



Jiná ověření:

Paré:

Orientační schéma:



Razítko oprávněné osoby:

Podpis:

Datum:

Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
P02	02.02.2022	Odevzdání dokumentace po připomínkách	Ing. Jiří Pelc

Stavebník/Investor:	<b>Správa železnic, státní organizace</b>		<b>SPRÁVA ŽELEZNIC</b>
Adresa:	Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1		
Zástupce investora:	Stavební správa východ		
Adresa:	Nerudova 1, 779 00 Olomouc		

Zhotovitel díla:	<b>SUDOP BRNO, spol. s r.o.</b>		<b>SUDOP BRNO</b>
Adresa:	Kounicova 26, 611 36 Brno		
Kontakt:	T: +420 972 625 804 E: sudop@sudop-brno.cz		
Zhotovitel objektu:	<b>SUDOP BRNO, spol. s r.o.</b>		<b>SUDOP BRNO</b>
Adresa:	Kounicova 26, 611 36 Brno		
Kontakt:	T: +420 972 625 804 E: sudop@sudop-brno.cz		
Hlavní projektant (HIP):	Ing. Jiří Pelc	Specialista:	Ing. Jiří Pelc

Název stavby/akce:	<b>Rekonstrukce žst. Vlkov u Tišnova</b>	Označení investora:	S621600244
		Označení zhotovitele:	21043-01-0522
Název části:	Trakční vedení	Označení části:	B.4.4
Název objektu/dílní části:	<b>Energetické výpočty</b>	Označení objektu/komplexu:	
Název přílohy:		Číslo přílohy:	
Název dílní části přílohy:			
Odpovědný projektant:	Zpracovatel přílohy:	Měřítka:	Stupeň dokumentace:
Jiří Podhradský	Ing. Ondřej Svoboda	Formáty:	<b>PDPS</b>
Kraj:	Katastrální území:	TUDU:	Smluvní datum zpracování:
Vysočina		2031 G1	<b>30.06.2022</b>

Označení investora:	Stupeň dokumentace:	Část:	Objekt:	Podoblast:	Příloha:	Revize:
S 6 2 1 6 0 0 2 4 4	-	P D P S	- B 4 4 X X	- X X X X X X X X X X	- X X	- X - X X X X - P 0 1

