






## B.5

Číslo změny:	Obsah změny:	Datum změny:
01	-	-
02	-	-
03	-	-

<b>Objednatel:</b> 	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace Dlážďená 1003/7 110 00 Praha 1
---	--

<b>Generální projektant:</b> 	SUDOP PRAHA a.s. Olšanská 1a, 130 80 Praha 3 tel.: +420 267 094 111 e-mail: praha@sudop.cz	<b>Hlavní inženýr projektu:</b> ING. MIROSLAV KRSEK  <b>Garant profese:</b> -
---	---	---

<b>Zpracovatel části:</b>  <b>SUDOP BRNO, spol. s r.o.</b> <b>Kounicova 26</b> <b>611 36 Brno</b>			
<b>Vedoucí střediska:</b> Ing. Jiří Pelc 	<b>Odpovědný projektant SO, IO, PS:</b> Jiří Podhradský 	<b>Vypracoval:</b> Ondřej Svoboda	<b>Kontroloval:</b> Ing. Jiří Pelc 

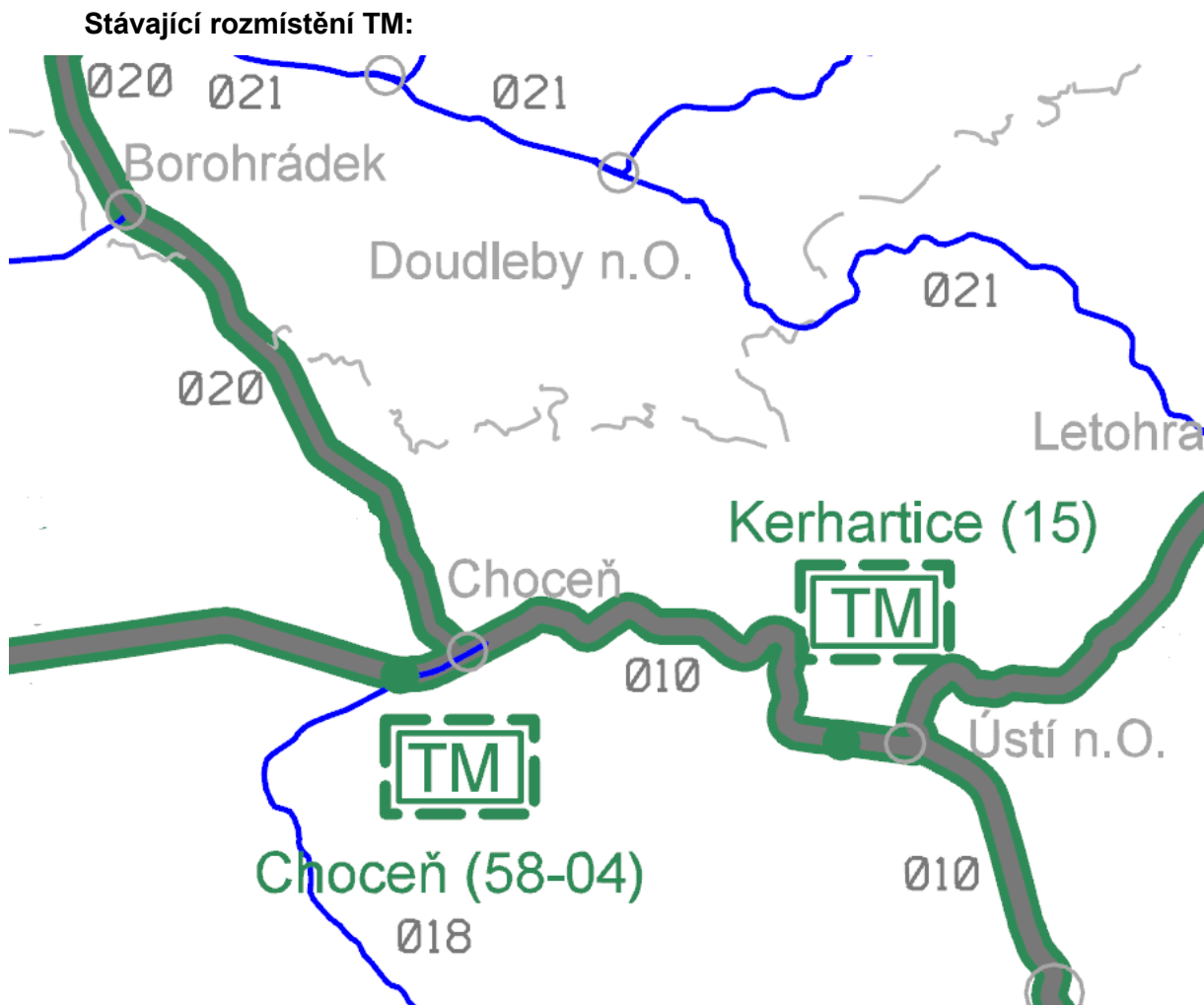
<b>Název akce:</b>  <b>Ústí n. O. - Brandýs n. O. - původní stopa, BC</b>	<b>Číslo smlouvy:</b> 18-264.250
<b>Část:</b>  <b>ENERGETICKÉ VÝPOČTY</b>	<b>Projektový stupeň:</b> DSP
	<b>Datum:</b> 08/2019
	<b>Číslo části:</b> B.5

## 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
	PARAMETRY TRAKČNÍ MĚNÍRNY CHOCEŇ .....	4
	PARAMETRY TRAKČNÍ MĚNÍRNY KERHARTICE .....	4
4.3	PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ .....	5
4.4	PARAMETRY HNACÍCH VOZIDEL .....	6
<b>5</b>	<b>METODA VÝPOČTU .....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>7</b>
6.1	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV .....	8
6.2	PARAMETRY VZTAHUJÍCÍ SE K VÝKONNOSTI NAPÁJECÍ SOUSTAVY .....	8
6.3	PROUDOVÁ ZATÍŽITELNOST STŘÍDAVÉ SOUSTAVY, STOJÍCÍ VLAKY .....	11
6.4	REKUPERAČNÍ BRZDĚNÍ .....	11
6.5	OPATŘENÍ PRO KOORDINACI ELEKTRICKÉ OCHRANY .....	11
6.6	NAPÁJECÍ VEDENÍ .....	11
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>13</b>
8.1	MODELOVÝ GRAFIKON ÚSTÍ N. O. - CHOCEŇ .....	14
8.2	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV .....	15
8.3	NAPĚTÍ MEZI KOLEJNICÍ A ZEMÍ .....	16
8.4	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ NAPAJEČŮ A SBĚRNICE .....	17
8.5	VÝKONOVÉ ZATÍŽENÍ TRAKČNÍCH MĚNÍREN .....	21

## 2 Úvod

Tyto energetické výpočty řeší napájení úseku Ústí nad Orlicí – Choceň a mají za cíl navrhnout **stejnoseměrné trakční vedení** DC 3 kV v úseku od TM Kerhartice po žst Brandýs nad Orlicí s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu v meziměřírenském úseku TM Kerhartice – TM Choceň. TM Kerhartice a TM Choceň se v modelu uvažují jako stejnoseměrné napájecí měnirny, které napájí daný úsek proti sobě. Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomoci programů OpenTrack a OpenPowerNet. Nyní je řešený úsek napájený stejnoseměrnou proudovou soustavou DC 3kV, viz obrázek níže.



