</b> | $\Omega$           |
| $R_{TV2} = I_{TV2} \cdot R_{TV}$  |   |        | <b>0,1485</b> | $\Omega$           |
| $R_{TV}$ - odpor vedení 2xCu 100 mm <sup>2</sup> opotřeбенý při 70° C       |   | 0,178  |               | $\Omega/\text{km}$ |
| $R_{TV}$ - odpor vedení 2xCu 120 mm <sup>2</sup> neopotřeбенý při 70° C     |   | 0,1485 |               | $\Omega/\text{km}$ |
| $R_{TV}$ - odpor vedení 2xCu 150 mm <sup>2</sup> opotřeбенý při 70° C       |   | 0,119  |               | $\Omega/\text{km}$ |
| $l_{nk}$ - délka trasy napájecích kabelů                                    |   |        |               | km                 |
| $R_{TV}$ - odpor vedení 1xCu 100 mm <sup>2</sup> opotřeбенý při 70° C       |   | 0,345  |               | $\Omega/\text{km}$ |
|   |   |        |               |                    |
| $l_{TV1}$ (km)  | 1 |        |               | km                 |
| $l_{TV2}$ (km)  | 1 |        |               | km                 |
|   |   |        |               |                    |
| <b>3.4.15) Maximální odpor zkratového obvodu</b>                            |   |        |               |                    |
|   |   |        |               |                    |
| $R_{MAX} = R_M + R_{3+} + R_{3-}$   |   |        | <b>0,4</b>    | $\Omega$           |
|   |   |        |               |                    |
| $R_M$ - vnitřní odpor měřírny   |   |        | <b>0,075</b>  | $\Omega$           |
| $R_{NK}$ - odpor napájecích kabelů  |   |        |               | $\Omega$           |
| $R_{TV}$ - odpor trakčního vedení   |   |        | <b>0</b>      | $\Omega$           |
| $R_{KV}$ - odpor kolejového vedení  |   |        | <b>0</b>      | $\Omega$           |
| $R_{ZK}$ - odpor zpětných kabelů  |   |        | <b>0</b>      | $\Omega$           |
| $R_{TKa+} = I_{nk} \cdot R_{nk}$  |   |        | <b>0,014</b>  |                    |
| $R_{TKb+} = I_{nk} \cdot R_{nk}$  |   |        | <b>0,014</b>  | $\Omega$           |
| $R_{TV1} = I_{TV1} \cdot R_{TV}$  |   |        | <b>0,1485</b> | $\Omega$           |
| $R_{TV2} = I_{TV2} \cdot R_{TV}$  |   |        | <b>0,1485</b> | $\Omega$           |
|   |   |        |               |                    |
| <b>3.4.16) Maximální zkratový proud obvodu</b>                              |   |        |               |                    |
|   |   |        |               |                    |
| $I_{k \min} = 0,8 \cdot U_o / R_{\max}$                                     |   |        | <b>1800</b>   | A                  |
|   |   |        |               |                    |
| $R_M$ - vnitřní odpor měřírny   |   |        | <b>0,75</b>   | $\Omega$           |
| $U_o$ - napětí měřírny naprázdno  |   | 900    |               | V                  |
|   |   |        |               |                    |
| <b>3.4.17) Nastavení rychlovypínačů</b>                                     |   |        |               |                    |
|   |   |        |               |                    |
| Zvolená podmínka = $0,85 \cdot I_{k \min} > I_{knast} > 1,2 \cdot I_{\max}$ |   |        | <b>1530</b>   |                    |
| <b><math>1530 &gt; I_{knast} &gt; 1152</math></b>                           |   |        | <b>1152</b>   |                    |
|   |   |        |               |                    |
| <b>3.4.18) Maximální provozní proud</b>                                     |   |        |               |                    |
|   |   |        |               |                    |
| $I_{p \max} = I_{rozi} \cdot n$   |   |        | <b>800</b>    | A                  |
| $I_{rozi}$ - maximální rozjezdový proud                                     |   |        | 500           | A                  |
| n - počet souprav v obou směrech v úseku                                    |   |        | 1,6           |                    |
|   |   |        |               |                    |
| <b>3.4.19) Maximální dovolený úbytek napětí v síti</b>                      |   |        |               |                    |
|   |   |        |               |                    |

|  |  |       |            |          |
|--|--|-------|------------|----------|
| $\Delta U_{\max} = U_n - U_{\min}$               |  |       | <b>325</b> | V        |
|  |  |       |            |          |
| $U_n$ - jmenovité napětí měničny                 |  | 750   |            | V        |
| $U_{\min}$ - minimální přípustné napětí v síti   |  | 400   |            | V        |
|  |  |       |            |          |
| <b>3.4.20) Úbytek napětí v trolejovém vedení</b> |  |       |            |          |
|  |  |       |            |          |
| $\Delta U_{tv} = R_{obv} \cdot I_{\max}$         |  |       | <b>312</b> | V        |
|  |  |       |            |          |
| $R_{obv}$ - odpor obvodu (bez odporu MR)         |  | 0,325 | 0          | $\Omega$ |
| $I_{\max}$ - maximální proud v obvodu            |  | 960   | 0          | A        |

### 3.7) Tabulka výpočtů

|  |              | N.Ú.<br>Zkrat na<br>konci úseku |          |
|--|--------------|---------------------------------|----------|
| Redukovaná délka napájeného úseku      | $l$          | 1,4                             | km       |
| Redukované stoupání v úseku            | $p_s$        | 12,39                           | ‰        |
| Měrný jízdní odpor                     | $p_o$        | 6,0049                          | Wh/t     |
| Měrná spotřeba elektrické energie      | $w$          | 117,6                           | Wh/tkm   |
| Efektivní proud                        | $I_{ef}$     | 171,2                           | A        |
| Minimální interval mezi soupravami     | $int$        | 300                             | sec      |
| Počet souprav v úseku                  | $m$          | 1,6                             | ks       |
| Maximální proud                        | $I_{\max}$   | 960                             | A        |
| Maximální odpor zkratového obvodu      | $R_{\max}$   | 0,4                             | $\Omega$ |
| Minimální zkratový proud pro nastavení | $I_{k \min}$ | 1800                            | A        |
| Úbytek napětí v síti                   | $\Delta U$   | 312                             | V        |
|  |              | <b>VYHOVUJE</b>                 |          |



#### **4) Vyhodnocení výpočtů**

Úsek **N.Ú.Obecný**

Napájecí úsek má 1400m, jeden napájecí bod ve vzdálenosti cca 400 m od úsekového a na konec úseku je 1000m, kde se budou nacházet nejnepříznivější pro zkrat a úbytek napětí.

$$0,85 * I_{k \min} > I_{knast} > 1,2 * I_{max}$$

$$1530 > I_{knast} > 1152$$

Úbytek v úseku - 312V

#### **5. Závěr**

Výpočet ukazuje, že navržené napájení pro úseky nových trolejbusových tratí po Středočeském kraji je možné a vypočtené hodnoty jsou v souladu s normou ČSN 37 6754 a vyhovují v určeném intervalu. Vypočtený úbytek napětí vychází a vyhovují podmínce pro maximální dovolený úbytek napětí.