Změna:	Název změny:	Datum:	Provedl:	Podpis:

OBJEDNATEL:

Statutární město Brno
Dominikánské nám. 1
601 67 Brno

METROPROJEKT Praha a.s.
nám. I. P. Pavlova 2/1786
120 00 Praha 2
generální ředitel: Ing. David Krása
tel.: +420 296 154 105
www.metroprojekt.cz
info@metroprojekt.cz

METROPROJEKT

Souprava číslo:

HIP: Podpis:

Ing. Petr Vyskočil

tel.: **296 154 153**

Stupeň: **TP**

Název a účel díla:

PRODLOŽENÍ TT Z OSOVÉ KE KAMPUSU MU V BOHUNICÍCH - 1. ETAPA

Zpracovatelský útvar:

S60 - dopravních staveb

tel.: **296 154 247**

Vedoucí útvaru: Podpis:

Ing. Petr Zobal

Název části díla:

Energetický výpočet

F.

Odpovědný projektant: Podpis:

Ing. Daniel Beránek

Vypracoval: Podpis:

Ing. Daniel Beránek

Název přílohy:

Změna: **-**

Číslo příl.: **000**

Skart. znak:	**V20/2038**	Datum:	**01/2017**
Počet formátů:	**12xA4**	Měřítko:	**-**

IČD:	15	6733	001	06	07	00

Obsah:

A. ZADÁNÍ ENERGETICKÉHO VÝPOČTU 2

A.1 Předmět energetického výpočtu 2
A.2 Výchozí podklady a předpisy 2
A.3 Dopravní a technické podklady pro výpočet - úsek X1 2
A.4 Dopravní a technické podklady pro výpočet - úsek X2 2
A.5 Údaje o vozidlech KT8D5 3

B. ZÁKLADNÍ TEZE ENERGETICKÉHO VÝPOČTU 4

B.1 Uvažované normy 4
B.2 Zásady výpočtu 4
B.3 Nastavení rychlovypínačů 4
B.4 Maximální dovolený úbytek napětí v síti 4
B.5 Úbytek napětí ve zpětném vedení 5

C. SCHÉMA NAPÁJENÍ ŘEŠENÝCH ÚSEKŮ X1 A X2 6
D. PODROBNĚ O NAPÁJENÉM ÚSEKU X1 7

D.1 Napájecí kabely: 7
D.2 Zpětné kabely: 7

E. PODROBNĚ O NAPÁJENÉM ÚSEKU X2 9

E.1 Napájecí kabely: 9
E.2 Zpětné kabely: 9

F. VÝSLEDNÉ HODNOTY 10

F.1 Nastavení rychlovypínačů 10
F.2 Úbytky napětí v úseku 10
F.3 Shrnutí výsledků energetického výpočtu 10

G. ZÁVĚR 11

A. ZADÁNÍ ENERGETICKÉHO VÝPOČTU

A.1 Předmět energetického výpočtu

Předmětem energetického výpočtu je nová tramvajová trať v oblasti Starého Lískovce a Bohunic v Brně. Nově budovaná trať spojí zastávku "Osová" s novou konečnou zastávkou před kampusem Masarykovy univerzity a Fakultní nemocnice Brno.

Nová trať bude z energetického hlediska rozdělena na dva úseky (v dokumentu označeny jako X1 a X2) a pro potřeby jejího napájení bude postavena nová měnírna "Netroufalky" poblíž parkoviště před FNB. Většina napájecího úseku X1 (směr zastávka "Osová") bude vedena v tunelu. Vzhledem ke kusému ukončení kolejí bude osazena i odstavná kolej. Na trati budou zřízeny dvě zastávky - "Jihlavská" a "Kampus."

Celková délka obou úseků je 896 m.

A.2 Výchozí podklady a předpisy

- ČSN 37 6754 – Projektování trakčního vedení tramvajových a trolejbusových drah
- ČSN 33 3516 – Předpisy pro trakční vedení tramvajových a trolejbusových drah
- Ing. Kuchařová – Návrh metodiky energetických výpočtů
- Směrnice pro energetický výpočet tramvajových a trolejbusových drah
- Dopravní a technické podklady Dopravního podniku města Brna