## 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) SR 34(E) s úpravou dle dopisu zn.: 21480/2017-SŽDC-O14

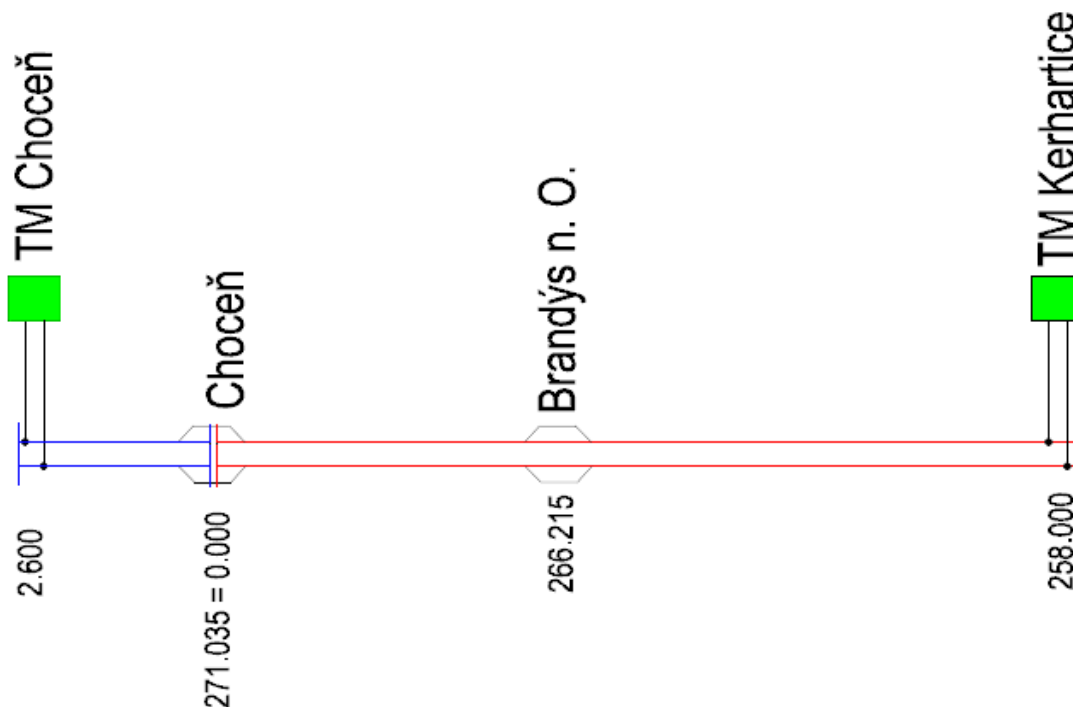
### 3.2 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **Koleje**  
Niveleta koleje byla převzata od objednatele a odpovídá zpracovaným projektům (výhledovému stavu). 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 Ex, Pn se uvažuje s lokomotivou typu Vectron. U vlaků kategorie Os se uvažuje s elektrickou soupravou 640 RegioPanter a u vlaků typu R uvažujeme lokomotivu typu RegioPanter a vlaků typu Pendolino uvažujeme lokomotivu ICE 7.
- **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 DC sítě

- Napětí 3 kV
- Frekvence 0 Hz

### 4.2 Parametry trakčních měření (TM)

#### Parametry trakční měřírny Chocень

- Výstupní napětí 3,3 kV
- Vnitřní odpor 0,044  $\Omega$
- Úbytek napětí 0,005 kV při 0,001  $\Omega$
- Poloha v km 2.600

#### Parametry trakční měřírny Kerhartice

- Výstupní napětí 3,3 kV
- Vnitřní odpor 0,044  $\Omega$
- Úbytek napětí 0,005 kV při 0,001  $\Omega$
- Poloha v km 258.000

### 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 0,0416 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 0,0416 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

- |  |            |
|--|------------|
| • 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:

##### Ex

- |                           |         |
|---------------------------|---------|
| • Hmotnost bez lokomotivy | 700t    |
| • Jízdní odpor            | R       |
| • Lokomotiva              | Vectron |

##### Pn

- |                           |                |
|---------------------------|----------------|
| • Hmotnost bez lokomotivy | 2400t          |
| • Jízdní odpor            | T <sub>4</sub> |
| • Lokomotiva              | Vectron        |

##### Os,R

- |                |     |
|----------------|-----|
| • RegioPanter  | 640 |
| • Jízdní odpor | R   |
| •              |     |

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 |
| • Skutečný účinník            | 0,98   |
| • 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  |
| • Skutečný účinník            | 0,98    |
| • Regulace výkonu dle TSI ENE | ne      |

<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)“.

## 5 Metoda výpočtu

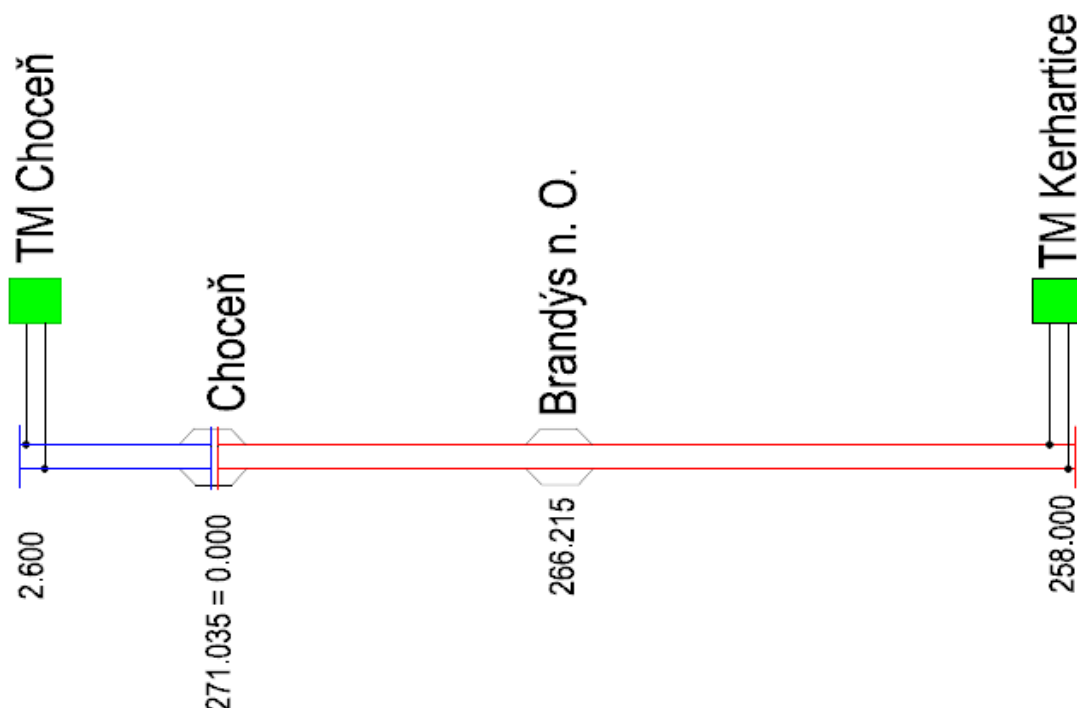
Výpočet byl proveden v programu OpenPowerNet, který paralelně spolupracuje s programem OpenTrack. Celý výpočet by se dal zjednodušeně popsat v následujících pěti bodech:

- 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

Bylo provedeno několik simulací a výsledky prokázaly schopnost navrženého trakčního vedení přenést potřebný výkon v rámci celé řešené oblasti.

Ve výpočtu se uvažuje napájení z TM Kerhartice proti TM Choceň. V základním stavu uvažujeme stejnosměrnou trakční sestavu s jedním zesilovacím vedením (150Cu + 120Cu + 120Cu) po celé délce, tedy v žkm 258.000(TM Kerhartice) - žkm 2.600 ( TM Choceň).



### 6.1 Minimální napětí TV

Minimální napětí této konfigurace trakční sestavy nekleslo pod 2,2kV (viz příloha č. 8.2)

### 6.2 Parametry vztahující se k výkonnosti napájecí soustavy

Pevná trakční zařízení umožní splnit nejnáročnější podmínky, jak jsou specifikovány ve stanoveném jízdním řádu, pro:

- dobu s nejhustším provozem podle jízdního řádu, odpovídající špičkovému provozu
- charakteristiky různých použitých typů vlaků se zřetelem na zvolené hnací jednotky

Uvažovaný grafikon je v příloze č 8.1.

#### Maximální proud vlaku

Subsystém energie je navržen tak, aby zaručil schopnost napájení dosáhnout stanovené výkonnosti a umožnil provoz vlaků o výkonu menším než 2MW bez omezení příkonu nebo proudu .

