

# Studie proveditelnosti změny trakce z DC 3 kV na AC 25 kV, 50 Hz v oblasti „Ostravsko a Přerovsko“

## A.3 Energetické výpočty - simulace

### A.3.1 Energetické výpočty – varianta Bez projektu

#### ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Název: **Studie proveditelnosti změny trakce z DC 3 kV na AC 25 kV, 50 Hz v oblasti „Ostravsko a Přerovsko“**

Stupeň: studie proveditelnosti

Objednatel: **Správa železnic, státní organizace**  
**Stavební správa východ, Nerudova 1, 772 58 Olomouc**

Zakázkové číslo: 18009-01-0519  
Termín odevzdání: 4/2020



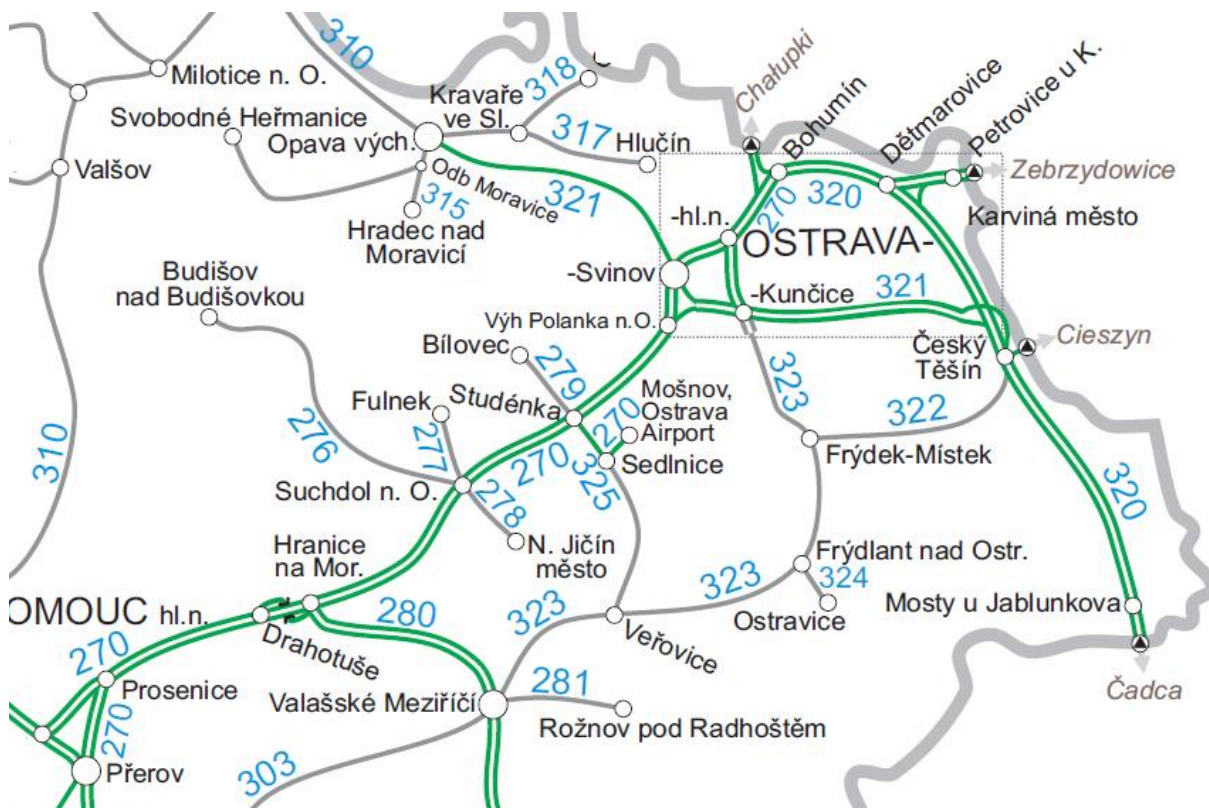
Zpracovatel:	SUDOP BRNO, spol. s r.o. Kounicova 26, 611 36 Brno
Generální ředitel:	Ing. Kamil Chmela
Odpovědný projektant zakázky:	Ing. Jiří Pelc
Navrhl, vypracoval:	Ing. Ondřej Svoboda

