

			ČÍSLO SOUPRAVY:
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	

Spole nost SUDBR-SAGASTA pro DSP+PDPS+AD "Rekonstrukce ŽST Brno - Královo Pole"

Spole ník 1 (vedoucí spole ník):



SUDOP BRNO, spol. s r.o.
Kounicova 26
611 36 Brno

Spole ník 2



SAGASTA, s.r.o.
Novodvorská 1010/14
142 00 Praha 4

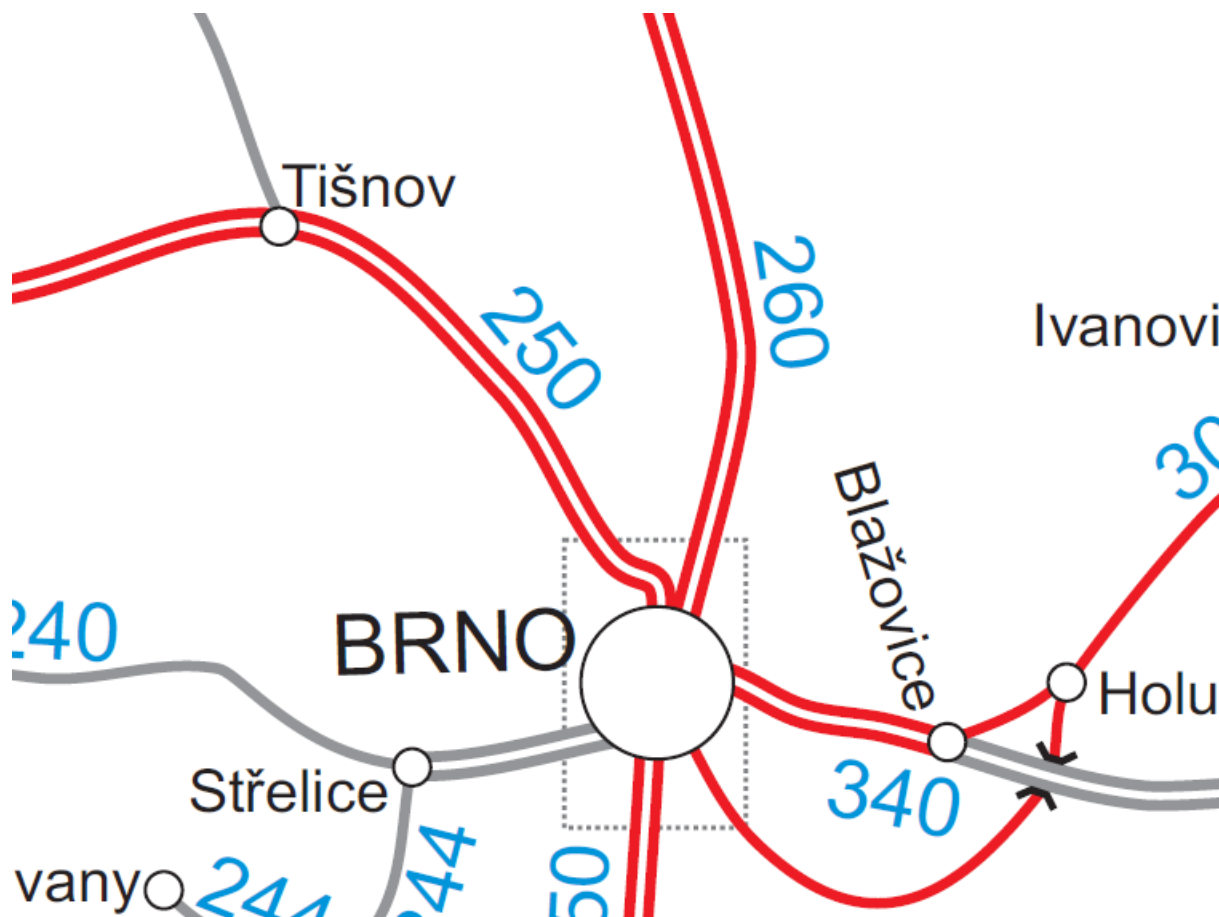
OBJEDNAVATEL:	Správa železnic, s.o., Dílžďěná 1003/7, 110 00 Praha 1 Stavební správa východ (organizační jednotka)		tel. : +420 972 625 804 E-mail: sudop@sudop-brno.cz		
PROFESNÍ SKUPINA:	23 TRAKČNÍ VEDENÍ	VEDOUČÍ PROF. SKUPINY Ing. Jiří Pelc	GENERÁLNÍ ŘEDITEL Ing. Kamil Chmela		
ODPOVĚDNÝ PROJ. ZAKÁZKY Ing. Kamil Chmela		ODPOVĚDNÝ PROJ. PS, SO Jiří Podhradský	NAVRHL, VYPRACOVAL Ing. Ondřej Svoboda		
			KONTROLOVAL Ing. Jiří Pelc		
KRAJ: Jihomoravský		POVĚŘENÝ OÚ: Úřad m.č.m. Brna, Brno–Královo Pole		STUPEŇ: PDPS	
REKONSTRUKCE ŽST. BRNO - KRÁLOVO POLE				ZAK. ČÍSLO 20062-01-0721	ARCH. ČÍSLO 2021120001
				MĚŘÍTKO A4	POČET FORMÁTŮ
				DATUM: 06/2022	
ENERGETICKÉ VÝPO TY				ČÁST DOKUM. B.8	PŘÍLOHA