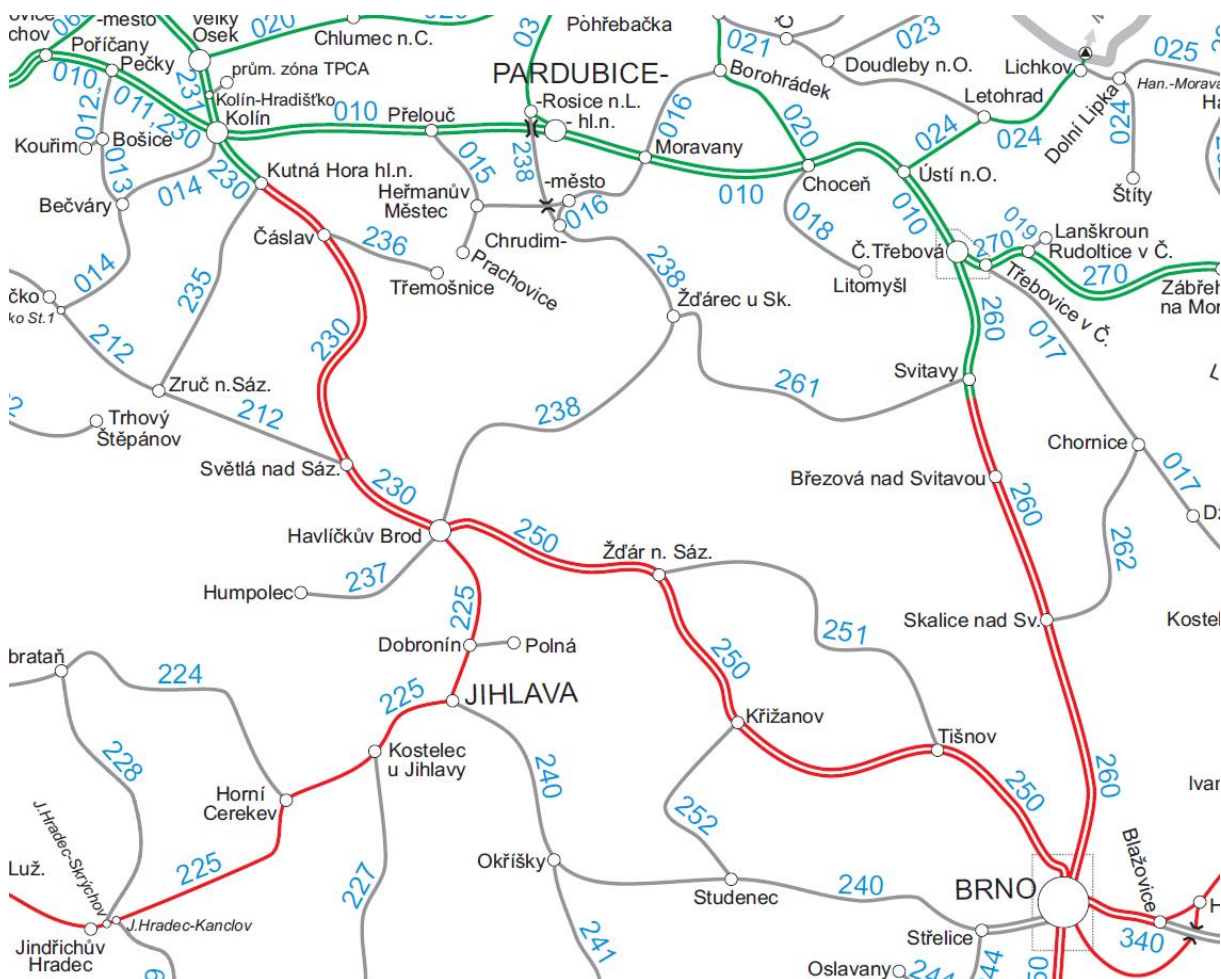
Prostor pro další informace

## 1 Obsah

<b>1</b>	<b>OBSAH .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>PODKLADY.....</b>	<b>3</b>
3.1	POUŽITÉ NORMY A PŘEDPISY .....	3
3.2	MODEL INFRASTRUKTURY, JÍZDNÍ ŘÁD A HV.....	3
<b>4</b>	<b>VSTUPNÍ DATA .....</b>	<b>4</b>
4.1	PARAMETRY AC SÍTĚ .....	4
4.2	PARAMETRY TRAKČNÍCH TRANSFORMOVEN (TT).....	4
4.3	PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ .....	5
4.4	PARAMETRY HNACÍCH VOZIDEL .....	7
<b>5</b>	<b>METODA VÝPOČTU.....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>11</b>
6.1	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV.....	11
6.2	REKUPERAČNÍ BRZDĚNÍ .....	11
6.3	OCHRANNÁ OPATŘENÍ PROTI NEDOVOLENÉMU POTENCIÁLU KOLEJNICE .....	12
6.4	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV A ZKRATOVÉ POMĚRY .....	12
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>13</b>
8.1	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – ODKLONOVÁ OSOBNÍ I NÁKLADNÍ DOPRAVA	14
8.2	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – ODKLONOVÁ NÁKLADNÍ DOPRAVA .....	15
8.3	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV.....	16
8.4	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV .....	17

## 2 Úvod

Tyto energetické výpočty řeší napájení úseku Křižanov – Vlkov u Tišnova a mají za cíl posoudit střídavé napájení AC 25kV 50Hz po celé délce řešeného úseku s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu – **trať 250. Základním podkladem pro výpočet je dopravní technologie, kde se uvažuje s odklonovou dopravou z železničního koridoru přes Českou Třebovou.** Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomoci programů OpenTrack a OpenPowerNet. Nyní je řešený úsek napájený střídavou proudovou soustavou AC 25 kV 50Hz, viz obrázky 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