## 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>2</b>
3.1	POUŽITÉ NORMY A PŘEDPISY .....	2
3.2	MODEL INFRASTRUKTURY, JÍZDNÍ ŘÁD A HV.....	3
<b>4</b>	<b>VSTUPNÍ DATA .....</b>	<b>4</b>
4.1	PARAMETRY DC SÍTĚ .....	4
4.2	PARAMETRY TRAKČNÍCH MĚNÍREN (TM) .....	4
4.3	PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ .....	5
4.4	PARAMETRY HNACÍCH VOZIDEL .....	6
<b>5</b>	<b>METODA VÝPOČTU.....</b>	<b>8</b>
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>9</b>
6.1	SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	10
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>10</b>

## 2 Úvod

Tyto energetické výpočty mají za cíl posoudit stejnosměrné trakční vedení DC 3 kV po celé délce řešeného úseku (Přerov-Ostrava-Čadca) s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu. Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomoci programů OpenTrack a OpenPowerNet. Nyní je řešený úsek napájený stejnosměrnou proudovou soustavou DC 3kV, viz obrázek níže.



Do simulace byly zahrnuta trať 320,321,270,321.

## 3 Podklady

Celá simulace byla provedena v programu OpenTrack, kde je namodelována 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

Energetické výpočty

- Nařízení komise (EU) č. 1301/2014
- Předpis SŽDC (ČSD) SR 34(E) s úpravou dle dopisu zn.: 21480/2017-SŽDC-O14

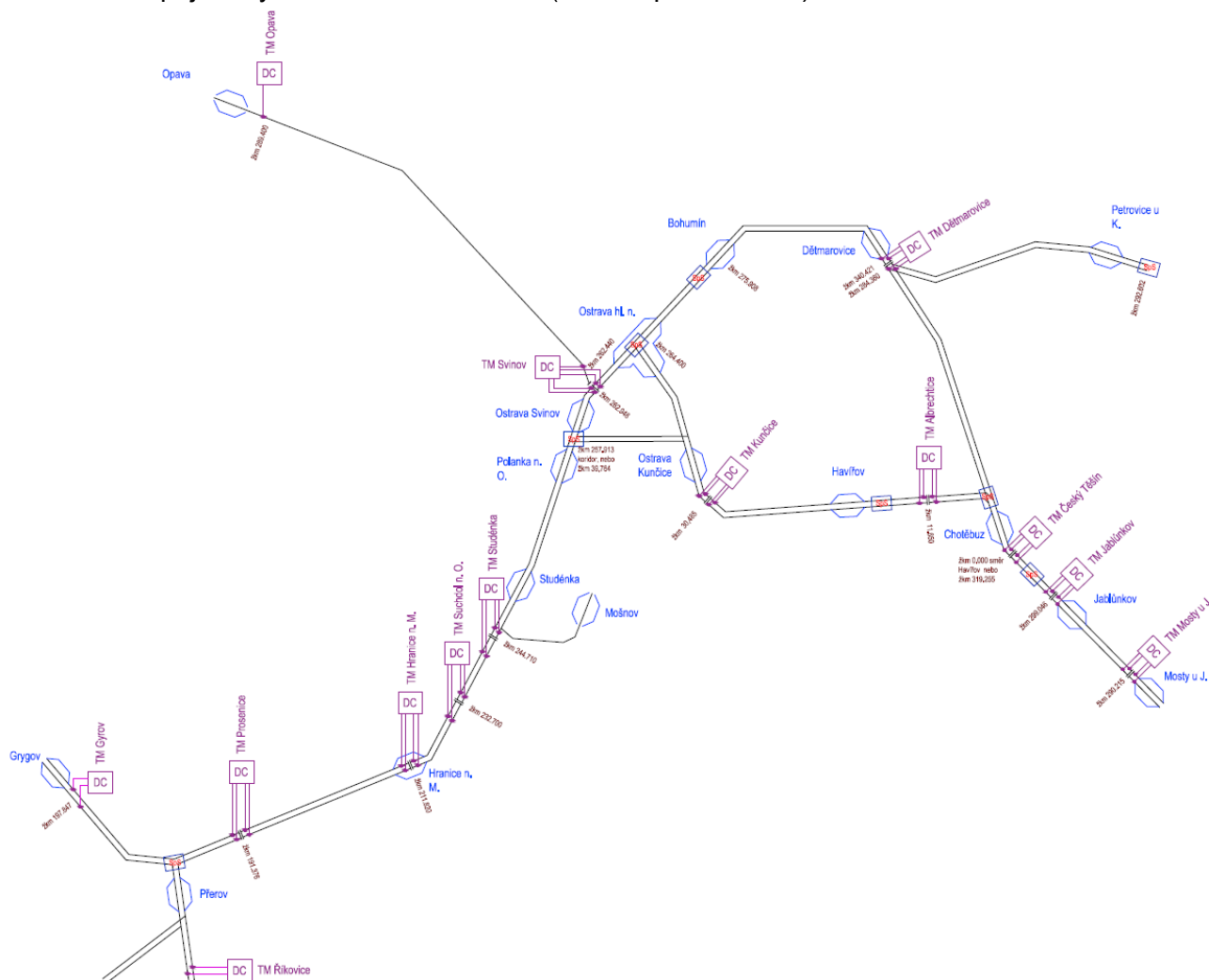
### 3.2 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **Koleje**  
Niveleta koleje byla převzata od zadavatele a odpovídá stávajícímu stavu. Stejně tak byly převzaty polohy výhybek a nástupišť.
- **Jízdní řád**  
Byl zpracován po konzultaci s dopravním technologem objednatele a na základě toho byl vybrán nejhorší možný stav.
- **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.
- **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 (detail v příloze B.11):