A.3 Dopravní a technické podklady pro výpočet - úsek X1

- vozové soupravy KT8D5 (převedení linky č. 8)
- 60 linkových spojů za hodinu (dvouminutový obousměrný interval)
- 2 zastavení v úseku (obousměrná zastávka "Jihlavská")
- trolejové vedení, trolejový vodič 120 mm^2
- napájecí kabely typu YAA 1×500 mm^2
- zpětné kabely typu YAA 1×500 mm^2 a YY 1x300 mm^2
- cestovní rychlost v úseku 24 $^{km}/_{h}$
- kolejnice typu NT1
- úsek napájen z MR Netroufalky
- Jmenovité napětí měnírny 600 V DC
- Max. napětí měnírny naprázdno 720 V DC
- jmenovitý stejnosměrný proud nejmenší usměrňovací skupiny 2250 A

A.4 Dopravní a technické podklady pro výpočet - úsek X2

- vozové soupravy KT8D5 (zakončení linky č. 8)
- 60 linkových spojů za hodinu (dvouminutový obousměrný interval)
- 4 zastavení v úseku (obousměrná zastávka "Kampus" a křížení pozemní komunikace)
- trolejové vedení, trolejový vodič 120 mm^2
- napájecí kabely typu YAA 1×500 mm^2
- zpětné kabely typu YAA 1×500 mm^2 a YY 1x300 mm^2
- cestovní rychlost v úseku 19 $^{km}/_{h}$
- kolejnice typu NT1
- úsek napájen z MR Netroufalky
- Jmenovité napětí měnírny 600 V DC

- Max. napětí měnírny naprázdno 720 V DC
- jmenovitý stejnosměrný proud nejmenší usměrňovací skupiny 2250 A

A.5 Údaje o vozidlech KT8D5

Hmotnost plně obsazeného vozidla	65 t
Jmenovité napětí	600 V DC (+ 25 %; - 33 %)
Výkon vozidla	360 kW
Maximální rozjezdový proud	1250 A
Výkon pomocných pohonů	42 kW
Proud pomocných pohonů	70 A

B. ZÁKLADNÍ TEZE ENERGETICKÉHO VÝPOČTU

B.1 Uvažované normy

- ČSN 33 3516 Předpisy pro trakční vedení tramvajových a trolejbusových drah
- ČSN 37 6754 Projektování trakčního vedení tramvajových a trolejbusových drah

B.2 Zásady výpočtu

Cílem energetického výpočtu je zajistit bezpečný provoz tramvajové trati (bez přídavných mimořádných opatřeních) při adekvátních nákladech pro úpravu řešených napájecích úseků. Tyto bývají dlouhé mezi 500 až 1500 m v závislosti na situování v rámci tramvajové sítě (centrum / periferie).

Výpočty se provádějí pro nejhorší možnou situaci, která probíhá v reálném provozu. Je tedy nezbytné uvažovat maximální možné (avšak reálné) zatížení řešeného úseku, které může nastat. Zde se jedná především o správné nastavení ochranných funkcí a zajištění dostatečného napájecího výkonu do úseku.

V případě opatření pro snížení vlivu bludných proudů se uvažuje průměrný celodenní stav proudového zatížení úseku, který dle ČSN 37 6754 tvoří 0,6 efektivního proudu denní špičky.

B.3 Nastavení rychlovypínačů

Nadproudová spoušť napáječe se nastavuje na hodnoty:

$$I_{knast} \geq 1{,}1 \; až \; 1{,}25 \cdot I_{\max}$$

A zároveň:

$$I_{knast} \leq 0{,}85 \; až \; 0{,}9 \cdot I_{k\min}$$

Námi zvolená podmínka:

$$0{,}85 \cdot I_{k\min} > I_{knast} > 1{,}25 \cdot I_{\max}$$

Výsledné hodnoty $I_{k\,min}$ a I_{max} pro oba řešené napájecí úseky jsou uvedeny v tabulce výsledných hodnot. Uvedené hodnoty nastavení rychlovypínačů mají pouze orientační charakter – definitivní nastavení bude provedeno podle skutečného proudového zatížení v uvažovaném úseku.