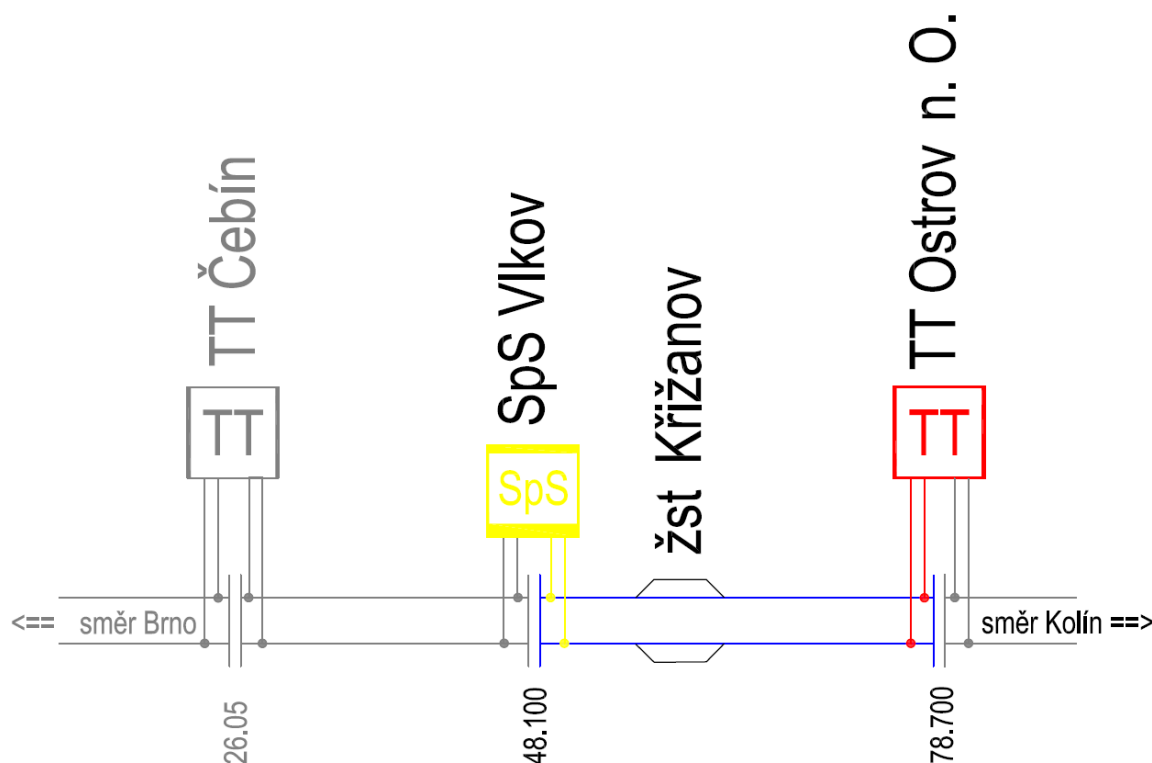
#### 3.2 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **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)
- TNS Ostrov n. O. v km 78,700 (Brno - Kolín)
- Rekuperace TNS umožňuje přetok energie zpět do sítě

Energetické výpočty

## 4.3 Parametry trakčního vedení

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

### 4.3.1 Parametry trakčního vedení – AC soustava

#### Vodiče

##### **Nosné lano 50Bz**

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

##### **Nosné lano 70Bz**

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

##### **Pravá kolejnice**

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

##### **Levá kolejnice**

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

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

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

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

- teplotní součinitel 0,004 °C<sup>-1</sup>
- uvažovaná teplota vodiče 60°C

**Napájecí vedení 120Cu**

- geometrická poloha [x ; y] [-4;6] m
- ekvivalentní poloměr<sup>4</sup> 4,685 mm
- činný odpor 0,150 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C<sup>-1</sup>
- 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 země<sup>5</sup> 0,01 S/k

**4.3.2 Parametry trakčního vedení – DC soustava**

Vodiče

**Nosné lano 120Cu**

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
- ekvivalentní poloměr<sup>6</sup> 4,685 mm
- činný odpor při 20°C 0,150 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C<sup>-1</sup>
- uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Trolej 150Cu**

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 5,6] m
- ekvivalentní poloměr 5,383 mm
- činný odpor při 20°C 0,122 Ω/km
- teplotní součinitel 0,00393 °C<sup>-1</sup>
- uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Zesilovací vedení 120Cu**

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
- ekvivalentní poloměr 4,685 mm
- činný odpor při 20°C 0,150 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C<sup>-1</sup>

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

<sup>5</sup> 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](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)“.

<sup>6</sup> Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry.