### 4.1 Parametry DC sítě

- Napětí 3 kV
- Frekvence 0 Hz

### 4.2 Parametry trakčních měření (TM)

- Výstupní napětí 3,3 kV
- Vnitřní odpor 0,044  $\Omega$
- Úbytek napětí 0,005 kV při 0,001  $\Omega$

### 4.3 Parametry trakčního vedení

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

#### Vodiče

##### **Nosné lano 120Cu**

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
- ekvivalentní poloměr<sup>1</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>
- uvažovaná teplota vodiče 80°C

##### **Pravá kolejnice**

- geometrická poloha [x ; y] [0,7175 ; 0] m
- ekvivalentní poloměr 38,54 mm
- činný odpor <sup>2</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
- 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

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

<sup>2</sup> Odpor kolejnice vychází ze změřených hodnot uvedených v dopise zn. 21480/2017-SŽDC-O14 pro tvar kolejnice UIC 60

- |  |            |
|--|------------|
| • 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>3</sup>            | 0,01 S/km  |

#### 4.4 Parametry hnacích vozidel

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

##### EC

- Zdvojená univerzální elektrická jednotka
- Jízdní odpor R

##### EC

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

##### NEx

- Hmotnost bez lokomotivy 1800t
- Jízdní odpor S
- Lokomotiva Vectron

##### Pn

- Hmotnost bez lokomotivy 2400t
- Jízdní odpor S
- Lokomotiva Vectron

##### R

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

##### SC

- Jízdní odpor R
- Lokomotiva ICE 7

##### NEx

- Hmotnost bez lokomotivy 2400t
- Jízdní odpor S
- Lokomotiva Vectron

##### Os

- RegioPanter 640
- Jízdní odpor R

<sup>3</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)“.

