


Číslo změny:	Obsah změny:	Datum změny:
01	PO ZAPRACOVÁNÍ PŘIPOMÍNEK	02/2019
02	-	-
03	-	-

Objednatel:	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1
 <small>Správa železniční dopravní cesty</small>	Stavební správa východ Nerudova 1, 772 58 Olomouc

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

Středisko: ELEKTROTECHNIKY, TRAKCE, SDĚLOVACÍ A ZABEZPEČOVACÍ TECHNIKY			
Vedoucí střediska:	Odpovědný projektant SO, IO, PS:	Vypracoval:	Kontroloval:
ING. MARTIN RAIBR	DLE PŘÍLOH	DLE PŘÍLOH	DLE PŘÍLOH

Název akce:	Číslo smlouvy:
Modernizace TNS Týniště nad Orlicí (Voklik)	18-216.208
	Projektový stupeň: DSP
Část:	Datum:
ENERGETICKÉ VÝPOČTY	02/2019
	Číslo části: B.12

B.12 ENERGETICKÉ VÝPOČTY

Modernizace TNS Týniště nad orlicí

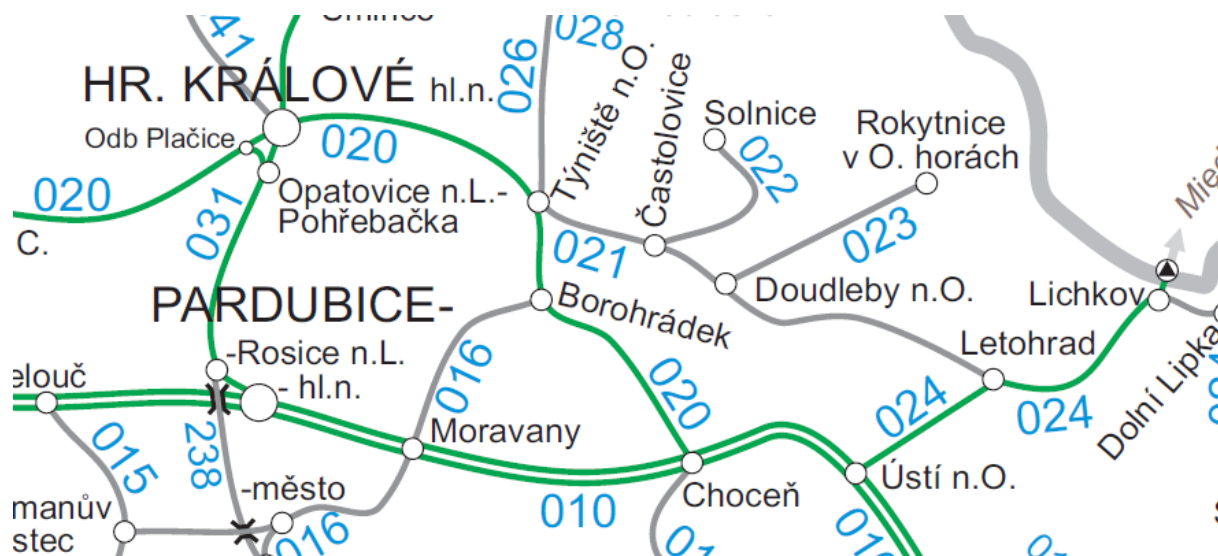
1 Obsah

1	Obsah	1
2	Úvod.....	2
3	Podklady.....	3
3.1	Model infrastruktury, jízdní řád a HV.....	3
3.2	Model napájení	3
4	Vstupní data	3
4.1	Parametry sítě.....	3
4.2	Parametry trakční transformovny	4
4.3	Parametry trakčního vedení.....	4
4.4	Parametry hnacích vozidel	5
5	Metoda výpočtu.....	7
6	Výsledky	7
6.1	Zatížení TT Týniště	7
6.2	Napájecí a zpětné vedení	7
6.3	Zkratové poměry	8
6.4	Střední užitečné napětí oblasti a vlaku	9
7	Závěr	11
8	Seznam příloh	12
8.1	Modelový grafikon	13
8.2	Napájení TV - průběh špičkového zatížení TT Týniště	14
8.3	Výkon do sítě VVN - průběh špičky	15
8.4	Proudové zatížení zpětného vedení.....	16
8.5	Proudové zatížení napájecího vedení	17
8.6	Minimální napětí v úseku Choceň - Týniště.....	18
8.7	Minimální napětí v úseku Hradec Králové – Týniště	19
8.8	Minimální napětí v úseku Solnice - Týniště	20
8.9	Napětí kolejnice - zem v úseku Choceň – Týniště (bez přídavného uzemnění)	21
8.10	Napětí kolejnice - zem v úseku Choceň – Týniště (s uzemněním po 3km)	22

2 Úvod

Tyto energetické výpočty mají za cíl navrhnout potřebné dimenzování TNS Týniště s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu. Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomoci programů OpenTrack a OpenPowerNet.

Nyní TNS Týniště napájí jednokolejnou trať Hradec Králové – Choceň trakční proudovou soustavou DC 3kV proti TNS v Hradec Králové a TNS Choceň.



Výhledově dojde ke zdvoukolejnění tratě mezi Hradcem Králové a Chocní a k elektrizaci tratě Týniště – Solnice. Také se počítá s tím, že se bude celá tato oblast napájet střídavou proudovou soustavou AC 25kV 50Hz. Styk soustav se předpokládá před Chocní a Hradcem Králové.

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 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **Koleje**
Niveleta koleje byla převzata od zadavatele a odpovídá zpracovaným projektům (výhledovému stavu). Stejně tak byly převzaty polohy výhybek a nástupišť.
- **Jízdní řád**
Byl zpracován po konzultaci s dopravním technologem objednatele (SUDOP PRAHA a.s.) a na základě toho byl vypracován modelový dvouhodinový špičkový grafikon, viz 8.1 Modelový 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 EC, R, NEx a Pn se uvažuje s lokomotivou typu Vectron. U vlaků kategorie Os se uvažuje s elektrickou soupravou RegioPanter 650 a u vlaků Sp se uvažuje s elektrickou soupravou RegioPanter 640.