**Energetické výpočty**

- uvažovaná teplota vodiče 80°C

**Pravá kolejnice**

- geometrická poloha [x ; y] [0,7175 ; 0] m
- ekvivalentní poloměr 38,54 mm
- činný odpor <sup>7</sup> při 20°C 0,416 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C<sup>-1</sup>
- uvažovaná teplota vodiče 60°C

**Levá kolejnice**

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

**Osová vzdálenost dvou kolejí 4 m**

**země**

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; -715]m
- ekvivalentní poloměr 465 m
- činný odpor 0,001 Ω/km

Propojky

- Vzdálenost mezikolejnicových propojení jedné stopy 1 km
- Vzdálenost mezikolejových propojení na jedné trati 5 km
- Propojení zesilovacího vedení a troleje 100m
- Propojení troleje a nosného lana 1 000 S/km
- Propojení kolejnice a země<sup>8</sup> 0,01 S/km

#### 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

<sup>7</sup> Odpor kolejnice vychází ze změřených hodnot uvedených v dopise zn. 21480/2017-SŽDC-O14 pro tvar kolejnice UIC 60

<sup>8</sup> 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](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)“.

#### Energetické výpočty



- Lokomotiva 2x640 RegioPanter
- Os (2050 - 2062)**
- Jízdní odpor R
- Lokomotiva 650 RegioPanter + 640 RegioPanter
- Os (3001 - 3311 )**
- 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      |

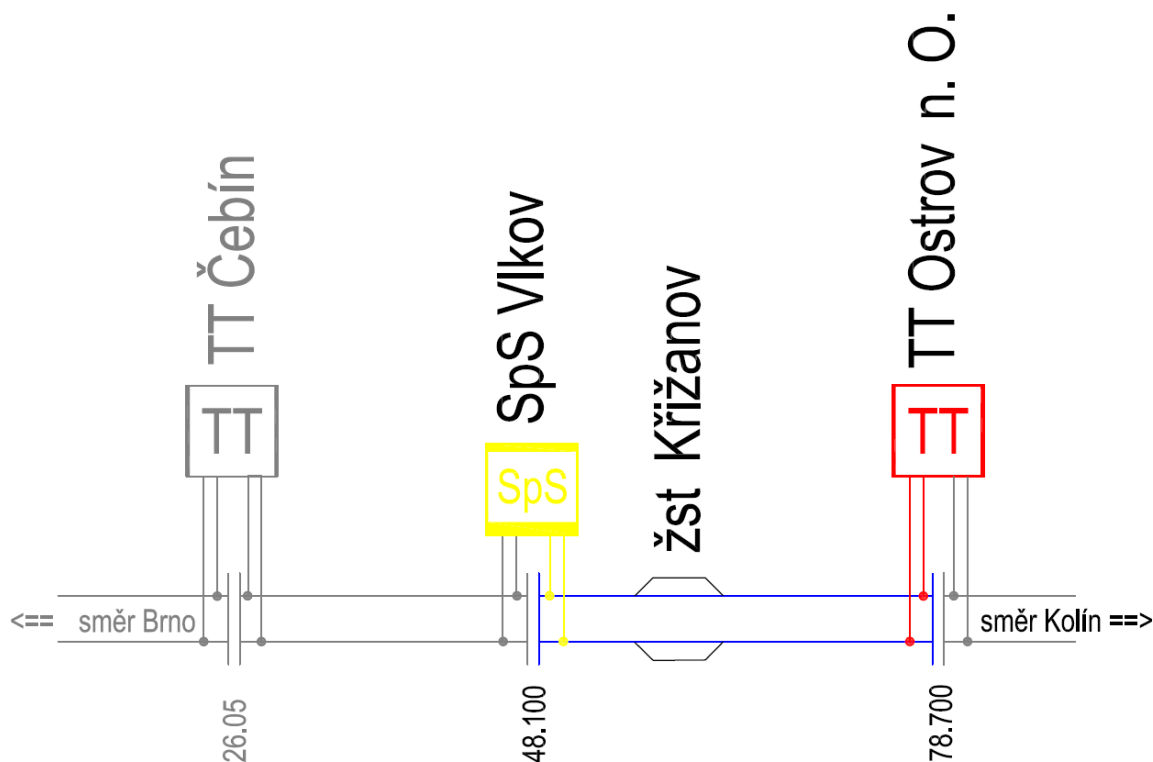
## 5 Metoda výpočtu

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 dvoukolejnou trať Křižanov – Vlkov uvažována střídavá napájecí soustavu AC 25 kV 50 Hz s trakční sestavou 100Cu + 50Bz. **Trať je napájena z TT Ostrov nad Oslavou po spínací stanici Vlkov u Tišnova. V případě výpočtu uvažujeme spínací stanici Vlkov u Tišnova rozepnutou ve všech směrech.**



### 6.1 Minimální napětí TV

Průběhy minimálního napětí TV jsou zobrazeny v příloze 8.3.