1 Obsah

1	OBSAH	1
2	ÚVOD	2
3	PODKLADY.....	3
3.1	POUŽITÉ NORMY A PŘEDPISY	3
3.2	MODEL INFRASTRUKTURY, JÍZDNÍ ŘÁD A HV.....	3
4	VSTUPNÍ DATA	4
4.1	PARAMETRY AC SÍTĚ	4
4.2	PARAMETRY TRAKČNÍCH TRANSFORMOVEN (TT).....	4
4.3	PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ	5
4.4	PARAMETRY HNACÍCH VOZIDEL	6
5	METODA VÝPOČTU.....	8
6	VÝSLEDKY	8
6.1	REKUPERAČNÍ BRZDĚNÍ	9
6.2	OCHRANNÁ OPATŘENÍ PROTI NEDOVOLENÉMU POTENCIÁLU KOLEJNICE	9
6.3	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV.....	9
6.4	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV A ZKRATOVÉ POMĚRY	9
7	ZÁVĚR.....	10
8	PŘÍLOHY.....	11
8.1	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – VÝHLEDOVÁ DOPRAVA	12
8.2	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV.....	13
8.3	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV	14
8.4	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ MEZI KOLEJÍ A ZEMÍ	15

2 Úvod

Tyto energetické výpočty řeší napájení úseku TNS Čebín – SpS Husovice na trati 250 a mají za cíl posoudit dimenzování trakčního vedení v železniční stanici Brno – Královo pole. **Základním podkladem pro výpočet je dopravní technologie.** Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomoci programů OpenTrack a OpenPowerNet. Nyní je řešený úsek napájený střídavou proudovou soustavou AC 25 kV 50Hz, viz obrázek níže.



Do simulace byly zahrnuty tratě 250.

3 Podklady

Celá simulace byla provedena v programu OpenTrack, kde je namodelována veškerá infrastruktura a dopravní technologie kromě napájení (koleje, výhybky, jízdní řád, zabezpečovací zařízení atd.) a v programu OpenPowerNet, kde bylo namodelováno napájení (vodiče, napájecí stanice, trakční propojení atd.)

3.1 Použité normy a předpisy

- ČSN 34 1530 ed.2
- ČSN 34 1500 ed.2
- ČSN EN 50 119 ed.2
- ČSN EN 50 122-1 ed.2
- ČSN EN 50 122-2 ed.2
- ČSN EN 50 163 ed.2
- ČSN EN 50 388 ed.2
- Nařízení komise (EU) č. 1301/2014
- Předpis SŽDC (ČSD) SR34 s úpravou dle dopisu zn.: 21480/2017-SŽDC-O14