3.2 Model napájení

- **Napájecí stanice**
Celá oblast je napájena z jedné TNS Týniště n. O. 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**
Kromě vlaků kategorie Os a Sp se v modelu 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.

4.1 Parametry sítě

- Napětí 25 kV
- Frekvence 50 Hz

Model napájení byl rozdělen následovně:

- Hradec Králové – Týniště km 27,359-50,305
- Choceň – Týniště km 0,000-23,120
- Týniště – Solnice km 50,250-58,430
- Týniště – Solnice 2 km 0,717-15,582

Změna kilometráže je v žst. Týniště 50,305=23,120 a v žst. Častolovice 0,717=58,430.

4.2 Parametry trakční transformovny

- Napětí nakrátko 16 %
- Ztráty nakrátko 96 kW
- Ztráty naprázdno 7,5 kW
- Proud naprázdno 0,1 A
- Jmenovitý výkon 16 MVA
- Primární napětí 110 kV
- Sekundární napětí 27 kV
- TM Týniště v km 22,300 (Choceň – Týniště)
v km 50,250 (Týniště – Solnice)
- 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 poloměr¹ 3,578 mm
- činný odpor 0,32 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C⁻¹
- uvažovaná teplota vodiče 100°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 100°C

Pravá kolejnice

- geometrická poloha [x ; y] [0,7175 ; 0] m
- ekvivalentní poloměr 38,54 mm
- činný odpor² při 20°C 0,0416 Ω/km

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

² Odpor kolejnice vychází ze změřených hodnot uvedených v dopise zn. 21480/2017-SŽDC-O14 pro tvar kolejnice UIC 60 po připočtení odporu překlenutého izolovaného styku.

- 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 0,0416 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C⁻¹
- 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 0,0393 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 země³ 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 400t
- Jízdní odpor R
- Lokomotiva Vectron

NEx linky začínající číslem 40-43

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

NEx linky začínající číslem 48

- Hmotnost bez lokomotivy 1155t
- Jízdní odpor S
- Lokomotiva Vectron

NEx linky začínající číslem 49

- Hmotnost bez lokomotivy 777t
- Jízdní odpor U₂
- Lokomotiva Vectron

Os linky začínající číslem 20-21

³ 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 km (u nerekonstruovaných tratí tato hodnota obvykle bývá okolo 1 Ωkm)“.

- RegioPanter 640
- Jízdní odpor R

Os linky začínající číslem 27-28

- RegioPanter 650
- Jízdní odpor R

Pn

- Hmotnost bez lokomotivy 2050t
- Jízdní odpor T_4
- Lokomotiva Vectron

Sp

- 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 29 kV
- Regulace výkonu dle TSI ENE ano

640 RegioPanter

- Maximální výkon 2,04 MW
- Maximální tažná síla 196 kN
- Max. napětí při rekuperaci 29 kV
- Regulace výkonu dle TSI ENE ne

650 RegioPanter

- Maximální výkon 1,36 MW
- Maximální tažná síla 200 kN
- Max. napětí při rekuperaci 29 kV
- 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 22kV) 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.

Výpočet byl proveden za běžného stavu napájení. Všechny úseky (Hradec Králové – Týniště, Týniště – Choceň a Týniště – Solnice) jsou napájeny z TNS Týniště. Každá kolej je napájena samostatně bez příčného propojení.

6 Výsledky

Bylo provedeno několik simulací a výsledky prokázaly schopnost trakčního vedení a napájecí stanice dodat potřebný výkon v rámci celé řešené oblasti. Při kontrole bylo akorát zjištěno možné překročení maximálního dovoleného dotykového napětí na kolejnici, viz příloha č. 8.9. Výsledky záleží na skutečném provedení kolejového svršku a izolace koleje. Při uvažovaném odporu, viz bod 4.3 parametry trakčního vedení, bude potřeba koleje více uzemnit. Dotykové napětí na kolejnici vyhoví, pokud bude kolej uzemněna po maximálně 3 km přes odpor maximálně 1Ω, viz příloha č. 8.10.

6.1 Zatížení TT Týniště

Průběh jednotlivých špičkových zatížení je uveden v příloze číslo 8.2. Výkon směřující zpět do sítě distributora elektrické energie je uveden v příloze 8.3. Z výsledků vyplývají tyto maximální špičkové výkony (TV):

- P_{\max} 31 MW
- $P_{15\min.}$ 15 MW
- $P_{2\text{hod.}}$ 11 MW

Tyto špičkové výkony vychází ze zadaného grafikonu a při povoleném přetoku energie zpět do nadřazené sítě. Pokud se grafikon výhledové dopravy změní, bude potřeba tyto výkony přepočítat. Při zakázané rekuperace mohou být špičkové výkony v TT Týniště vyšší.

6.2 Napájecí a zpětné vedení

Průběh proudového zatížení napájecího vedení je v příloze číslo 8.5. Z výsledků vyplývá maximální proudové zatížení TNS Týniště na 1,2 kA. Proudové zatížení napájecího vedení vyhoví pro jedno lano 120Cu pro každý z 5 napájecích úseků.

Průběh proudového zatížení zpětného vedení je uveden v příloze číslo 8.4 Maximální zpětný proud vychází 1,2 kA. Kabele s časovou oteplovací konstantou 20-30 min je potřeba dimenzovat na proudové zatížení minimálně 550A plus rezerva pro mimořádné stavy napájení (větší sled vlaků než je uvedeno v grafikonu).

6.3 Zkratové poměry

Minimální zkrat byl spočítán podle předpisu SR 34 pro nejvzdálenější místo (styk soustav nebo konec trati) a porovnán s maximálním proudem v napájeci ze simulace.

6.3.1 Hradec Králové – Týniště

Od TNS ke styku soustav: 18,4 km

Zkrat podle SR 34: 1516 A

Musí platit, že:

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

$$\frac{1516 A}{1,3} < I_{nastav} < 1,2 \times 475 A$$

Podmínka platí, zkratové poměry vyhovují.

6.3.2 Choceň – Týniště

Od TNS ke styku soustav: 21 km

Zkrat podle SR 34: 1411 A

Musí platit, že:

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

$$\frac{1411 A}{1,3} < I_{nastav} < 1,2 \times 446 A$$

Podmínka platí, zkratové poměry vyhovují.