Minimální napětí v tomto střídavě napájeném úseku nekleslo pod 20 kV, tato hodnota byla zjištěna na konci jednostranně napájeného úseku z TT Ostrov nad Oslavou v žst. Vlkov u Tišnova.

### 6.2 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.

### 6.3 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.

### 6.4 Proudové zatížení TV a zkratové poměry

Průběh proudového zatížení napájecího vedení je v příloze číslo 8.4.

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 u všech provozních stavů.

## 7 Závěr

Z energetických výpočtů vyplývá dostatečné dimenzování střídavé trakční proudové sestavy 100Cu+50Bz, tedy přenesení požadovaného výkonu a splnění požadavků TSI ENE.

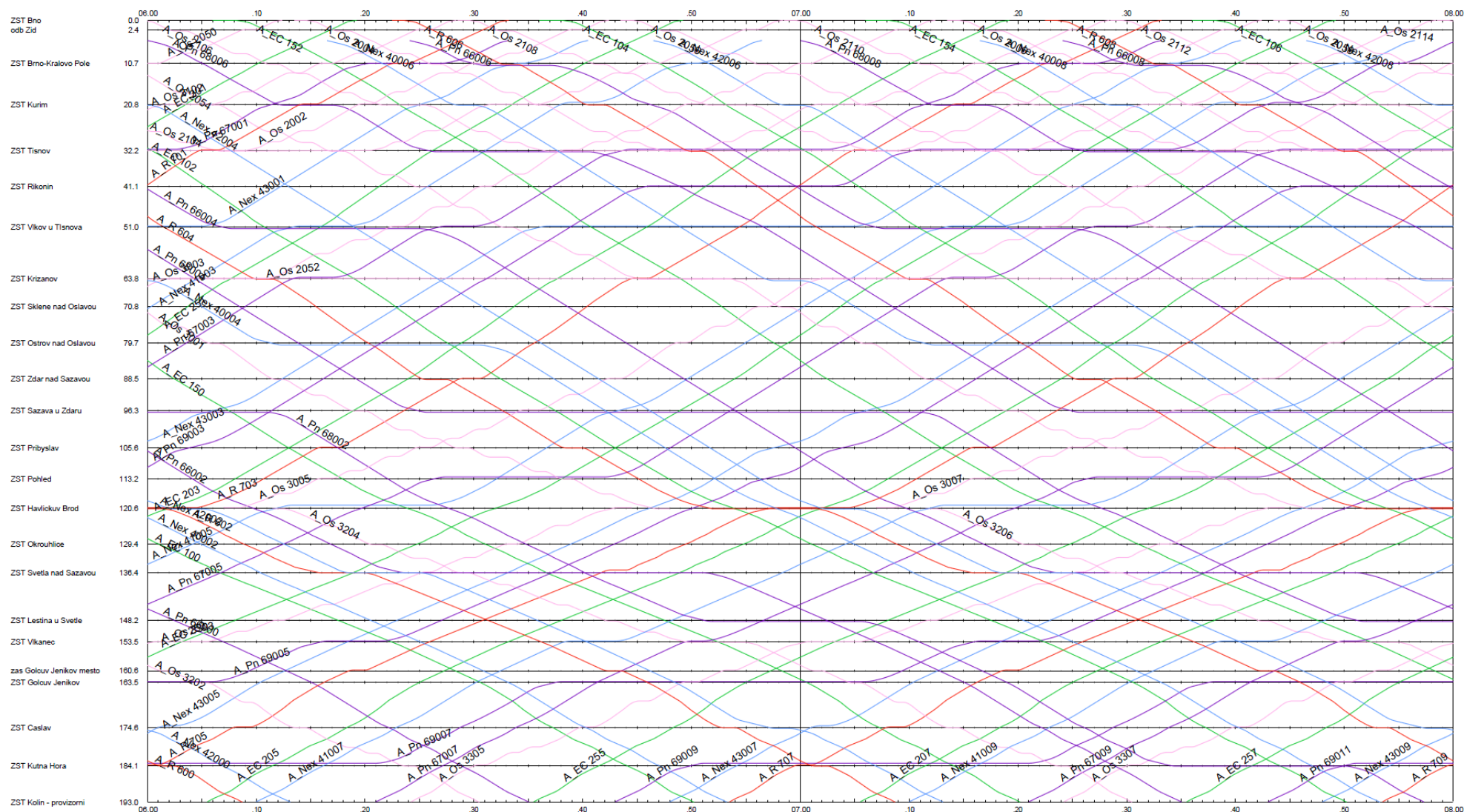
Kontroloval:  
Jiří Podhradský

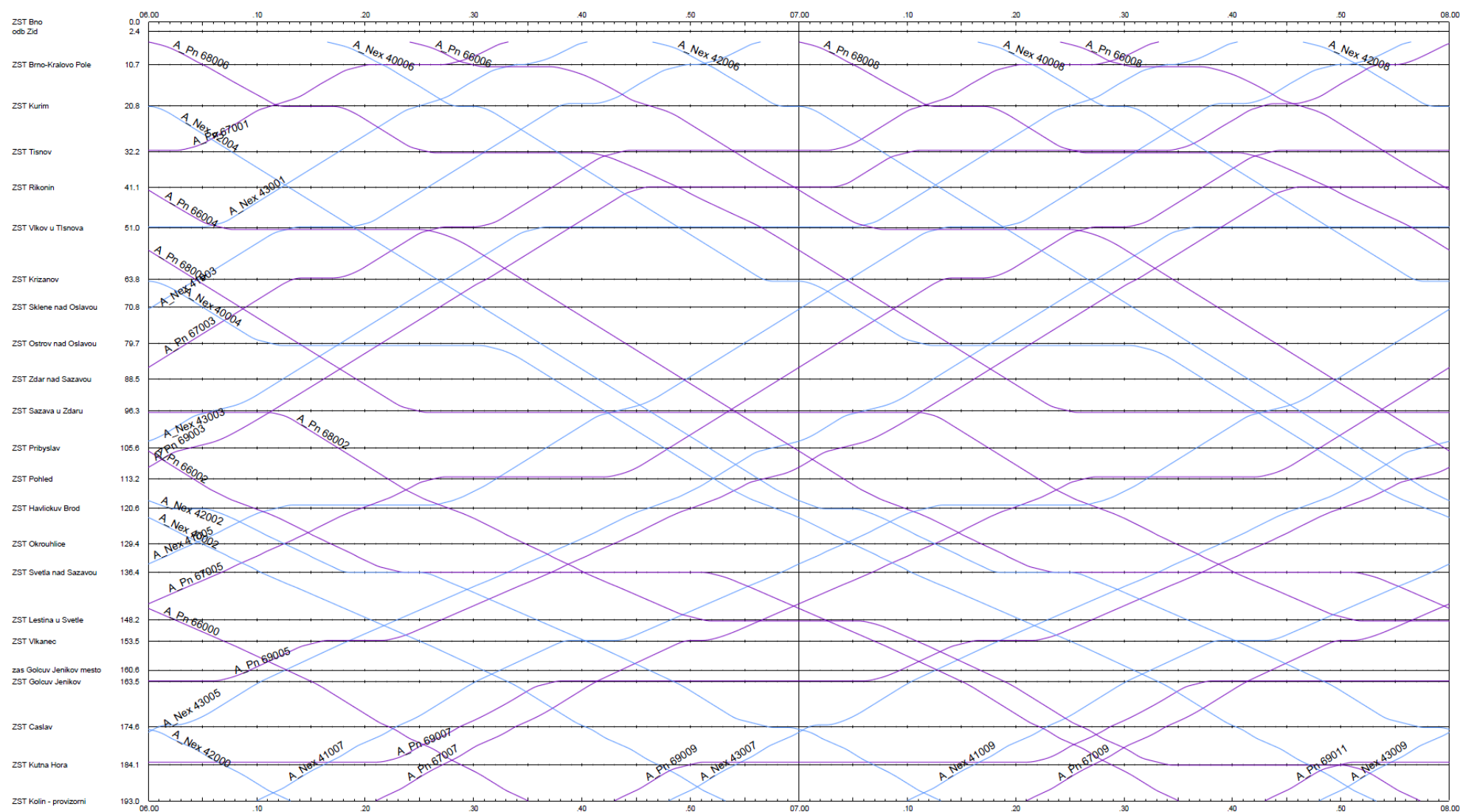
Zpracoval:  
Ing. Ondřej Svoboda

## 8 Přílohy

<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>13</b>
8.1	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – ODKLONOVÁ OSOBNÍ I NÁKLADNÍ DOPRAVA	14
8.2	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – ODKLONOVÁ NÁKLADNÍ DOPRAVA .....	15
8.3	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV .....	16
8.4	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV .....	17