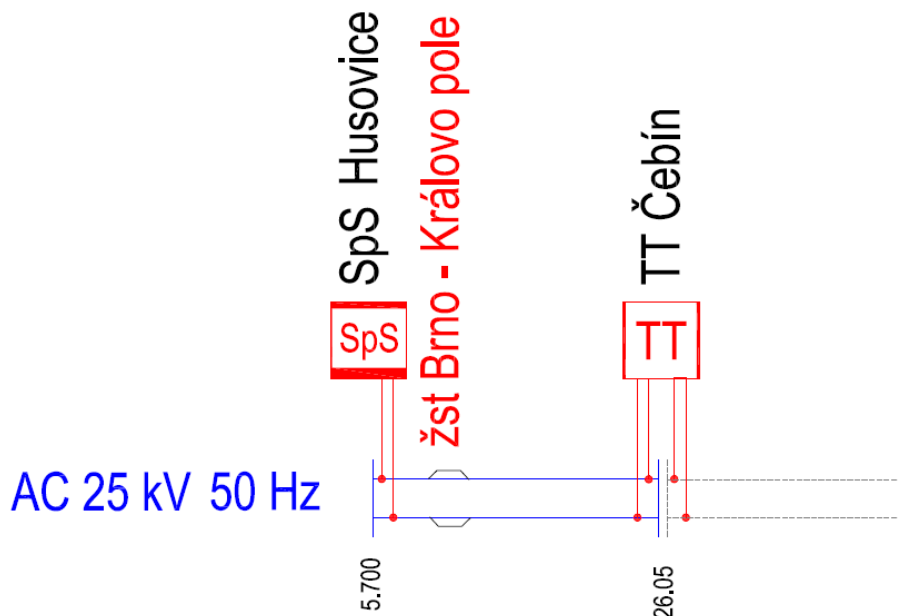
3.2 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **Koleje**
Niveleta koleje byla převzata od objednatele a odpovídá zpracovaným projektům. Stejně tak byly převzaty polohy výhybek a nástupišť.
- **Jízdní řád**
Byl zpracován po konzultaci s dopravním technologem objednatele a na základě toho byl vypracován modelový dvouhodinový špičkový grafikon.
- **Zabezpečovací zařízení**
Hlavní návěstidla a oddíly byly také navrženy dle zadání objednatele a respektují výhledový stav.
- **Hnací vozidla**
V simulaci se uvažuje s typizovanými lokomotivami a elektrickými jednotkami. Pro vlaky kategorie NEx a EC se uvažuje s lokomotivou typu Vectron. Pro vlaky typu Pn se uvažuje elektrická jednotka Vectron nebo 2x230. Pro vlaky typu R a Os se uvažuje kombinace souprav 650 RegioPanter a 640 RegioPanter.
- **Napájecí stanice**
Rozmístění napájecích stanic odpovídá současnému stavu. Systém napájení byl převzat z výhledových schémat napájení a dělení.
- **Trakční vedení**
Sestava trakčního vedení včetně základního propojení byla také převzata z projektů a odpovídá výhledovému stavu.
- **Hnací vozidla**
V modelu se uvažuje s regulací výkonu dle TSI ENE a s povolenou rekuperací.

4 Vstupní data

Energetický model byl navržen v programu OpenPowerNet a zahrnuje v sobě model napájecích stanic, trakčního vedení a elektrických parametrů lokomotiv. Program OpenPowerNet využívá ke svému výpočtu program OpenTrack, ve kterém byla vymodelována infrastruktura kolejí, výhybek, nástupišť a zabezpečovacího zařízení. V programu OpenTrack byl také zpracován model vlaků, lokomotiv a elektrických souprav včetně jízdního řádu.

Model napájení byl rozdělen následovně:



4.1 Parametry AC sítě

- Napětí 25 kV
- Frekvence 50 Hz

4.2 Parametry trakčních transformoven (TT)

- Napětí nakrátko 12,5 %
- Ztráty nakrátko 96 kW
- Ztráty naprázdno 7,5 kW
- Proud naprázdno 0,1 A
- Jmenovitý výkon 12,5 MVA
- Primární napětí 115 kV
- Sekundární napětí 27 kV
- TNS Čebín v km 26,050 (Brno - Kolín)
- Rekuperace TNS umožňuje přetok energie zpět do sítě

4.3 Parametry trakčního vedení

Všechny vodiče včetně kolejnic a země jsou v modelu definovány svými elektrickými a geometrickými vlastnostmi.

Vodiče

Nosné lano 50Bz

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| • geometrická poloha [x ; y] | [0 ; 6,6] m |
| • ekvivalentní poloměr ¹ | 3,578 mm |
| • činný odpor | 0,44 Ω/km |
| • teplotní součinitel | 0,004 °C ⁻¹ |
| • uvažovaná teplota vodiče | 80°C |

Nosné lano 70Bz

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| • geometrická poloha [x ; y] | [0 ; 6,6] m |
| • ekvivalentní poloměr ² | 3,578 mm |
| • činný odpor | 0,32 Ω/km |
| • teplotní součinitel | 0,004 °C ⁻¹ |
| • uvažovaná teplota vodiče | 80°C |

Trolej 100Cu

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| • geometrická poloha [x ; y] | [0 ; 5,6] m |
| • ekvivalentní poloměr | 4,395 mm |
| • činný odpor | 0,183 Ω/km |
| • teplotní součinitel | 0,00393 °C ⁻¹ |
| • uvažovaná teplota vodiče | 80°C |

Trolej 150Cu

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| • geometrická poloha [x ; y] | [0 ; 5,6] m |
| • ekvivalentní poloměr | 4,395 mm |
| • činný odpor | 0,122Ω/km |
| • teplotní součinitel | 0,00393 °C ⁻¹ |
| • uvažovaná teplota vodiče | 80°C |

Pravá kolejnice

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| • geometrická poloha [x ; y] | [0,7175 ; 0] m |
| • ekvivalentní poloměr | 38,54 mm |
| • činný odpor ³ při 20°C | 0,416 Ω/km |
| • teplotní součinitel | 0,004 °C ⁻¹ |
| • uvažovaná teplota vodiče | 60°C |

Levá kolejnice

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| • geometrická poloha [x ; y] | [-0,7175 ; 0] m |
| • činný odpor při 20°C | 0,416 Ω/km |
| • teplotní součinitel | 0,004 °C ⁻¹ |

¹ Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry.

² Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry.

³ Odpor kolejnice vychází ze změřených hodnot uvedených v dopise zn. 21480/2017-SŽDC-O14 pro tvar kolejnice UIC 60.

- uvažovaná teplota vodiče 60°C

Napájecí vedení 120Cu

- geometrická poloha [x ; y] [-4;6] m
- ekvivalentní poloměr⁴ 4,685 mm
- činný odpor 0,150 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C⁻¹
- uvažovaná teplota vodiče 80°C

Osová vzdálenost dvou kolejí 4 m**země**

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; -715]m
- ekvivalentní poloměr 465 m
- činný odpor 0,0393 Ω/km

Propojky

- Vzdálenost mezikolejnicových propojení jedné stopy 1 km
- Vzdálenost mezikolejových propojení na jedné trati 5 km
- Propojení troleje a nosného lana 1 000 S/km
- Propojení kolejnice a země⁵ 0,01 S/k

4.4 Parametry hnacích vozidel

Výpočet potřebného výkonu pro jízdu vozidla počítá program OpenTrack pro uvedené typy vlaků:

EC

- Hmotnost bez lokomotivy 400 t
- Jízdní odpor R
- Lokomotiva Vectron

NEx

- Hmotnost bez lokomotivy 1800t
- Jízdní odpor S
- Lokomotiva 2xVectron

Os (2000 – 2010; 2100 - 2120)

- Jízdní odpor R
- Lokomotiva 2x640 RegioPanter

Os (2050 - 2062)

- Jízdní odpor R
- Lokomotiva 650 RegioPanter + 640 RegioPanter

Os (3001 - 3311)

⁴ Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry.

⁵ Hodnota vychází z odborného odhadu na základě dané maximální svodové vodivosti 0,5 S/km (ČSN EN 50 122-2 ed.2) a na základě zjištění Ing. Jana Matouše publikovaného zde http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy_matous_a.pdf, kde uvádí přechodový odpor kolej – zem u nových tratí jako „mnohdy převyšující hodnotu 100 Ω/km (u nerekonstruovaných tratí tato hodnota obvykle bývá okolo 1 Ωkm)“.

- Jízdní odpor R
- Lokomotiva 640 RegioPanter

Pn (66000 - 67013)

- Hmotnost bez lokomotivy 2400 t
- Jízdní odpor T4
- Lokomotiva 2xVectron

Pn (68000 - 69015)

- Hmotnost bez lokomotivy 1600 t
- Jízdní odpor T4
- Lokomotiva 2x230

R

- Hmotnost bez lokomotivy 430 t
- Jízdní odpor R
- Lokomotiva 650 RegioPanter + 2x640 RegioPanter
-

Níže jsou uvedeny elektrické vlastnosti hnacích vozidel zadanych v programu OpenPowerNet.

Vectron

- Maximální výkon 6,4 MW
- Maximální tažná síla 300 kN
- Max. napětí při rekuperaci - AC 29 kV
- Max. napětí při rekuperaci – DC 3,6 kV
- Skutečný účinník 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ano

230

- Maximální výkon 3,08 MW
- Maximální tažná síla 320 kN
- Max. napětí při rekuperaci - AC 29 kV
- Skutečný účinník 0,84
- Regulace výkonu dle TSI ENE ne

650 RegioPanter

- Maximální výkon 1,36 MW
- Maximální tažná síla 196 kN
- Max. napětí při rekuperaci - AC 29 kV
- Max. napětí při rekuperaci – DC 3,6 kV
- Skutečný účinník 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ne

640 RegioPanter

- Maximální výkon 2,04 MW
- Maximální tažná síla 196 kN
- Max. napětí při rekuperaci - AC 29 kV
- Max. napětí při rekuperaci – DC 3,6 kV
- Skutečný účinník 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ne