6.3.3 Solnice – Týniště

Od TNS na konec trati: 23 km

Zkrat podle SR 34: 1340 A

Musí platit, že:

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

$$\frac{1340 A}{1,3} < I_{nastav} < 1,2 \times 395 A$$

Podmínka platí, zkratové poměry vyhovují.

6.4 Střední užitečné napětí oblasti a vlaku

Výpočet středního užitečného napětí oblasti a vlaku byl proveden v souladu s ČSN EN 50 388 ed. 2 bod 8. K výpočtu byl použit software pro simulaci železničního provozu OpenTrack s energetickou nástavbou OpenPowerNet. Výpočet byl proveden pro výhledovou dopravní špičku, viz grafikon v příloze číslo 8.1. Minimální napětí je pak uvedeno v příloze č. 8.6 – 8.8.

6.4.1 Hradec Králové – Týniště

spoj	formace	lokomotivy	$U_{\text{stř. už.}}$ V
celkem		36	27.079
Maximum		1	27.180
Minimum		1	26.798
EC 100	EC (Vectron+R400t)	1	27.040
EC 102	EC (Vectron+R400t)	1	27.044
EC 201	EC (Vectron+R400t)	1	26.990
EC 203	EC (Vectron+R400t)	1	26.993
Nex 40000	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.102
Nex 40002	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.116
Nex 41001	Nex (Vectron+S1800t)	1	26.897
Nex 41003	Nex (Vectron+S1800t)	1	26.909
Nex 42000	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.096
Nex 42002	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.102
Nex 43001	Nex (Vectron+S1800t)	1	26.974
Nex 43003	Nex (Vectron+S1800t)	1	26.989
Nex 48000	Nex (Vectron+S1155t)	1	27.057
Nex 48002	Nex (Vectron+S1155t)	1	27.052
Nex 49001	Nex (Vectron+U2 777t)	1	26.930
Nex 49003	Nex (Vectron+U2 777t)	1	26.922
Nex 49005	Nex (Vectron+U2 777t)	1	26.922
Os 2000	Os (1*640 R)	1	27.093
Os 2002	Os (1*640 R)	1	26.798
Os 2101	Os (1*640 R)	1	27.178
Os 2103	Os (1*640 R)	1	27.125
Os 2701	Os (1*650 R)	1	27.125
Os 2703	Os (1*650 R)	1	27.136
Os 2803	Os (1*650 R)	1	27.160
Pn 60000	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.086
Pn 60002	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.070
Pn 61001	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.083
Pn 61003	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.069
Sp 1600	Sp (1*640 R)	1	27.099
Sp 1602	Sp (1*640 R)	1	27.096
Sp 1701	Sp (1*640 R)	1	27.078
Sp 1703	Sp (1*640 R)	1	27.088
Sp 1800	Sp (1*640 R)	1	27.180
Sp 1901	Sp (1*640 R)	1	27.143

6.4.2 Choceň – Týniště

spoj	formace	lokomotivy	$U_{\text{ustř. už.}}$ V
celkem		22	27.105
<i>Maximum</i>		1	27.179
<i>Minimum</i>		1	26.880
EC 100	EC (Vectron+R400t)	1	27.154
EC 102	EC (Vectron+R400t)	1	27.163
EC 201	EC (Vectron+R400t)	1	27.146
EC 203	EC (Vectron+R400t)	1	27.144
Nex 40000	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.071
Nex 40002	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.008
Nex 40004	Nex (Vectron+S1800t)	1	26.936
Nex 41001	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.070
Nex 41003	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.075
Nex 42000	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.030
Nex 42002	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.021
Nex 42004	Nex (Vectron+S1800t)	1	26.880
Nex 43001	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.063
Nex 43003	Nex (Vectron+S1800t)	1	27.066
Os 2002	Os (1*640 R)	1	27.153
Os 2101	Os (1*640 R)	1	27.167
Pn 60000	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.035
Pn 60002	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.033
Pn 61001	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.079
Pn 61003	Pn (Vectron+T4 2050t)	1	27.074
Sp 1800	Sp (1*640 R)	1	27.125
Sp 1901	Sp (1*640 R)	1	27.179

6.4.3 Solnice – Týniště

spoj	formace	lokomotivy	$U_{\text{stř. už.}}$ V
celkem		11	27.155
<i>Maximum</i>		1	27.188
<i>Minimum</i>		1	27.037
Nex 48000	Nex (Vectron+S1155t)	1	27.188
Nex 48002	Nex (Vectron+S1155t)	1	27.184
Nex 49001	Nex (Vectron+U2 777t)	1	27.148
Nex 49003	Nex (Vectron+U2 777t)	1	27.180
Os 2701	Os (1*650 R)	1	27.153
Os 2703	Os (1*650 R)	1	27.178
Os 2803	Os (1*650 R)	1	27.157
Sp 1600	Sp (1*640 R)	1	27.161
Sp 1602	Sp (1*640 R)	1	27.161
Sp 1701	Sp (1*640 R)	1	27.040
Sp 1703	Sp (1*640 R)	1	27.037

7 Závěr

Navržený systém napájení plně vyhovuje požadavkům na subsystém dle TSI ENE. Navržené dimenzování trakční transformovny včetně trakčního vedení vyhoví.

Zpracoval:

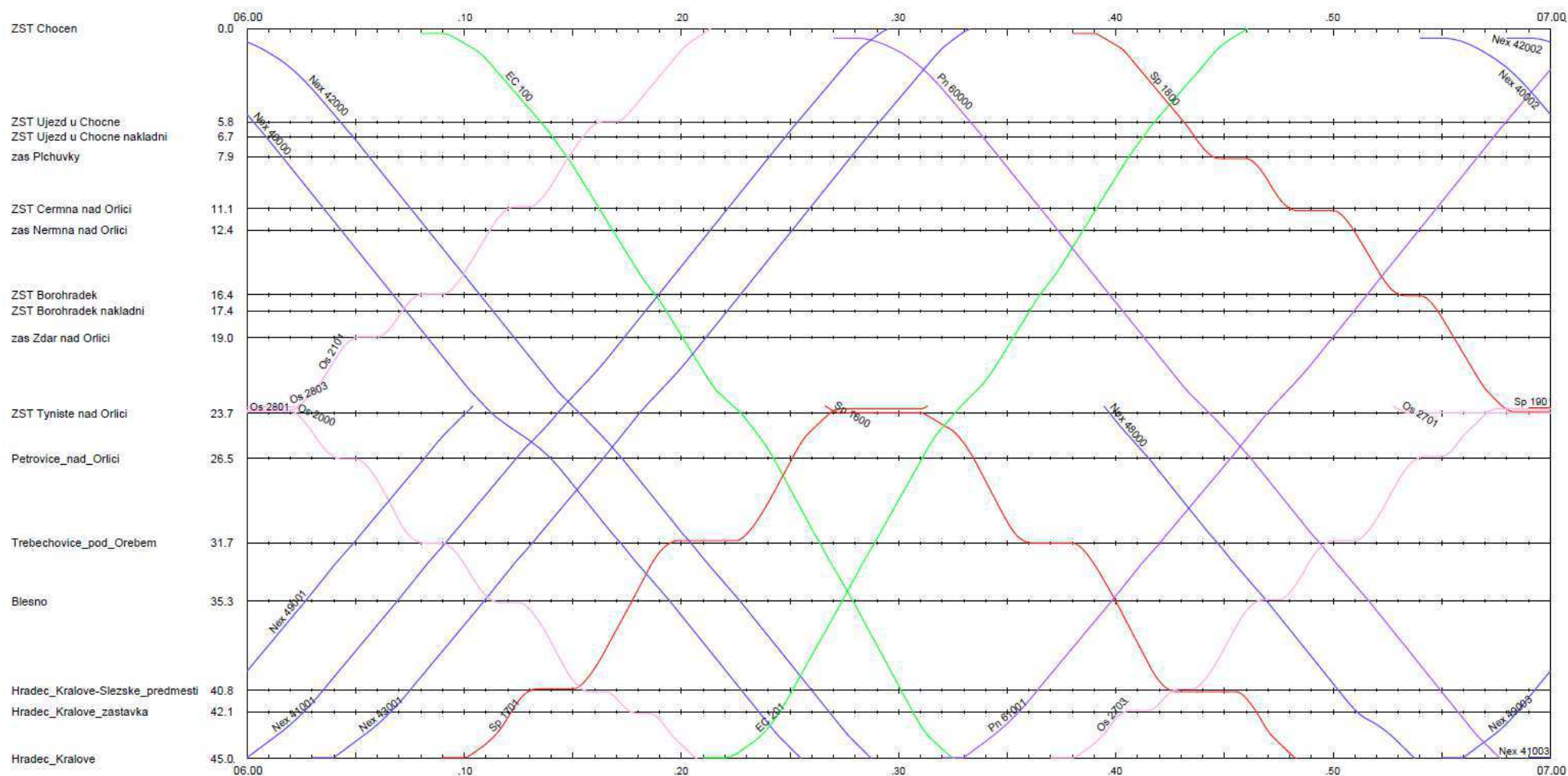
Jiří Podhradský

8 Seznam příloh

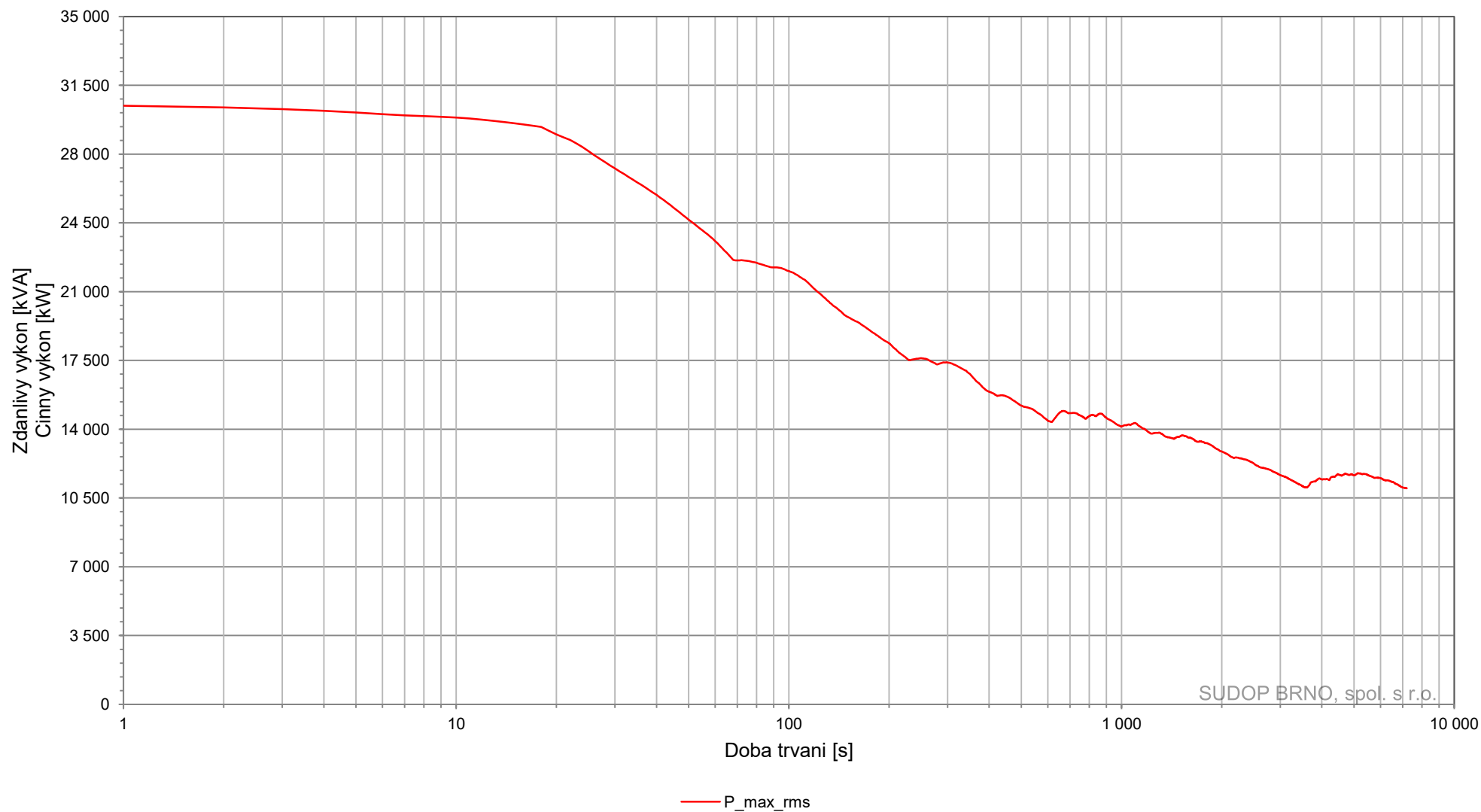
8	Seznam příloh	12
8.1	Modelový grafikon	13
8.2	Napájení TV - průběh špičkového zatížení TT Týniště	14
8.3	Výkon do sítě VVN - průběh špičky	15
8.4	Proudové zatížení zpětného vedení	16
8.5	Proudové zatížení napájecího vedení	17
8.6	Minimální napětí v úseku Choceň - Týniště	18
8.7	Minimální napětí v úseku Hradec Králové – Týniště	19
8.8	Minimální napětí v úseku Solnice - Týniště	20
8.9	Napětí kolejnice - zem v úseku Choceň – Týniště (bez přídatného uzemnění)	21
8.10	Napětí kolejnice - zem v úseku Choceň – Týniště (s uzemněním po 3km)	22