#### Střední užitečné napětí

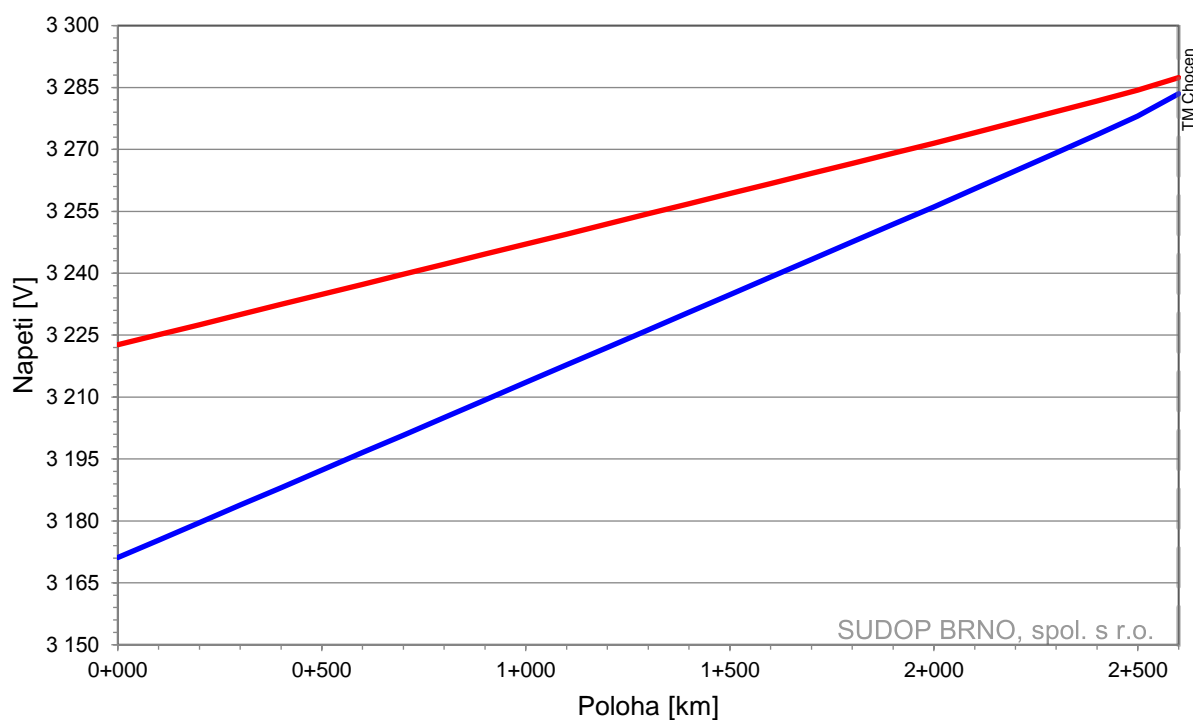
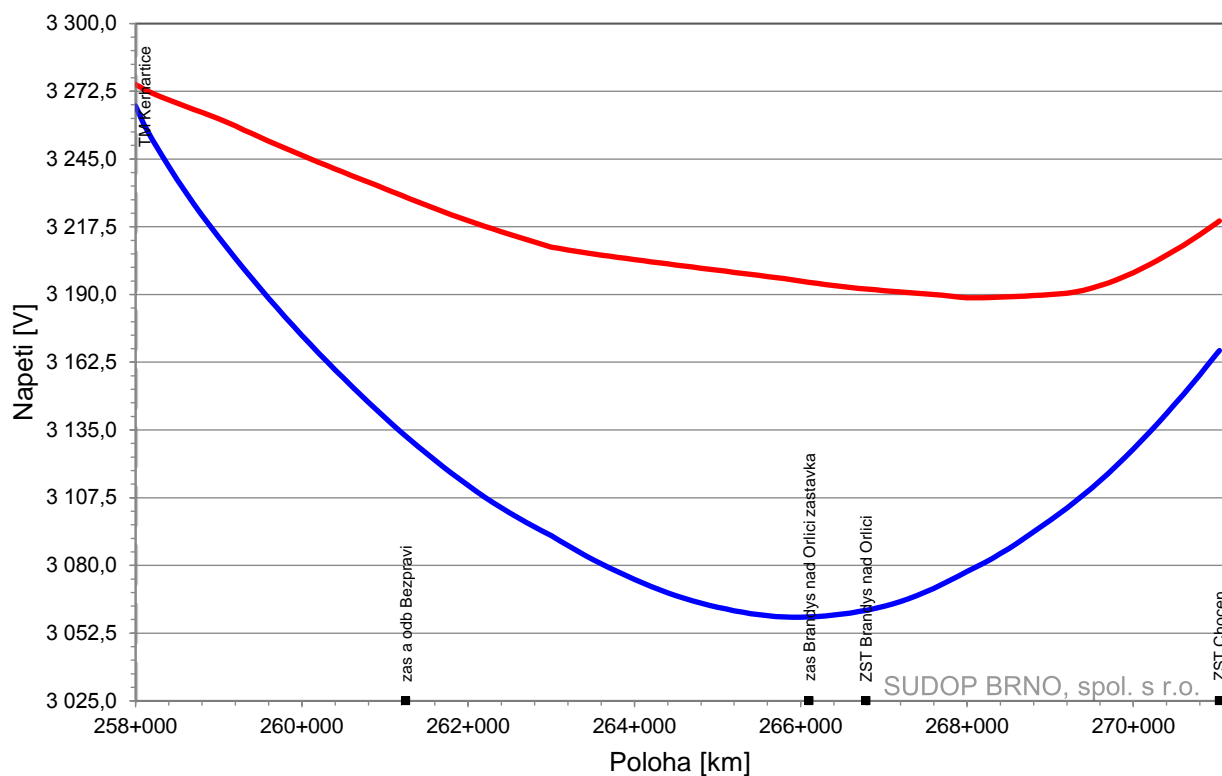
Index kvality  $U_{\text{střední užitečné}}$  je vypočítán simulací. Minimální střední užitečné napětí na pantografovém sběrači nesmí klesnout pod 2,7 kV.

Tabulka 1 Střední užitečné napětí vlaku – úsek Ústí nad Orlicí – Choceň

spoj	formace	lokomotivy	$U_{\text{stř}}$ V
<b>celkem</b>		<b>66</b>	<b>3.135</b>
<i>Maximum</i>		<b>3</b>	<b>3.229</b>
<i>Minimum</i>		<b>1</b>	<b>2.858</b>
E_EX 400	EX (Vectron+R700t)	1	3.186
E_EX 402	EX (Vectron+R700t)	1	3.188
E_EX 410	EX (Vectron+R700t)	1	3.102
E_EX 412	EX (Vectron+R700t)	1	3.133
E_EX 420	EX (Vectron+R700t)	1	3.060
E_EX 422	EX (Vectron+R700t)	1	3.141
E_EX 430	EX (Vectron+R700t)	1	3.082
E_EX 432	EX (Vectron+R700t)	1	3.149
E_EX 440	EX (Vectron+R700t)	1	3.120
E_EX 442	EX (Vectron+R700t)	1	3.122
E_EX 501	EX (Vectron+R700t)	1	3.165
E_EX 503	EX (Vectron+R700t)	1	3.177
E_EX 511	EX (Vectron+R700t)	1	3.138
E_EX 513	EX (Vectron+R700t)	1	3.134
E_EX 521	EX (Vectron+R700t)	1	3.137
E_EX 523	EX (Vectron+R700t)	1	3.139
E_EX 531	EX (Vectron+R700t)	1	3.138
E_EX 533	EX (Vectron+R700t)	1	3.138
E_EX 541	EX (Vectron+R700t)	1	3.067
E_EX 543	EX (Vectron+R700t)	1	3.069
E_Os 2000	Os (2*640)	2	3.063
E_Os 2002	Os (2*640)	2	3.081
E_Os 2004	Os (2*640)	2	3.087

E_Os 2200	Os (2*640)	2	3.097
E_Os 2202	Os (2*640)	2	3.121
E_Os 2301	Os (1*640)	1	3.072
E_Os 2303	Os (1*640)	1	3.129
E_Pn 60002	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.077
E_Pn 60004	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.866
E_Pn 60006	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.858
E_Pn 60008	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.975
E_Pn 60010	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.929
E_Pn 60012	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.975
E_Pn 60014	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.999
E_Pn 60016	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.988
E_Pn 60018	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.950
E_Pn 60020	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	2.873
E_Pn 61001	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.118
E_Pn 61003	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.193
E_Pn 61005	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.118
E_Pn 61007	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.161
E_Pn 61009	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.229
E_Pn 61011	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.096
E_Pn 61013	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.088
E_Pn 61015	Pn (Vectron T4 2400 t)	1	3.073
E_R 800	R (3*640)	3	3.179
E_R 802	R (3*640)	3	3.187
E_R 901	R (3*640)	3	2.947
E_R 903	R (3*640)	3	3.115
E_SC 600	SC Pendolino 2 (ICE7)	1	3.071
E_SC 602	SC Pendolino 2 (ICE7)	1	3.070
E_SC 701	SC Pendolino 2 (ICE7)	1	3.189
E_SC 703	SC Pendolino 2 (ICE7)	1	3.224

**Střední užitečné napětí oblasti – úsek Ústí nad Orlicí - Choceň**



Energetické výpočty

### 6.3 Proudová zatížitelnost střídavé soustavy, stojící vlaky

#### Limitní teploty

Trolejové vedení i obvod zpětného trakčního proudu a napájecí vedení jsou navrženy tak, aby vyhovovali i při těchto maximálních teplotách:

Trolej	80 °C
Nosné lano	80 °C
Napájecí vedení	80 °C
Kolejnice	60 °C
Země	20 °C

### 6.4 Rekuperační brzdění

Systém napájení je navržen tak, že umožňuje výměnu energie s jinými vlaky.