B.4 Maximální dovolený úbytek napětí v síti

Celkový úbytek napětí v síti (vlastní měnírna, kabely k napájecím bodům, trolejové vedení, kolejové vedení, kabely zpětného vedení) nesmí být dle ČSN 37 6754 vyšší než takový, který umožní bezpečný provoz (zvláště rozjezd) tramvajových souprav i při maximálním denním zatížení napájecího úseku.

$$\Delta U_{\max} = U_n - U_{\min} = 660 - 400 = \underline{\underline{260 \;\; V}}$$

U_n jmenovité napětí měnírny (660 V)
U_{min} minimální přípustné napětí v síti (400 V)

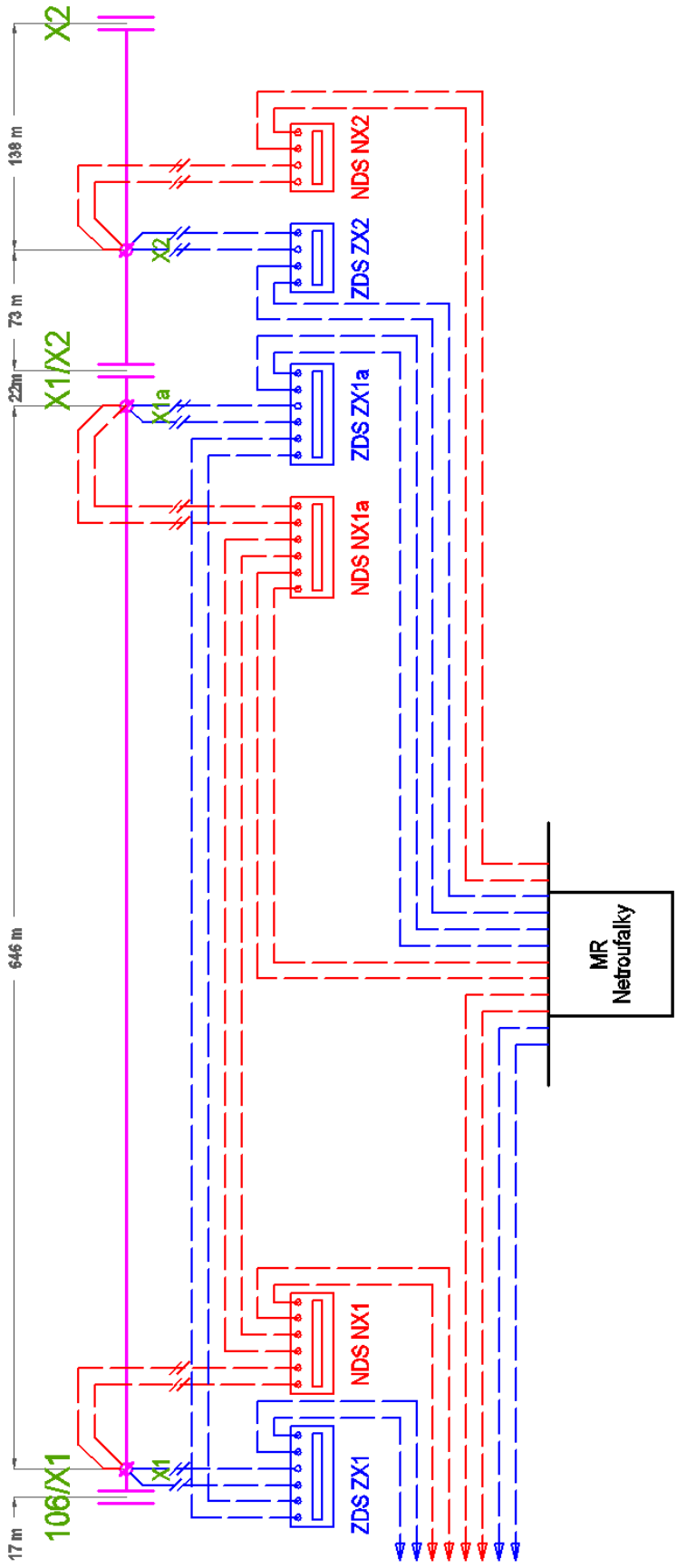
B.5 Úbytek napětí ve zpětném vedení

Úbytek napětí ve zpětném vedení nesmí překročit hodnotu danou ČSN 33 3516.

$$\Delta U_{zk} = R_{zk} \cdot I_{ef} \cdot k_z \qquad (V)$$

R_{zk} odpor zpětných kabelů (Ω)
I_{ef} efektivní proud (A)
k_z koeficient závislosti proudů (0,6)

C. SCHÉMA NAPÁJENÍ ŘEŠENÝCH ÚSEKŮ X1 A X2



D. PODROBNĚ O NAPÁJENÉM ÚSEKU X1

Nově budovaný napájecí úsek navazuje na odbočku ze stávající trati v oblasti zastávky "Osová" severním směrem a po přibližně 50 metrech se zanořuje do nově vybudovaného tunelu. Tunel bude rozdělen na dvě části hloubenou zastávkou "Jihlavská." V tunelu nebudou osazeny žádné napájecí a odsávací body a rovněž ani napájecí nebo zpětné dělící skříně.