Energetické výpočty

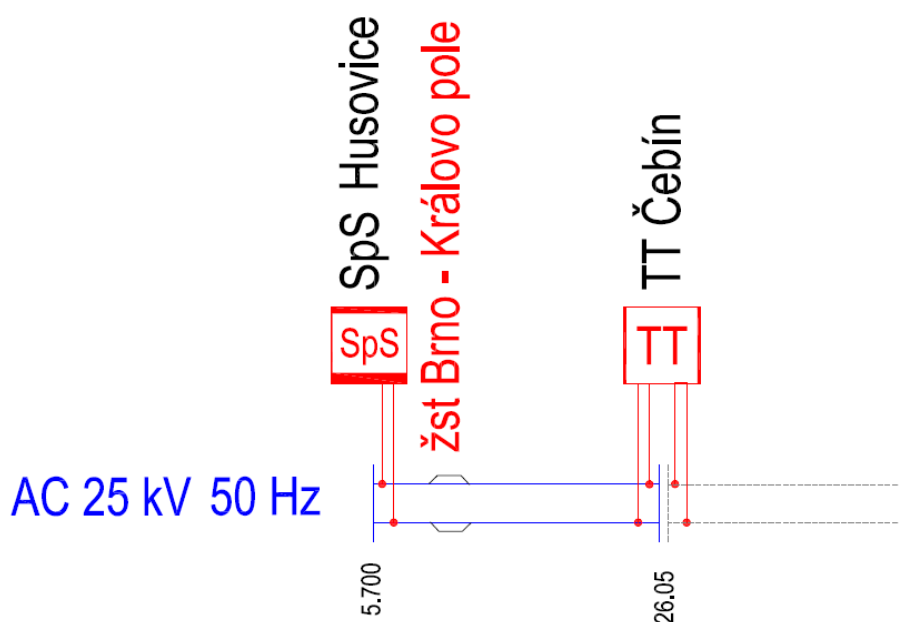
5 Metoda výpočtu

Výpočet byl proveden v programu OpenPowerNet, který paralelně spolupracuje s programem OpenTrack. Celý výpočet by se dal zjednodušeně popsat v následujících pěti bodech:

- I. OpenTrack na základě daného jízdního řádu rozmístí vlaky v oblasti.
- II. Dále spočítá na základě jejich jízdního odporu, hybnosti a trakční charakteristiky, jaký potřebují dodat výkon a tuto informaci (i s polohou vlaků) odešle programu OpenPowerNet.
- III. OpenPower následně iterační metodou spočítá, jakým způsobem se rozloží požadovaný výkon mezi jednotlivé napájecí stanice, spočítá ztráty v trakčním vedení a dostupný výkon pro jednotlivé vlaky.
- IV. OpenPowerNet odešle dostupný výkon pro jednotlivé vlaky (stejný jako požadovaný nebo menší způsobený např. poklesem napětí pod $0,9U_{jm}$) programu OpenTrack.
- V. OpenTrack převezme dostupný výkon pro jednotlivé vlaky a spočítá ujetou vzdálenost za jednu sekundu. Po té znovu vypočítá potřebný výkon a celý proces se tak pro každou sekundu v jízdním řádu opakuje.

6 Výsledky

Při výpočtu byla pro střídavou napájecí soustavu uvažována trakční sestava 100Cu + 50Bz. **Trat' je napájena z TT Čebín, dále se na trati nachází spínací stanice v Brně Husovicích. Výpočet byl řešen pro výhledovou dopravu.**



Výpočet obsahuje simulaci tratě Brno (Husovice) – TNS Čebín, která je napájena střídavou proudovou soustavou 25 kV 50 Hz. **V základním stavu uvažujeme všechny spínací stanice rozepnuté ve všech směrech.** Na dvoukolejně trati Brno – Čebín je uvažována sestava trakčního vedení 100Cu + 50 Bz. **V TT uvažujeme základní napájení z jednoho trakčního transformátoru z důvodu zachování redundance napájecí stanice.**

6.1 Rekuperační brzdění

Systém napájení je navržen tak, že umožňuje výměnu energie s jinými vlaky. Trakční napájecí stanice umožňuje přetok energie zpět do distribuční soustavy v soustavě 25 kV 50 Hz.

6.2 Ochranná opatření proti nedovolenému potenciálu kolejnice

K tomu, aby nemohlo dojít k nedovolenému dotykovému napětí, musí být v určitých případech, např. ve stanicích, instalováno zařízení omezující napětí, pro vyrovnání potenciálu mezi zpětným obvodem a zemí, nebo trvalé uzemnění zpětného obvodu ve vytypovaných místech v souladu s normou ČSN EN 50122-1 ed.2.