### 6.5 Opatření pro koordinaci elektrické ochrany

V řešeném úseku se automatika opětovného zapnutí provádí přímo, tedy bez testu sítě.

#### 6.5.1 Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem

##### Omezení potenciálu kolejnice

Navržené technické řešení neobsahuje kontinuální nebo trvalé uzemnění zpětného obvodu.

Ze simulace vyplývá, že při zadaném špičkovém grafikonu určité úseky **vyhoví**.

Výsledky jsou v příloze č. 8.3.

### 6.6 Napájecí vedení

Průběh proudového zatížení napájecího vedení je v příloze číslo 9.4.

#### 6.6.1 Zkratové poměry

Minimální zkrat byl spočítán podle předpisu SR 34 pro nejvzdálenější místo (styk soustav nebo konec trati) a porovnán s maximálním proudem v napáječi ze simulace. **Uvažujeme vazbu mezi napájecími stanicemi.**

Maximální délka chráněného úseku je v obou směrech 7,8 km TV. Maximální odběrový proud na trati Ústí n. O. – Choceň je 2 825 A viz. příloha 8.4.

TM Kerhartice – TM Choceň: 7,8 km

Zkrat podle SR 34: 6424 A

Musí platit, že:

$$\frac{I_{z,min}}{1,3} > I_{nastav} > 1,2 I_{max}$$

$$4\,941\,A > I_{nastav} > 3\,390\,A$$

**Podmínka platí, zkratové poměry vyhovují.**

Energetické výpočty

## 7 Závěr

Navržená stejnosměrná sestava trakčního vedení vyhoví dle TSI ENE, ale za cenu prodloužení technické jízdní doby.

Minimální střední užitečné napětí vlaku v simulovaném úseku nekleslo pod 2,858 kV. Minimální napětí trakčního vedení vyšlo 2,250 kV. Technická doba jízdy některých vlaků se prodloužila o maximálně 30s.

Kontroloval:

Jiří Podhradský

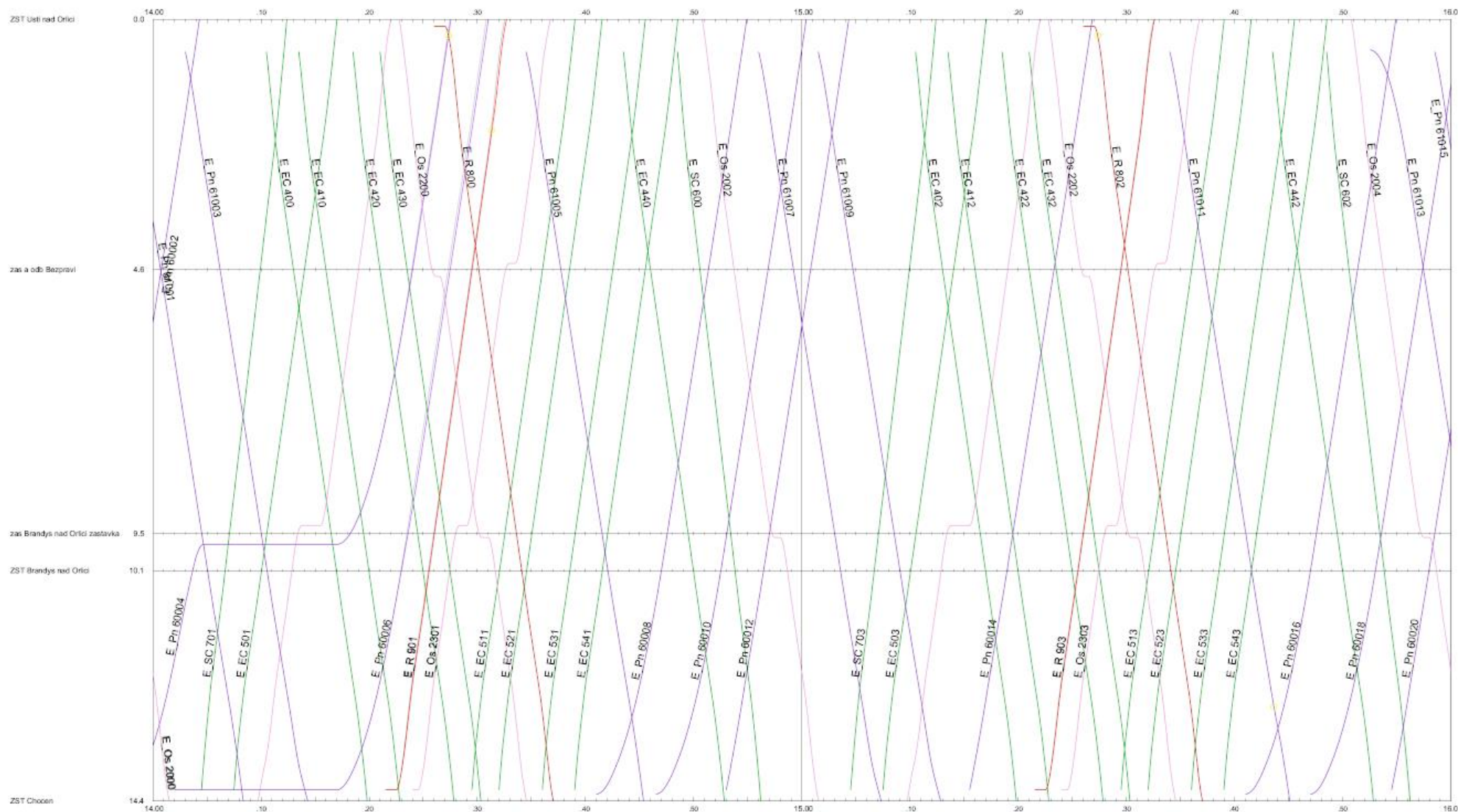
Zpracoval:

Ondřej Svoboda

## 8 Přílohy

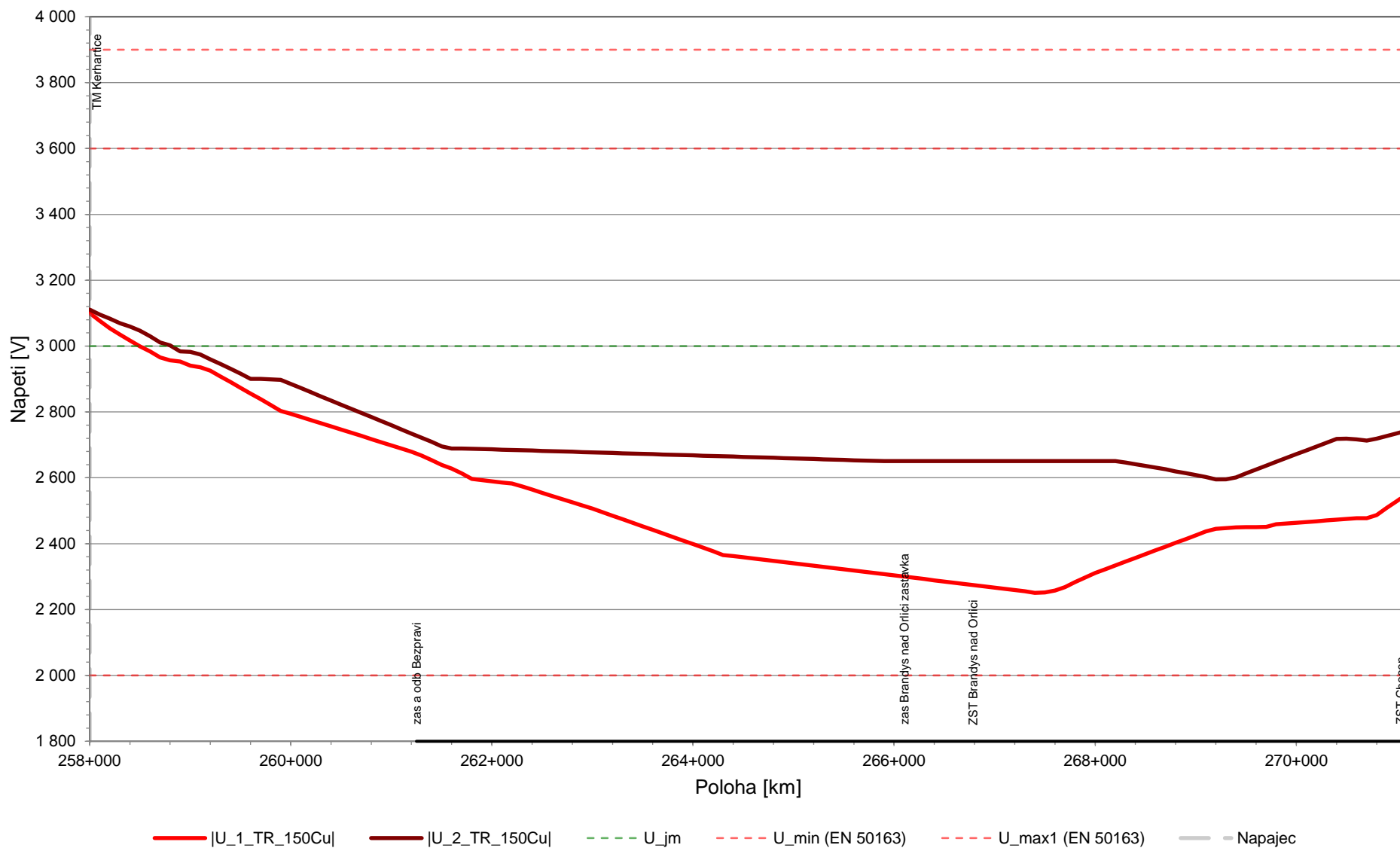
<b>8</b>	<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>13</b>
8.1	MODELOVÝ GRAFIKON ÚSTÍ N. O. - CHOCEŇ.....	14
8.2	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV.....	15
8.3	NAPĚTÍ MEZI KOLEJNICÍ A ZEMÍ .....	16
8.4	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ NAPAJEČŮ A SBĚRNICE.....	17
8.5	VÝKONOVÉ ZATÍŽENÍ TRAKČNÍCH MĚNÍREN.....	21