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

**Vectron**

- |                               |        |
|-------------------------------|--------|
| • Maximální výkon             | 6,4 MW |
| • Maximální tažná síla        | 300 kN |
| • Max. napětí při rekuperaci  | 3,6 kV |
| • Regulace výkonu dle TSI ENE | ano    |

**640 RegioPanter**

- |                               |         |
|-------------------------------|---------|
| • Maximální výkon             | 2,04 MW |
| • Maximální tažná síla        | 196 kN  |
| • Max. napětí při rekuperaci  | 3,6 kV  |
| • Regulace výkonu dle TSI ENE | ne      |

**ICE 7**

- |                               |         |
|-------------------------------|---------|
| • Maximální výkon             | 4,95 MW |
| • Maximální tažná síla        | 264 kN  |
| • Max. napětí při rekuperaci  | 3,6 kV  |
| • Regulace výkonu dle TSI ENE | ano     |



## 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.



TM	Maximální výkon	Maximální výhledový příkon	Maximální instalovaný výkon s redundancí	Rezervovaný příkon	
	MW	MW	MW	MW	
Jablůnkov	14,65	14,70	20	9,6	VYHOVÍ
Český Těšín	7,26	8,53	10	7,3	VYHOVÍ
Dětmarovice	7,27	12,10	10	6,5	NEVYHOVÍ
Albrechtice	5,51	9,59	5	4,4	NEVYHOVÍ
Ostrava - Kunčice	5,04	7,62	10	5,6	VYHOVÍ
Ostrava-Svinov	9,32	11,90	10	6,8	NEVYHOVÍ
Studénka	15,68	10,50	8,3	5,8	NEVYHOVÍ
Suchdol n. O.	8,42	10,85	10	8,1	NEVYHOVÍ
Hranice n. M.	15,7	11,30	15	6,8	NEVYHOVÍ
Prosenice	10,77	10,31	15	6,9	NEVYHOVÍ

Z daných výsledků je zřejmé, že jedním z omezení je nedostatečný rezervovaný i instalovaný výkon s redundancí daných trakčních měření, které tedy nejsou schopny dodat potřebný výkon pro výhledovou dopravu (viz příloha 7.3). Dalším omezením, které vyplynulo ze simulací je proudové zatížení trakčního vedení v meziměřínském úseku Prosenice – Hranice na Moravě. Zatížení trakčního vedení v tomto úseku dosahuje až 4700 A, zkratové ochrany v trakčních měřících Prosenice a Hranice na Moravě tedy musí vybavit, protože jsou nastaveny na minimální hodnotu zkratového proudu 3000 A. V důsledku toho dojde k zastavení dopravy na dané koleji (viz příloha 7.2).

Z výsledků vyplývá, že stávající systém stejnosměrného napájení bude omezující pro budoucí dopravu. Při simulaci dopravní špičky docházelo k prodlužování jízdních dob nákladních i osobních vlaků – průměrně 30s (viz příloha 7.1). Pokud bychom v simulaci uvažovali starší lokomotivy bez automatické regulace výkonu vlaku, tak by docházelo k výpadkům napájení vlivem podpětí.

## 6.1 Spotřeba elektrické energie

Celková průměrná roční spotřeba elektrické energie pro řešenou oblast ve variantě Bez projektu byla spočtena z naměřených výkonových dat z let 2012 – 2018 s uvažováním navýšení dopravy v jednotlivých napájených úsecích proudovou soustavou DC 3 kV. **Stanovená hodnota je 327 374 MW/rok.**