Po dokončení stavby se u trakčních stožárů, případně dalších vodivých konstrukcí, provede měření dotykových napětí. Rovněž se před samotnou stavbou a následně po dokončení stavby provede za provozu několik opakovaných měření napětí mezi kolejnicí a zemí. Z výsledků měření vyplyne, zda bude nutná realizace dalších opatření pro snížení případného nevyhovujícího napětí mezi kolejnicí a zemí.

V řešení napájecím úseku došlo k překročení minimálního krátkodobého i dlouhodobého dotykového napětí mezi kolejí a zemí. Průběh dotykového napětí mezi kolejí je v příloze 8.4.

6.3 Minimální napětí TV

Průběhy minimálního napětí TV jsou zobrazeny v příloze 8.2.

Úbytek napětí pro úsek Brno Husovice – Kutná Hora – AC

Minimální napětí v tomto střídavě napájeném úseku nekleslo pod 23 kV, tato hodnota byla zjištěna na konci napájecího úseku u SpS Husovice.

6.4 Proudové zatížení TV a zkratové poměry

Průběh proudového zatížení napájecího vedení je v příloze číslo 8.3.

Pro každý provozní stav bylo prověřeno proudové zatížení trakčního vedení s časovou oteplovací konstantou 300s a zkratové poměry. Proudové zatížení dle normy ČSN EN 1530 ed.2 nesmí u střídavé proudové sestavy překročit 760 A. **Tato podmínka byla splněna, hodnota proudového zatížení nebyla vyšší než 466 A.**

7 Závěr

Z hlediska dimenzování trakčního vedení navržená sestava TV 100Cu + 50 Bz je plně vyhovující a splňuje normu ČSN EN 1530 ed.2.

Kontroloval:

Jiří Podhradský

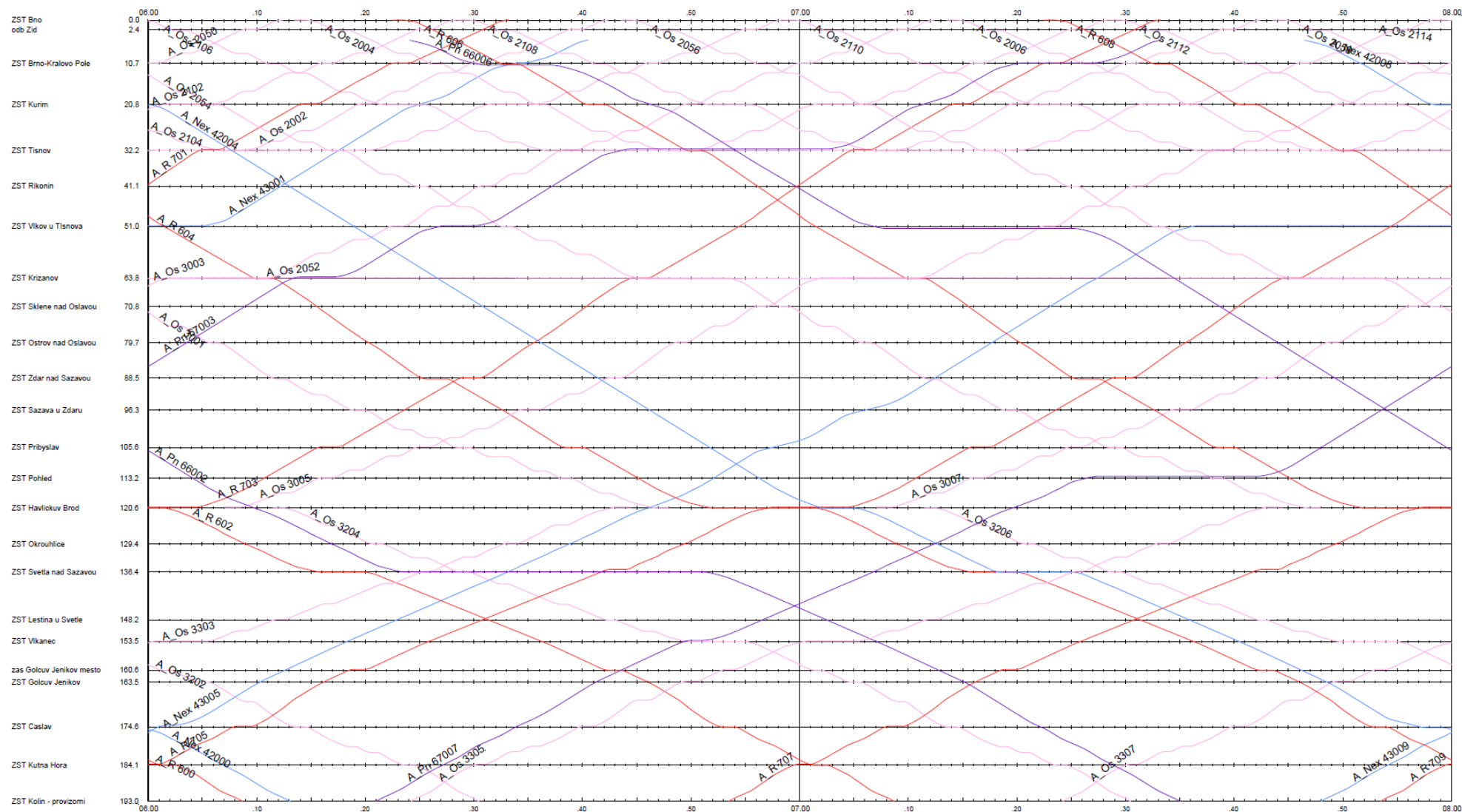
Zpracoval:

Ing. Ondřej Svoboda

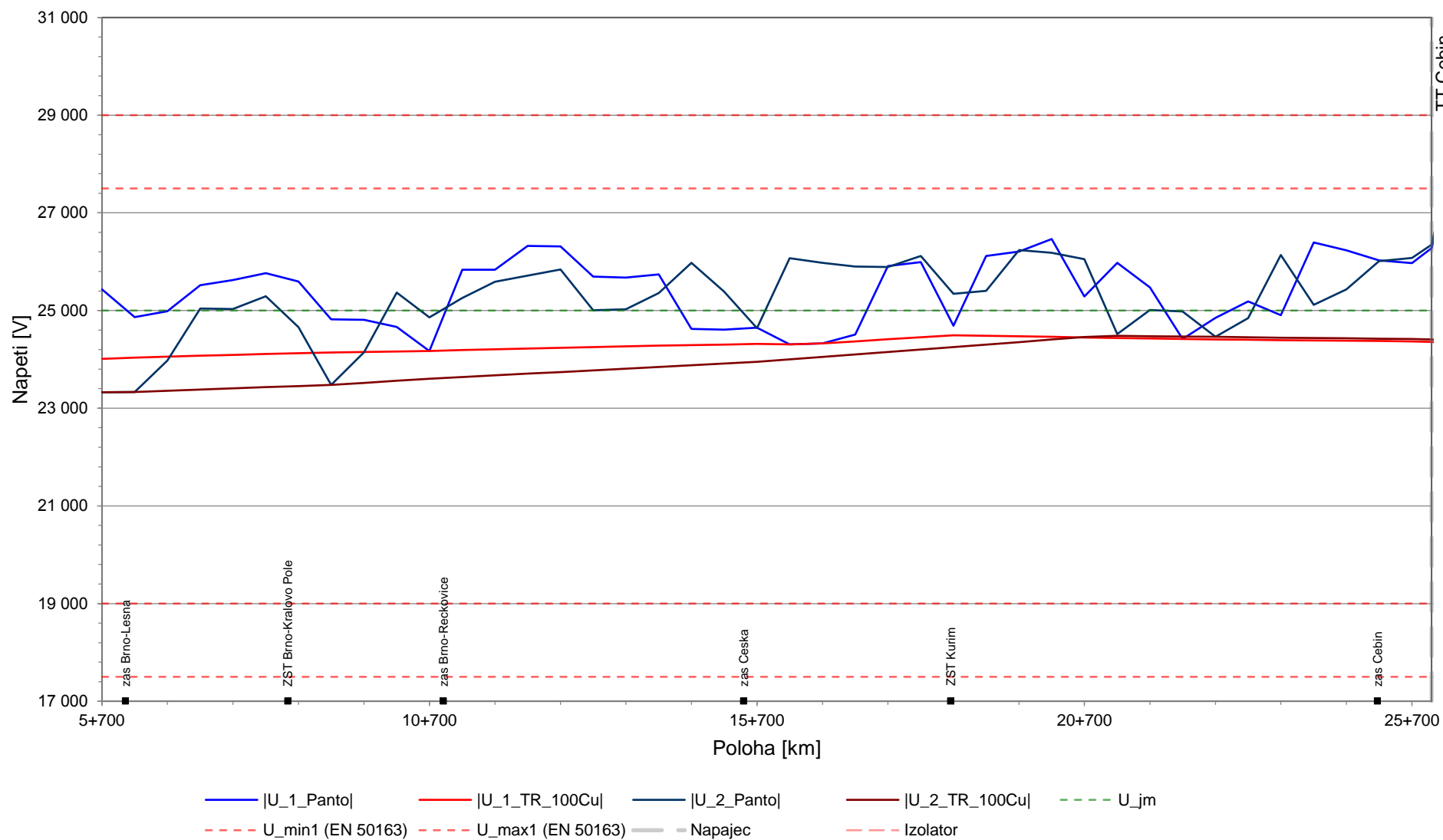
8 Přílohy

8	PŘÍLOHY	11
8.1	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – VÝHLEDOVÁ DOPRAVA	12
8.2	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV	13
8.3	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV	14
8.4	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ MEZI KOLEJÍ A ZEMÍ	15