## 8.1 Modelový grafikon Ústí n. O. - Choceň



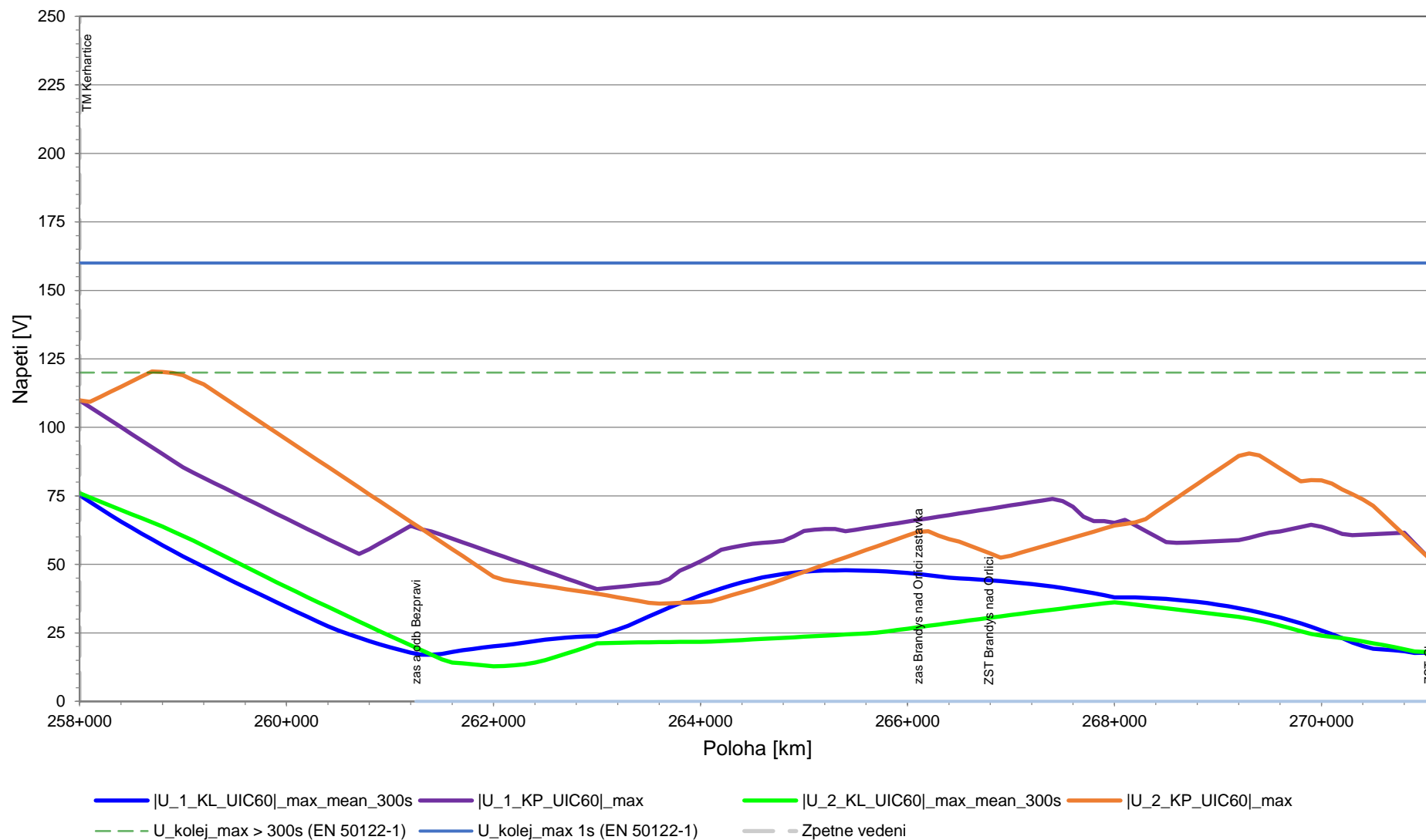
## 8.2 Minimální napětí TV

### 8.2.1 Ústí nad Orlicí - Choceň



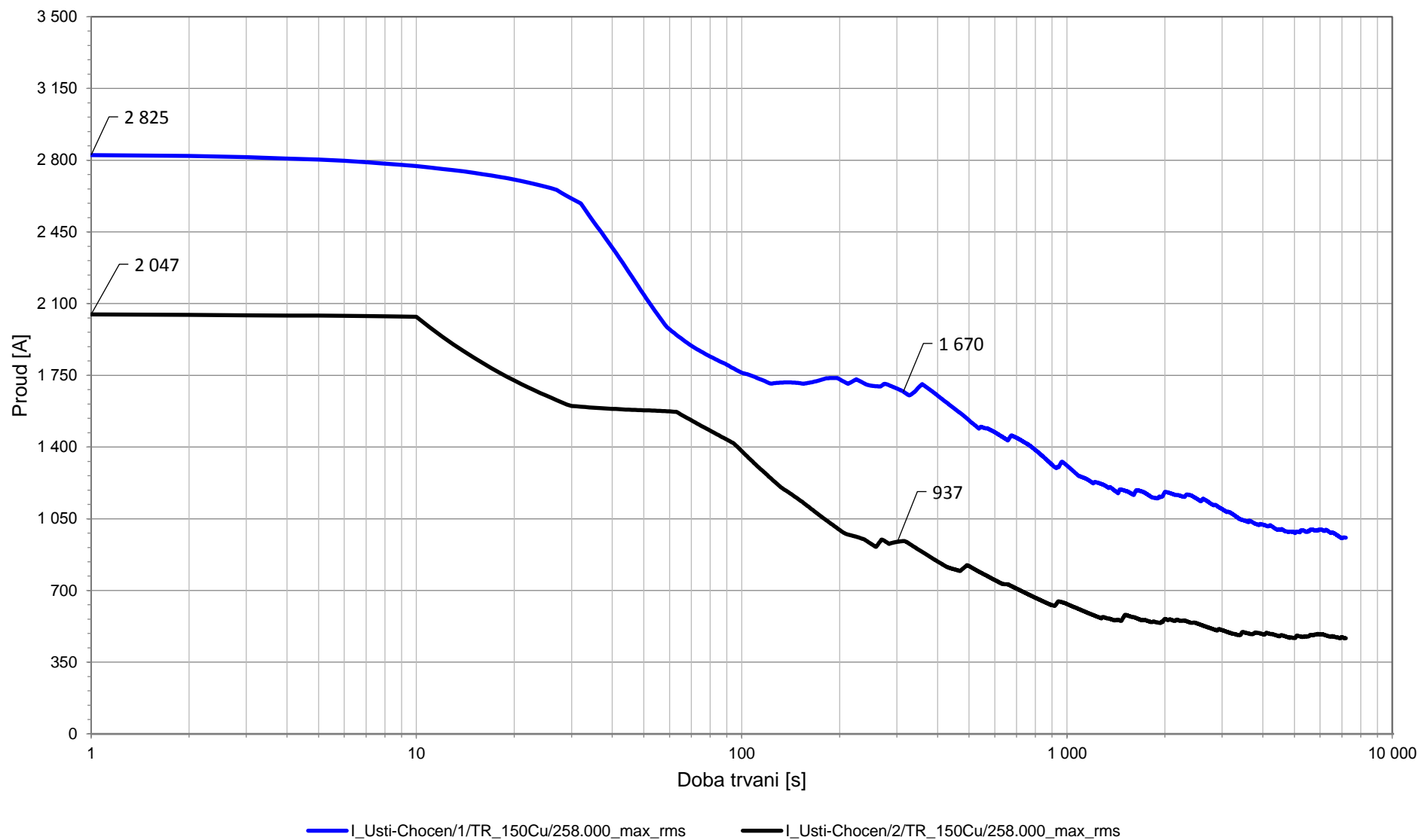