8.1 Modelový grafikon

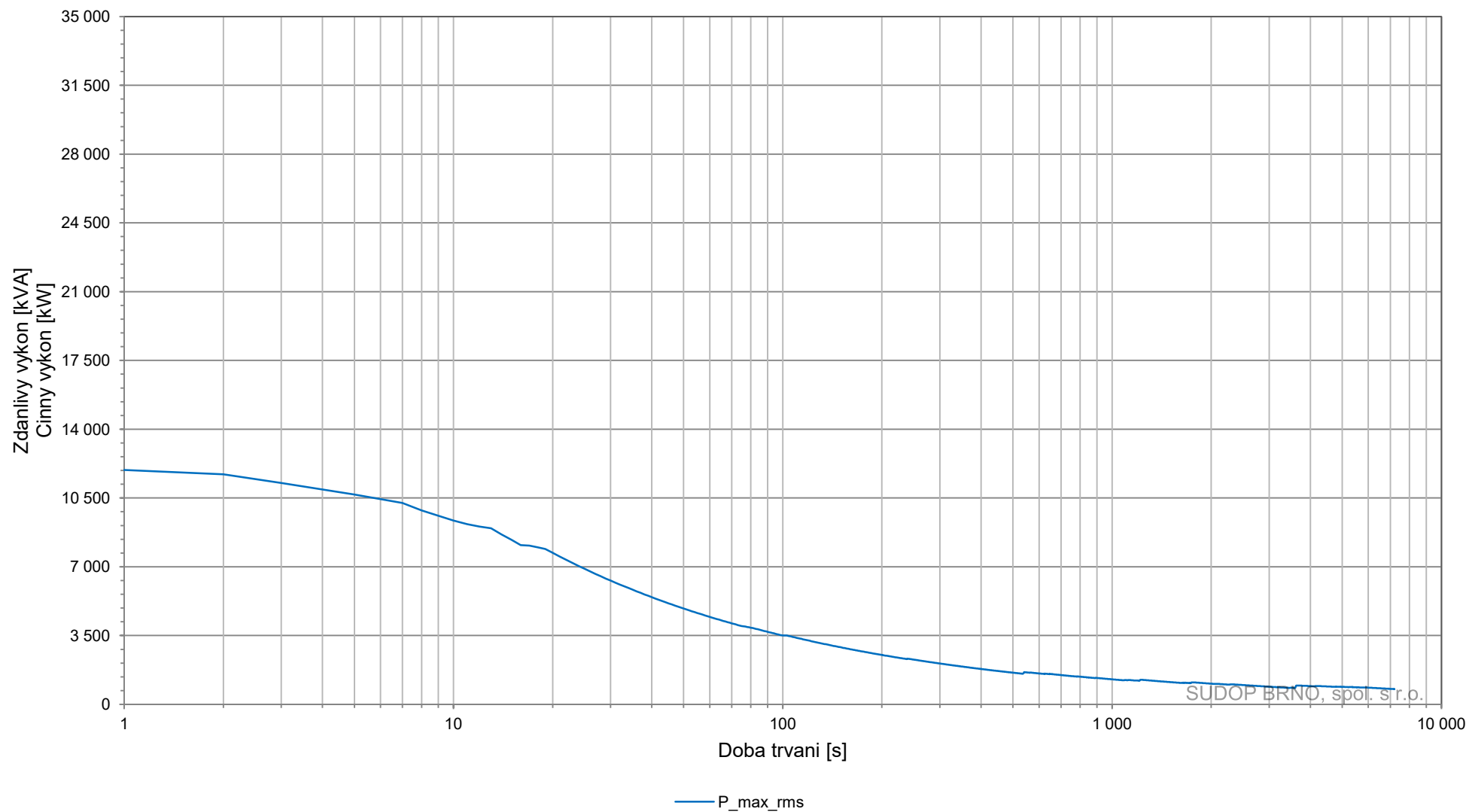
ZST Chocen - Hradec_Kralove



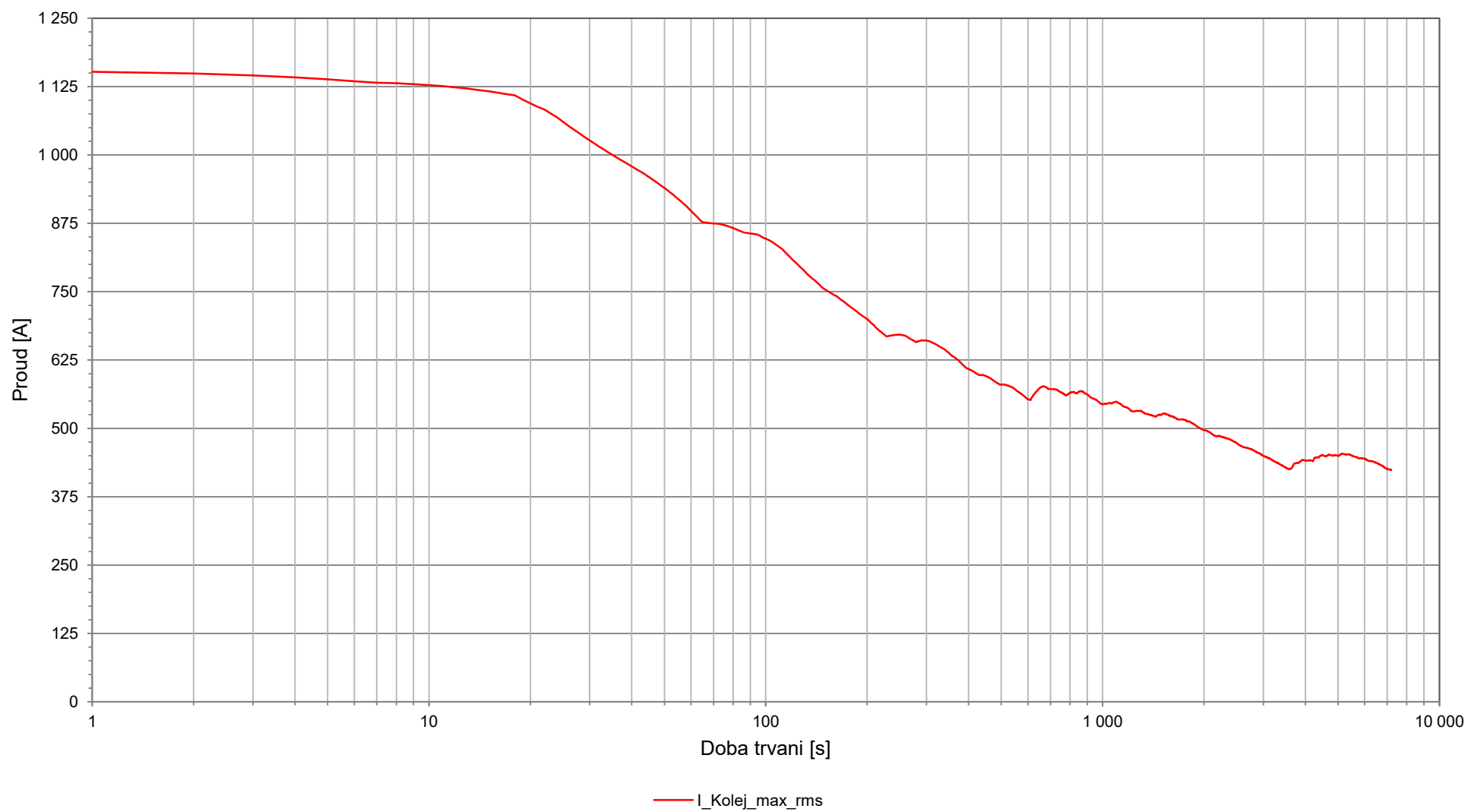
8.2 Napájení TV - průběh špičkového zatížení TT Týniště