## 7 Závěr

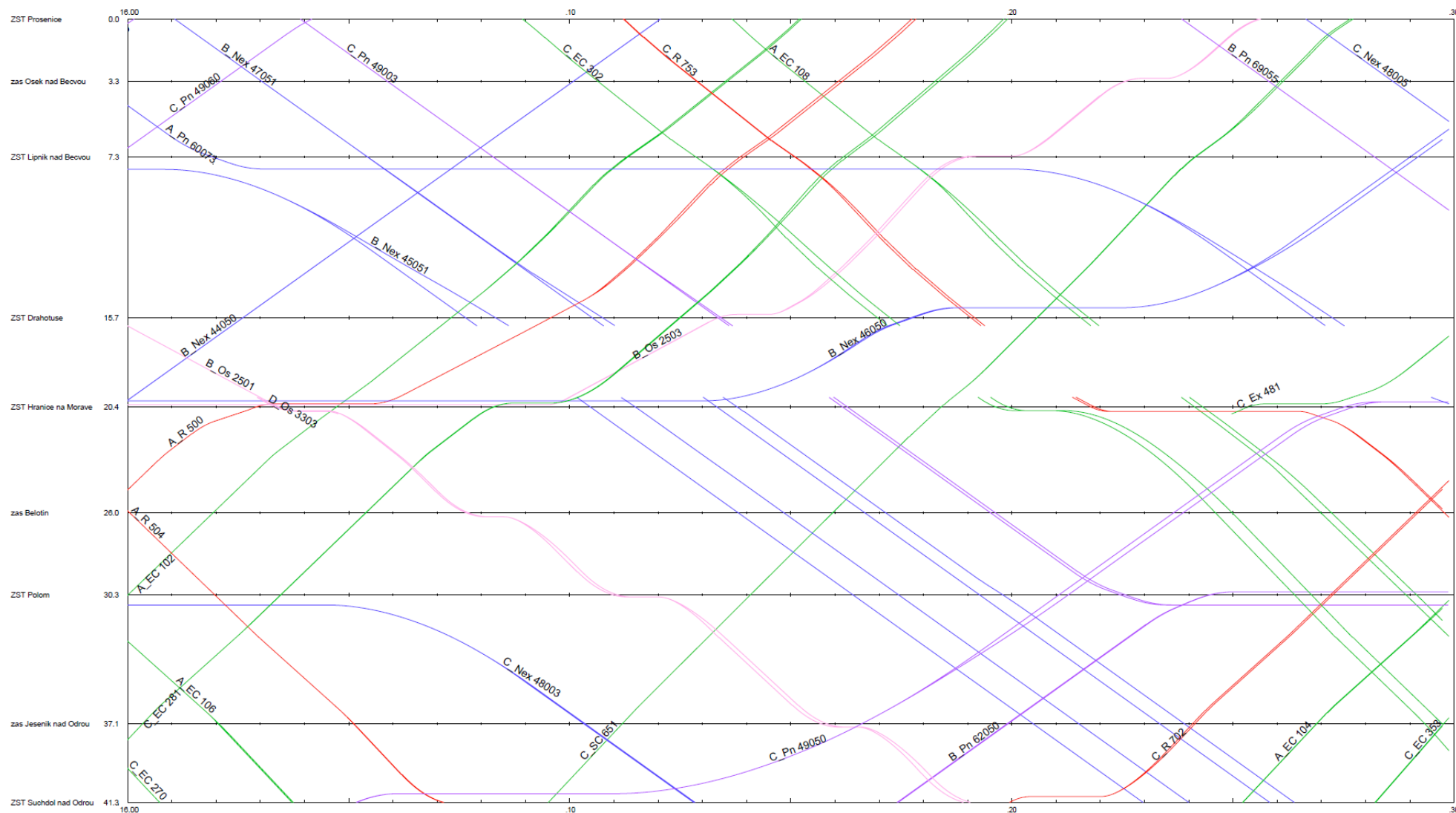
Z výsledků vyplývá, že stávající systém stejnosměrného napájení bude omezující pro budoucí dopravu. Při simulaci dopravní špičky docházelo k prodlužování jízdních dob nákladních i osobních vlaků – průměrně 30s (viz příloha 8.1). Pokud bychom v simulaci uvažovali starší lokomotivy bez automatické regulace výkonu vlaku, tak by docházelo k výpadkům napájení vlivem podpětí.