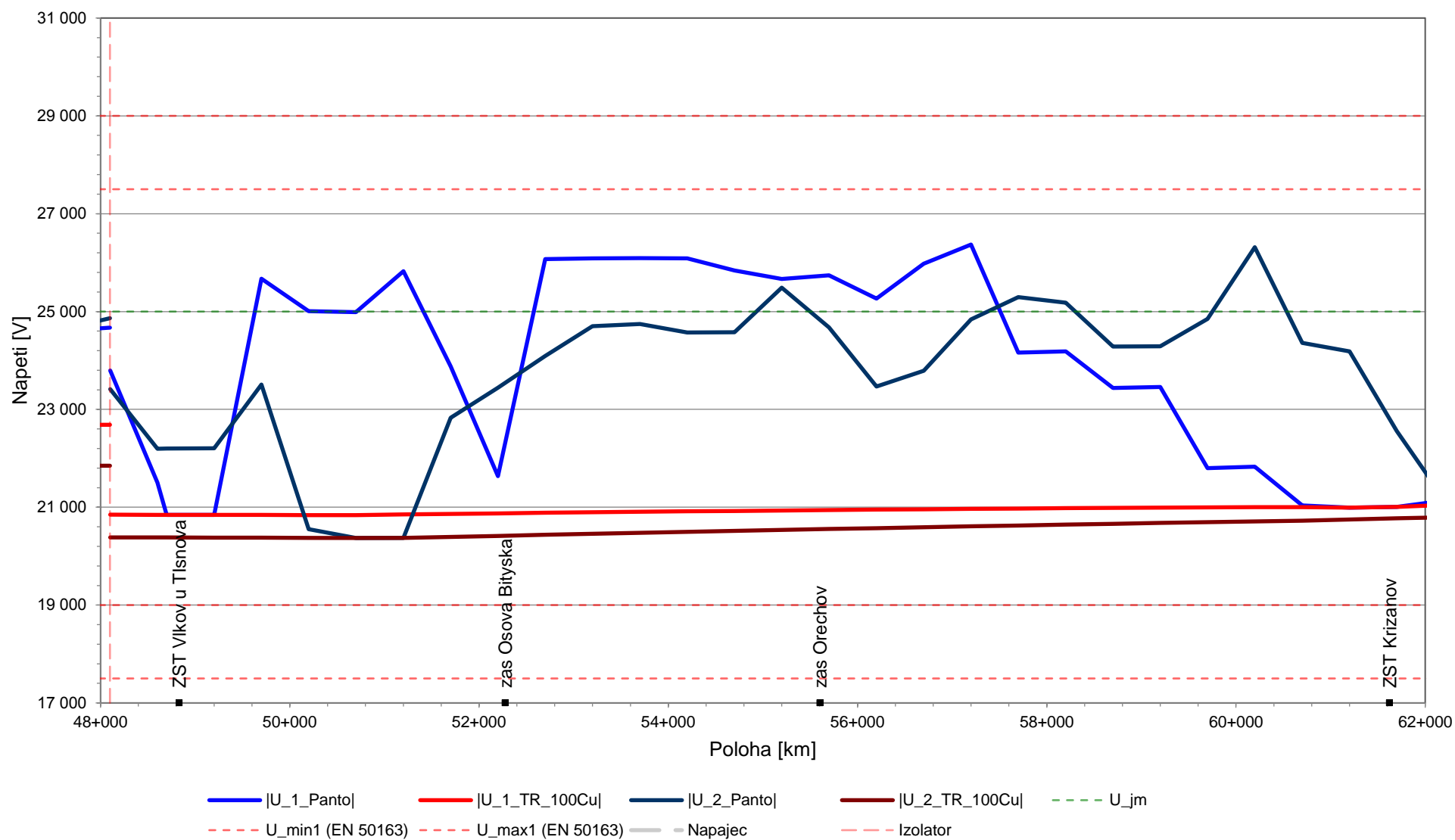
## 8.1 Modelový grafikon Brno - Kolín (6 h - 8h) – odklonová osobní i nákladní doprava







### 8.3 Minimální napětí TV



## 8.4 Proudové zatížení TV