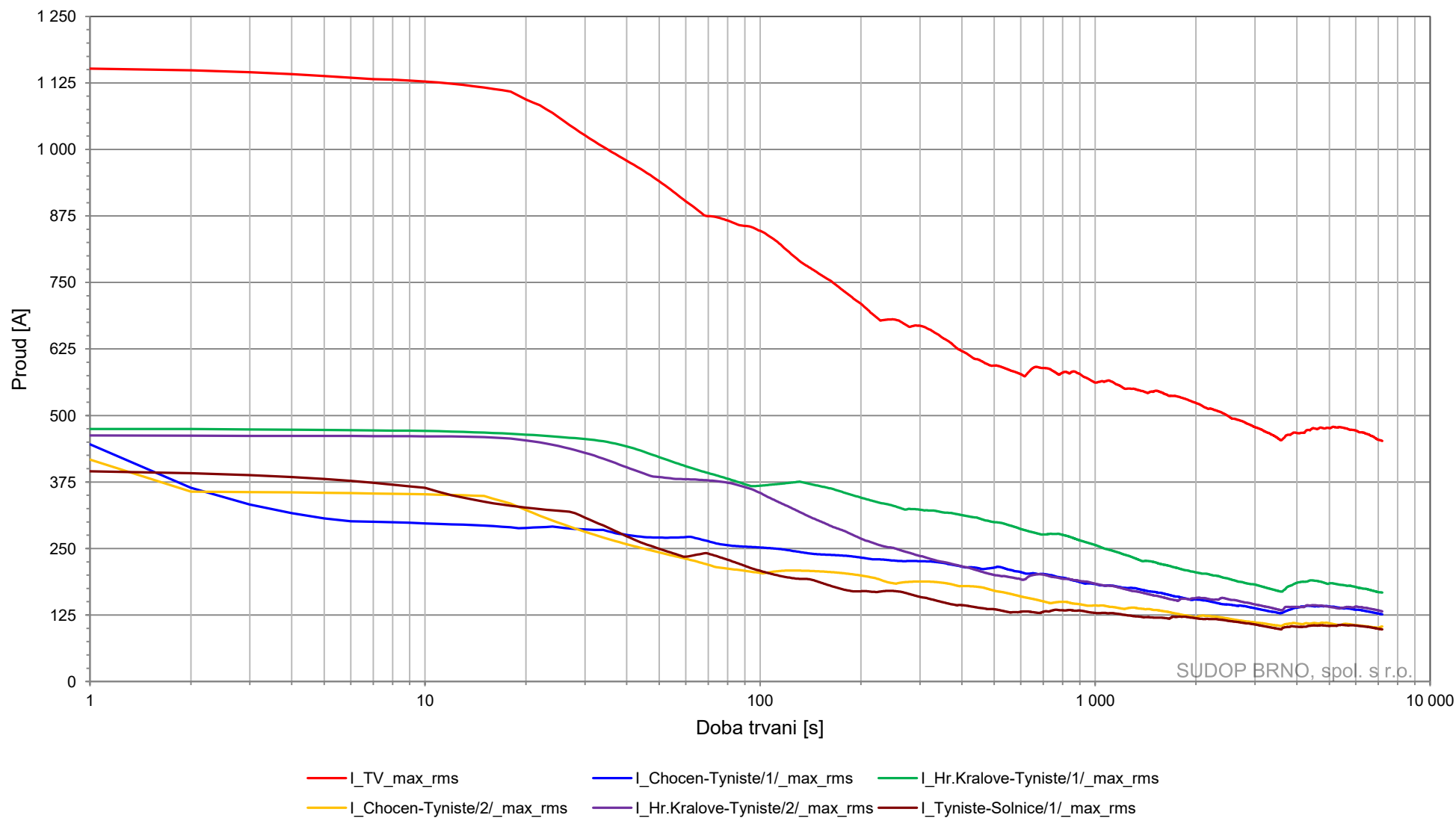
8.3 Výkon do sítě VVN - průběh špičky



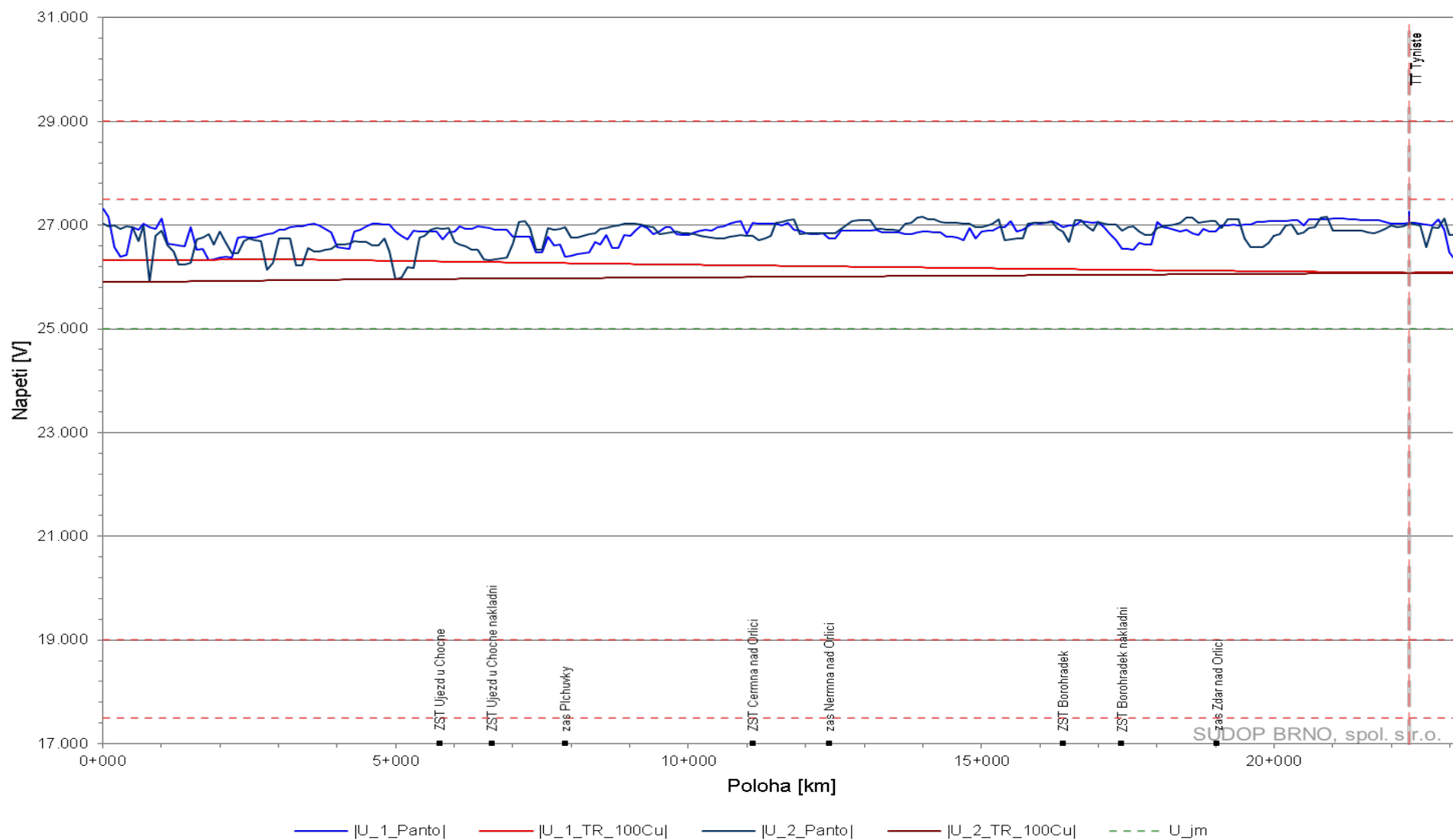