Dimenze napájecího systému je uvažována pro mimořádný špičkový provoz s obousměrným intervalem 2 minuty (60 souprav za hodinu, obousměrně). Vzhledem k pozdějšímu zakončení trati kusou kolejí (oblast zastávky "Kampus") bude úsek pojížděn výhradně soupravami typu KT8D5 se dvěma stanovišti řidiče.

Úsek je napájen z nově vybudované MR Netroufalky dle výše uvedeného schématu. Je uvažováno plné propojení napájecích obvodů se stávajícími úseky č 106.

D.1 Napájecí kabely:

Od NDS "NX1" k NDS „NX1a“:

-	NX1a/1	590 m	AYY 1x500	
-	NX1a/2	590 m	AYY 1x500	

Od NDS „NX1“ na místo připojení:

-	NX1a/1P	15 m	2x YY 1x300	
-	NX1a/2P	15 m	2x YY 1x300	

Od NDS „NX1“ do napájecího úseku č. 106:

-	NX1/1O	? m	AYY 1x500	(není směrodatné pro energetický výpočet)
-	NX1/2O	? m	AYY 1x500	(není směrodatné pro energetický výpočet)

Od NDS "NX1a" do MR Netroufalky:

-	NX1/1N	105 m	AYY 1x500	
-	NX1/2N	105 m	AYY 1x500	

Od NDS „NX1a“ na místo připojení:

-	NX1/1NP	15 m	2x YY 1x300	
-	NX1/2NP	15 m	2x YY 1x300	

D.2 Zpětné kabely:

Od ZDS "ZX1" k ZDS "ZX1a":

-	ZX1a/1	600 m	AYY 1x500	
-	ZX1a/2	600 m	AYY 1x500	

Od ZDS „ZX1“ na místo připojení:

-	ZX1a/1P	10 m	2x YY 1x300	
-	ZX1a/2P	10 m	2x YY 1x300	

Od ZDS „ZX1“ do napájecího úseku č. 106:

-	ZX1/1O	? m	AYY 1x500	(není směrodatné pro energetický výpočet)
-	ZX1/2O	? m	AYY 1x500	(není směrodatné pro energetický výpočet)

Od ZDS „ZX1a“ do MR Netroufalky:

- ZX1/1N 105 m AYY 1x500
- ZX1/2N 105 m AYY 1x500

Od ZDS „ZX1a“ na místo připojení:

- ZX1/1NP 10 m 2x YY 1x300
- ZX1/2NP 10 m 2x YY 1x300

E. PODROBNĚ O NAPÁJENÉM ÚSEKU X2

Nově budovaný napájecí úsek navazuje na výše řešený úsek X1 a zároveň slouží jako kusé zakončení nově budované trati. V prostoru napájecího úseku je rovněž odstavná kolej pro mimořádný odstav během provozu.

Dimenze napájecího systému je uvažována pro mimořádný špičkový provoz s obousměrným intervalem 2 minuty (60 souprav za hodinu, obousměrně). Vzhledem k zakončení trati kusou kolejí (oblast zastávky "Kampus") bude úsek pojížděn výhradně soupravami typu KT8D5 se dvěma stanovišti řidiče.

Úsek je napájen z nově vybudované MR Netroufalky dle výše uvedeného schématu.

E.1 Napájecí kabely:

Od NDS „NX2“ na místo připojení:

- NX2/1NP 15 m 2x YY 1x300
- NX2/2NP 15 m 2x YY 1x300

Od NDS „NX2“ do MR Netroufalky:

- NX2/1N 25 m AYY 1x500
- NX2/2N 25 m AYY 1x500

Od MR Netroufalky do napájecího úseku č. 106:

- N106/1N ? m AYY 1x500 (není směrodatné pro energetický výpočet)
- N106/2N ? m AYY 1x500 (není směrodatné pro energetický výpočet)

E.2 Zpětné kabely:

Od ZDS „ZX2“ do MR Netroufalky:

- ZX2/1N 25 m AYY 1x500
- ZX2/2N 25 m AYY 1x500

Od ZDS „ZX2“ na místa připojení:

- ZX2/1NP 10 m 2x YY 1x300
- ZX2/2NP 10 m 2x YY 1x300

Od MR Netroufalky do napájecího úseku č. 106:

- Z106/1N ? m AYY 1x500 (není směrodatné pro energetický výpočet)
- Z106/2N ? m AYY 1x500 (není směrodatné pro energetický výpočet)

F. VÝSLEDNÉ HODNOTY

F.1 Nastavení rychlovypínačů

Úsek č. X1 Při ponechání současného stavu napájení ve čtyřech bodech je třeba nastavit rychlovypínače v tomto intervalu:

$$5482 > I_{knast} > 2601 \quad (A)$$

Úsek č. X2 Při ponechání současného stavu napájení ve čtyřech bodech je třeba nastavit rychlovypínače v tomto intervalu:

$$9687 > I_{knast} > 1563 \quad (A)$$

F.2 Úbytky napětí v úseku

Úsek č. X1 Celkový úbytek napětí v úseku je roven 193 V, což zajišťuje minimální napětí v úseku okolo 469 V. To je v souladu s hodnotou předepsanou normou ČSN 37 6754.

Úsek č. X2 Celkový úbytek napětí v úseku je roven 63 V, což zajišťuje minimální napětí v úseku okolo 597 V. To je v souladu s hodnotou předepsanou normou ČSN 37 6754.

F.3 Shrnutí výsledků energetického výpočtu

Veličina		Úsek č. X1	Úsek č. X2	
Redukovaná délka napájeného úseku	l	0,685	0,211	km
Redukované stoupání v úseku	p_s	30,00	17,00	‰
Počet projíždějících souprav úsekem	m	60	60	-
Cestovní rychlost	v_c	24	19	$^{km}/_{h}$
Počet zastavení v úseku (↑ i ↓)	z	2	4	-
Měrná spotřeba elektrické energie	w	205,35	483,70	Wh/tkm
Efektivní proud	I_{ef}	1262,76	948,86	A
Maximální proud	I_{max}	2080,70	1250,00	A
Měrný proud v úseku	i	1106,07	2698,19	A/km
Největší dovolený zpětný proud v kolejích	$I_{z\,max}$	714,29	714,29	A
Minimální zkratový proud	$I_{k\,min}$	6449,83	11396,76	A
Max. vzdálenost mezi dvěma odsávacími body	L_{max}	0,646	0,265	km
Maximální odpor zkratového obvodu	R_{max}	0,0893	0,0505	Ω
Odpor napájecích kabelů	R_{nk}	0,0067	0,0014	Ω
Odpor zpětných kabelů	R_{zk}	0,006	0,001	Ω
Průměrný úbytek napětí ve zpětném vedení	ΔU_{zk}	4,345	0,578	V
Maximální úbytek napětí v úseku	ΔU_{max}	191,301	63,176	V
		VYHOVUJE	**VYHOVUJE**	

G. ZÁVĚR

Délka napájecího úseku a umístění zpětných odsávacích bodů jsou v souladu s ČSN 37 6754. Rovněž maximální délka kolejnicového vedení, připojeného na zpětné kabely, vyhovuje.

Napájecí body jsou ve všech třech případech uvažovány jako zdvojené.

Z provozních důvodů budou v úseku č. X1 osazeny všechny NDS, ZDS, napájecí i odsávací body mimo těleso tunelu. Ty tak budou umístěny před vjezdy do tunelu a samotným tunelem povede pouze kabelový kanál pro připojení NDS a ZDS "X1" na straně tunelu směrem do centra.

V úseku č. X2 je napájecí (zdvojený) i odsávací bod umístěn přímo před MR Netroufalky.

Vzhledem k velmi dobrým výsledkům stávajícího energetického výpočtu je posilování napájecích či odsávacích tras oproti prvotní verzi projektu ekonomicky nevýhodné. Došlo by pouze k zlepšení již tak dobrých energetických poměrů v řešené síti.

Oba úseky jsou dostatečně dimenzovány a je možné přidat ještě 18 linkových spojů v nejvytíženějších hodinách na celkový počet 78 souprav za hodinu aniž by došlo k poklesu napětí v síti pod 400 V daných ČSN 37 6754.

18. ledna 2017

Vypracoval: Ing. Daniel Beránek