### 8.3 Napětí mezi kolejnicí a zemí

#### 8.3.1 Ústí nad Orlicí - Choceň

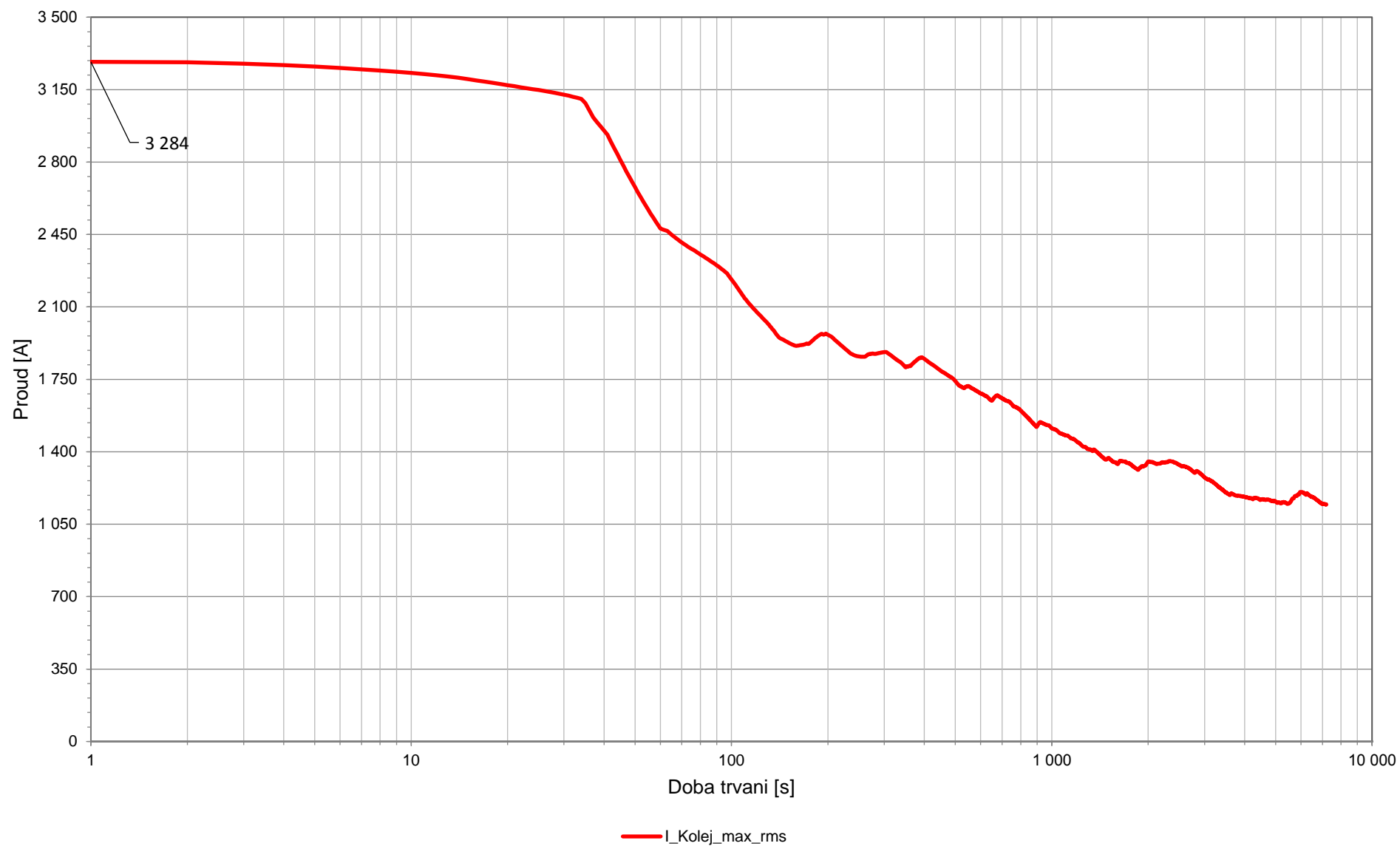


## 8.4 Proudové zatížení napaječů a sběrnice

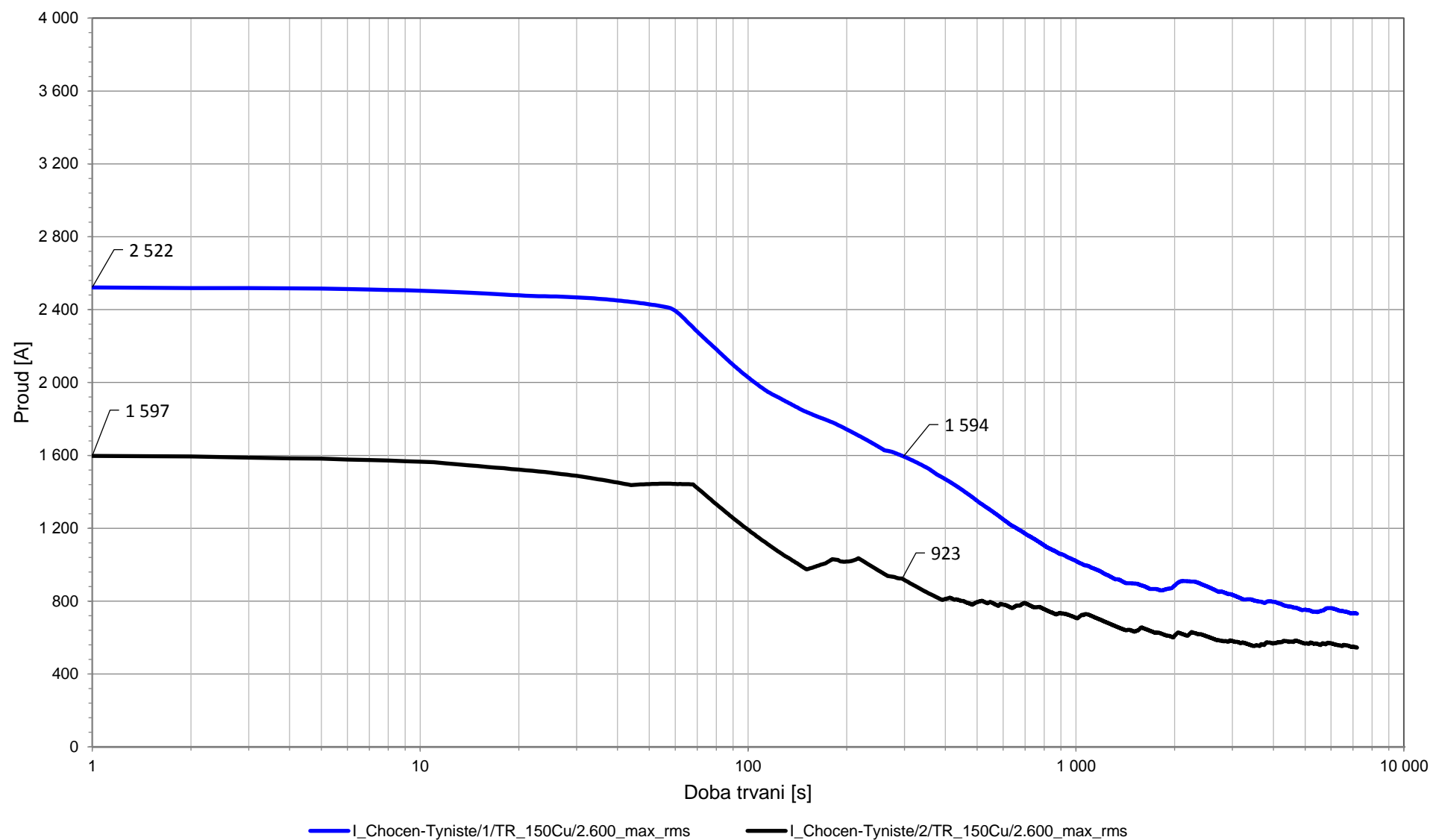
### 8.4.1 Proudové zatížení TV – TM Kerhartice