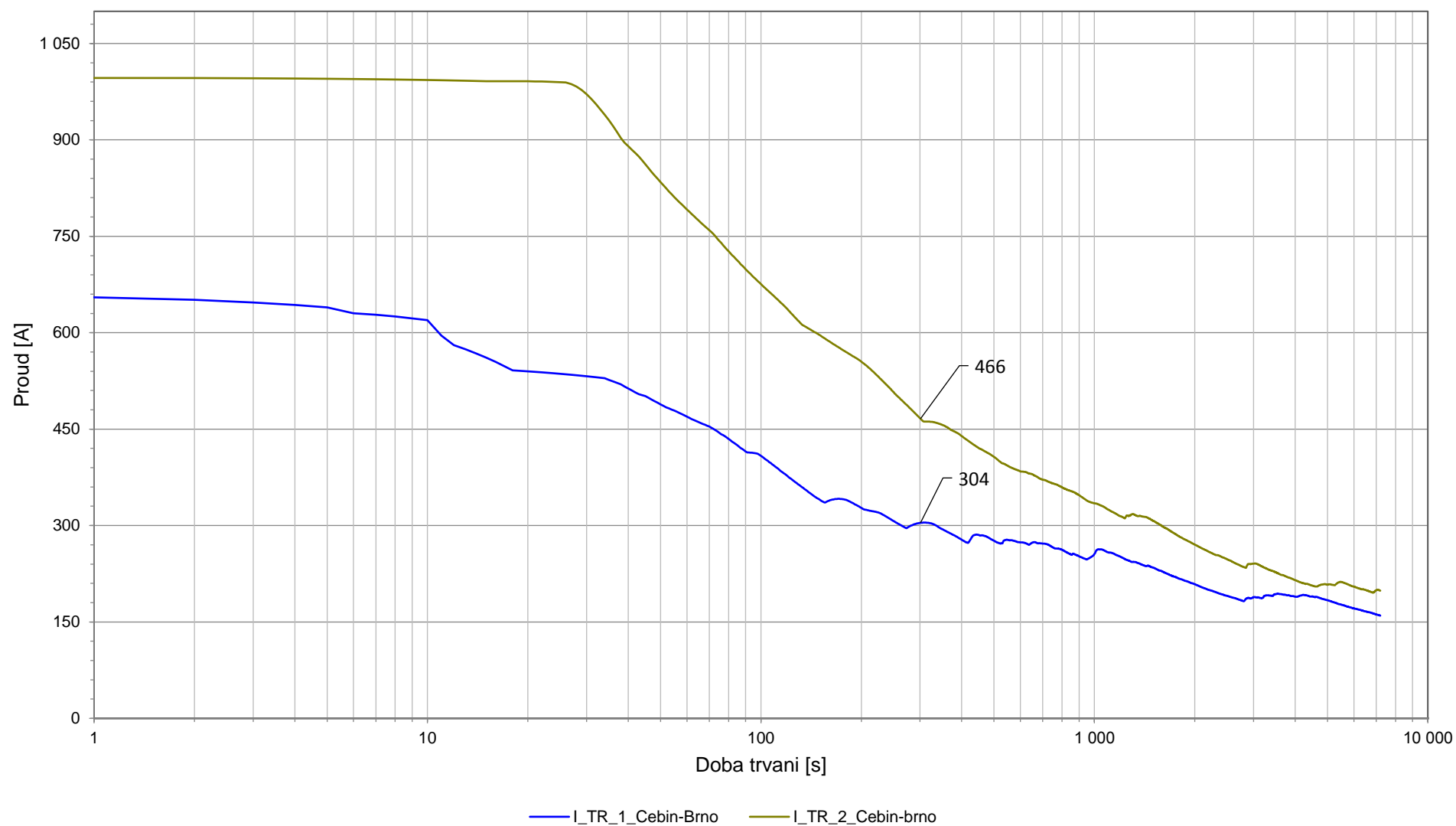
8.1 Modelový grafikon Brno - Kolín (6 h - 8h) – výhledová doprava



8.2 Minimální napětí TV



8.3 Proudové zatížení TV



8.4 Minimální napětí mezi kolejí a zemí