Kontroloval:  
Jiří Podhradský

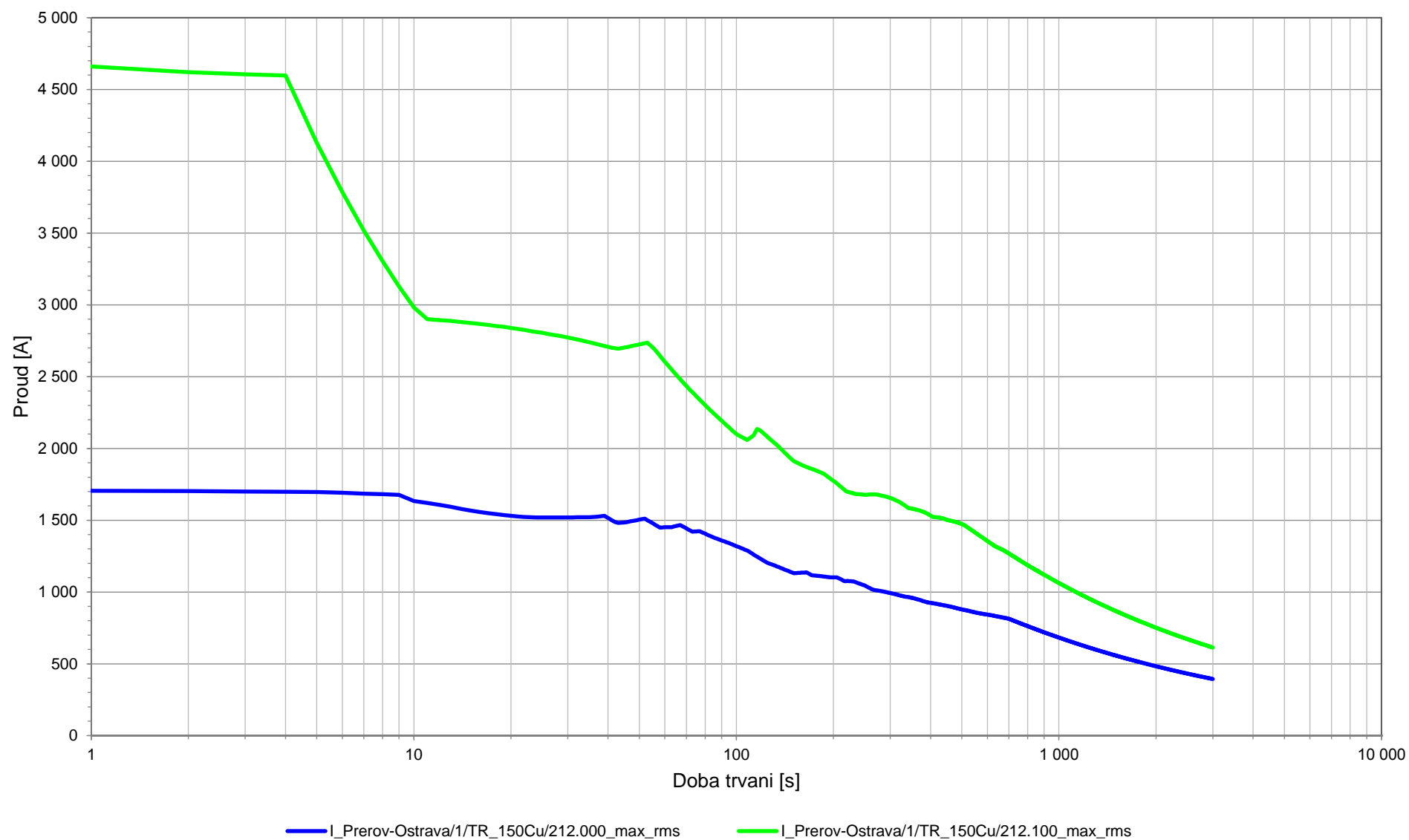
Zpracoval:  
Ing. Ondřej Svoboda

## 7.1 Modelový grafikon

ZST Prosenice - ZST Suchdol nad Odrou



## 7.2 Proudové zatížení napaječů v TM Hranice na Moravě



### 7.3 Průběh požadované a dostupné tažné síly v závislosti na poloze