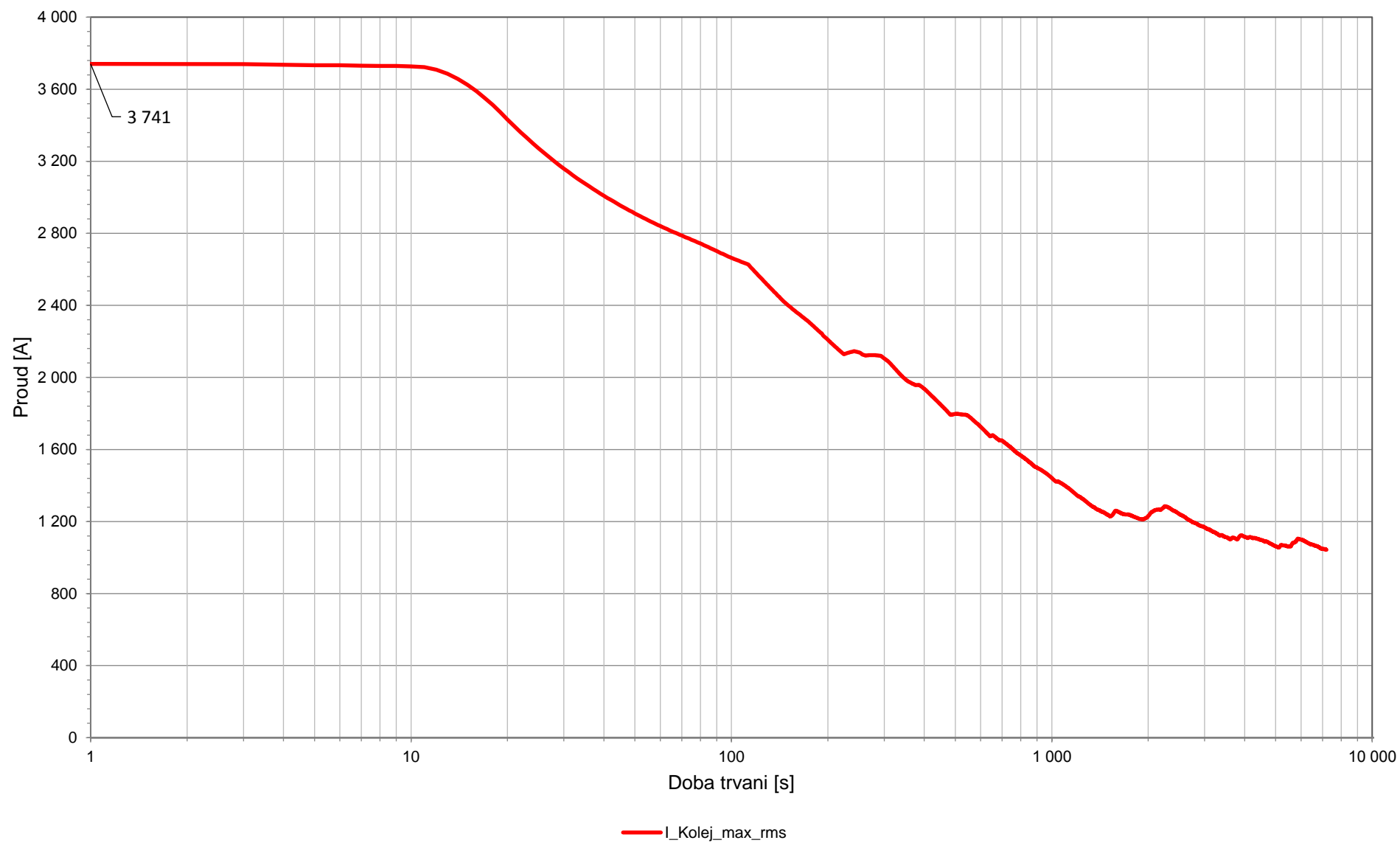
## 8.4.2 Proudové zatížení zpětného vedení – TM Kerhartice