8.4 Proudové zatížení zpětného vedení



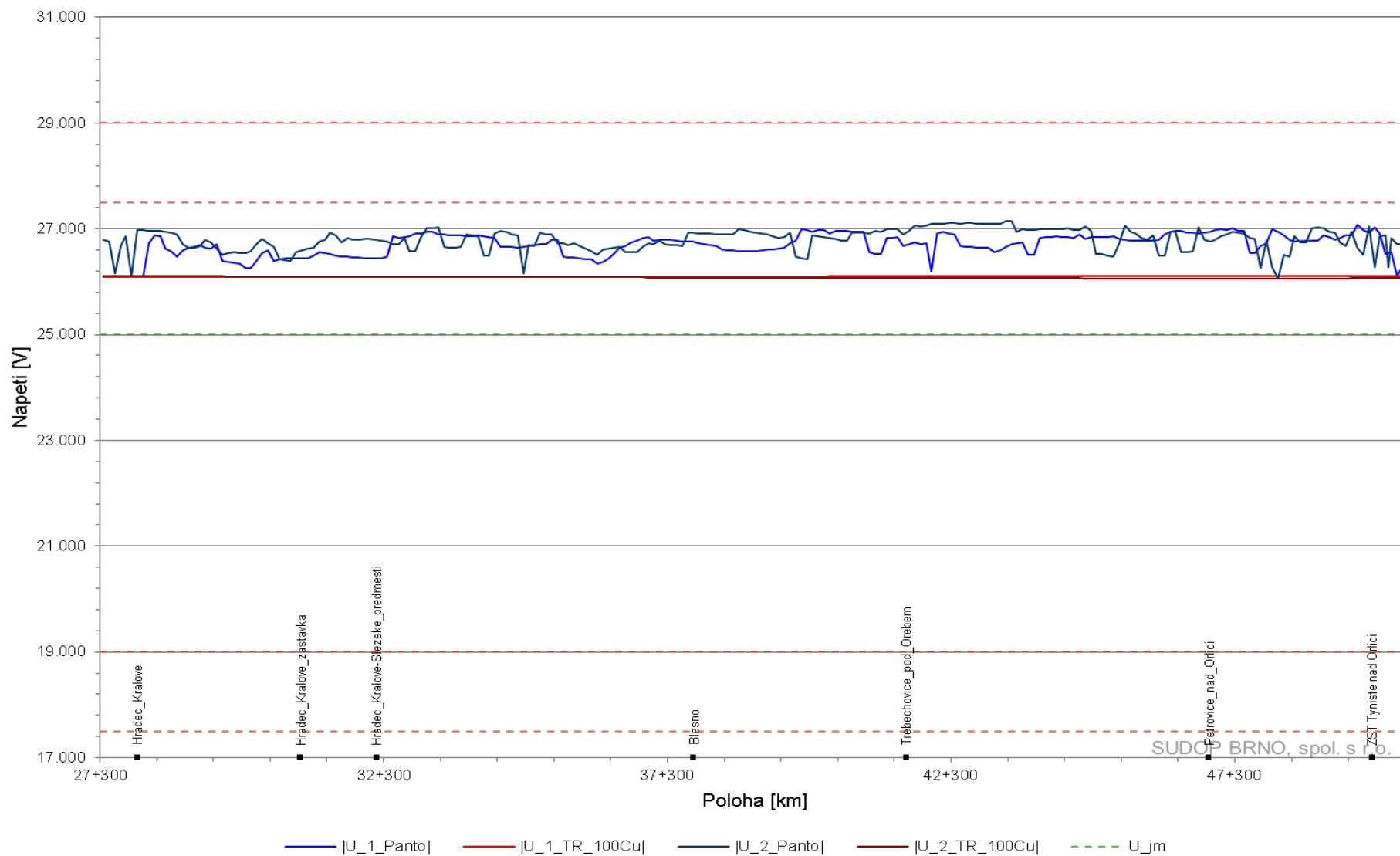
8.5 Proudové zatížení