## 8.4.3 Proudové zatížení TV – TM Choceň

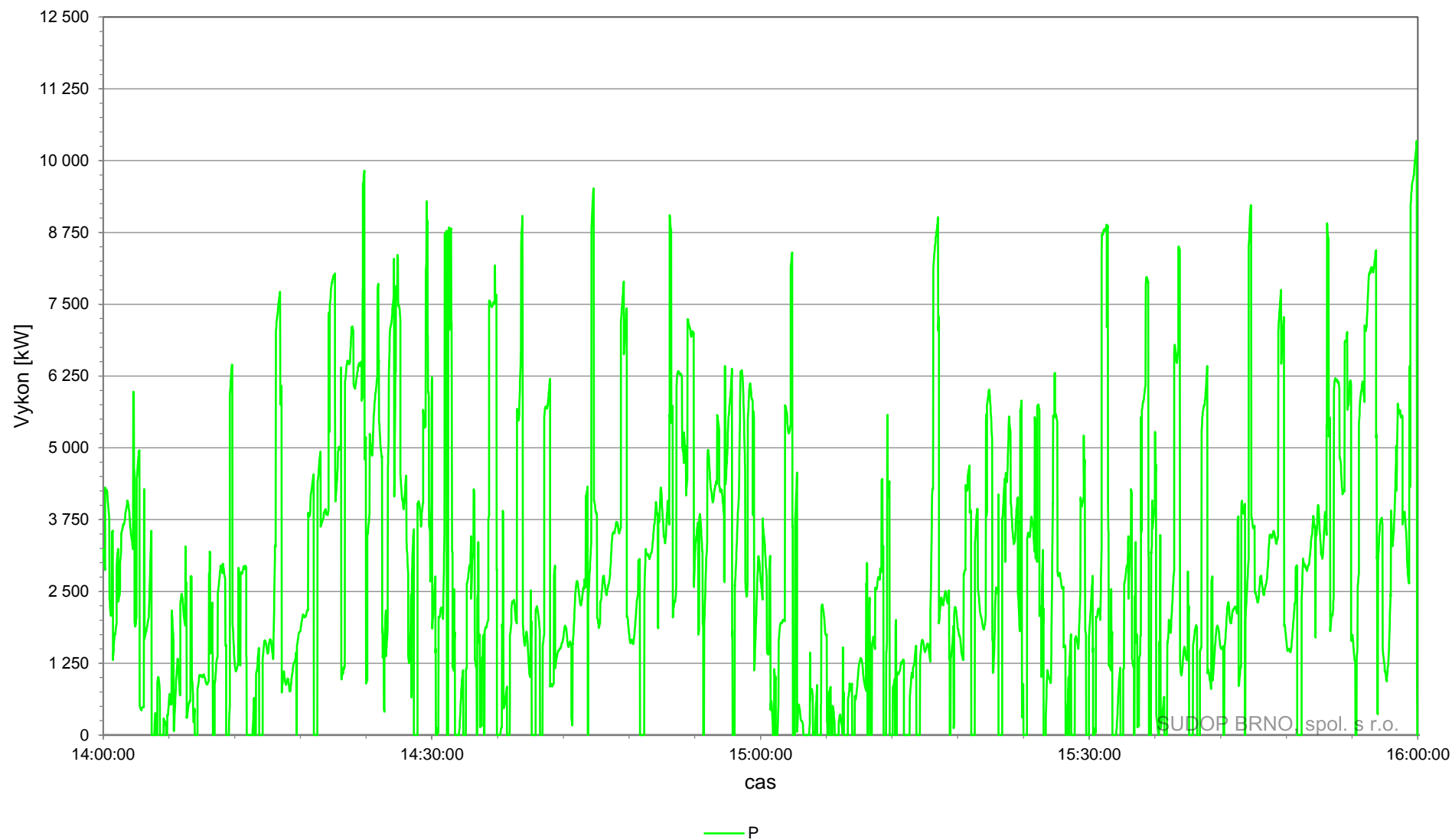


## 8.4.4 Proudové zatížení zpětného vedení – TM Choceň

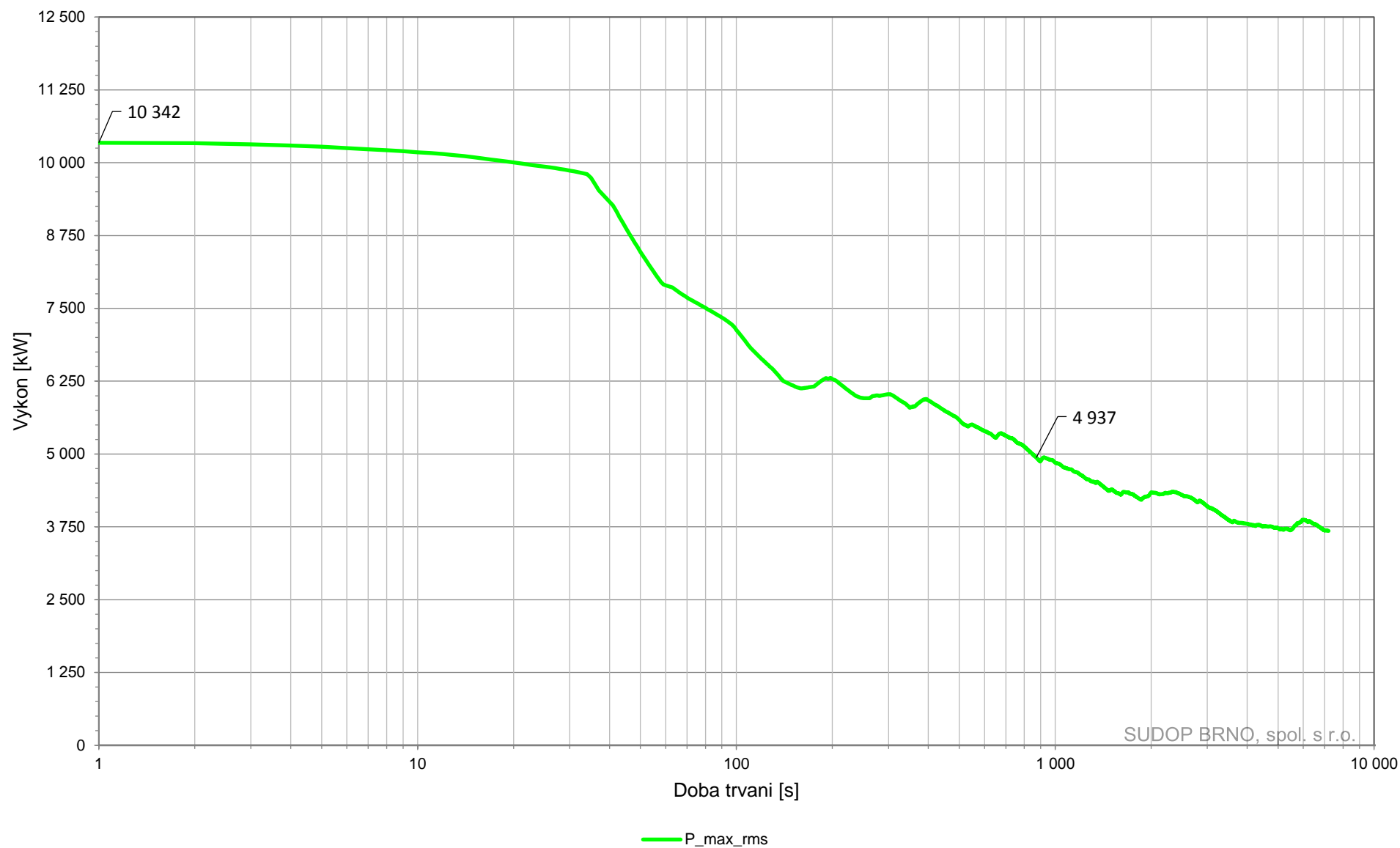


## 8.5 Výkonové zatížení trakčních měření

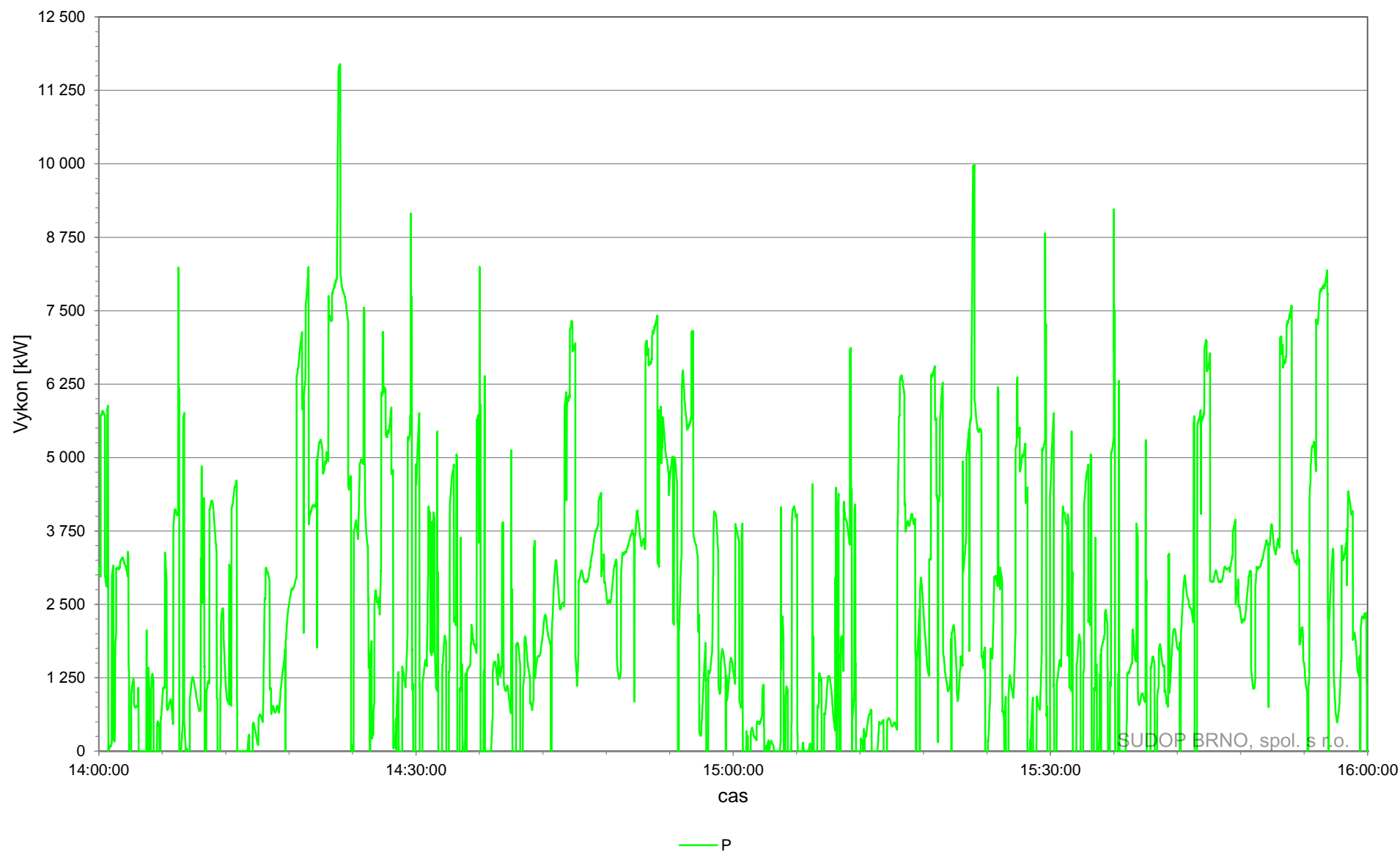
### 8.5.1 Výkonové zatížení TM Kerhartice $P=f(t)$



### 8.5.2 Výkonové zatížení TM Kerhartice



### 8.5.3 Výkonové zatížení TM Choceň $P=f(t)$



#### 8.5.4 Výkonové zatížení TM Choceň