napájecího vedení



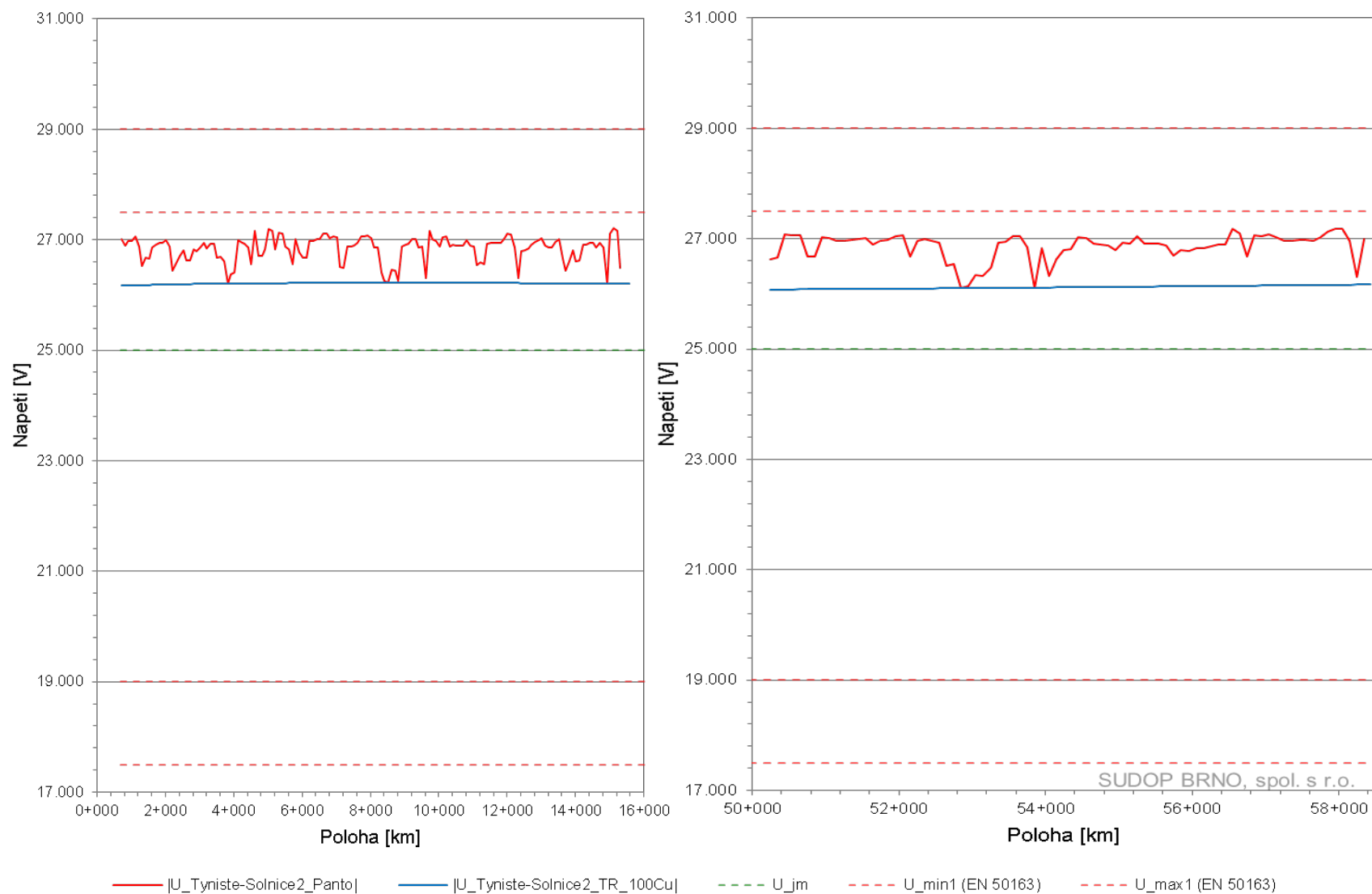
8.6 Minimální napětí v úseku Choceň - Týniště



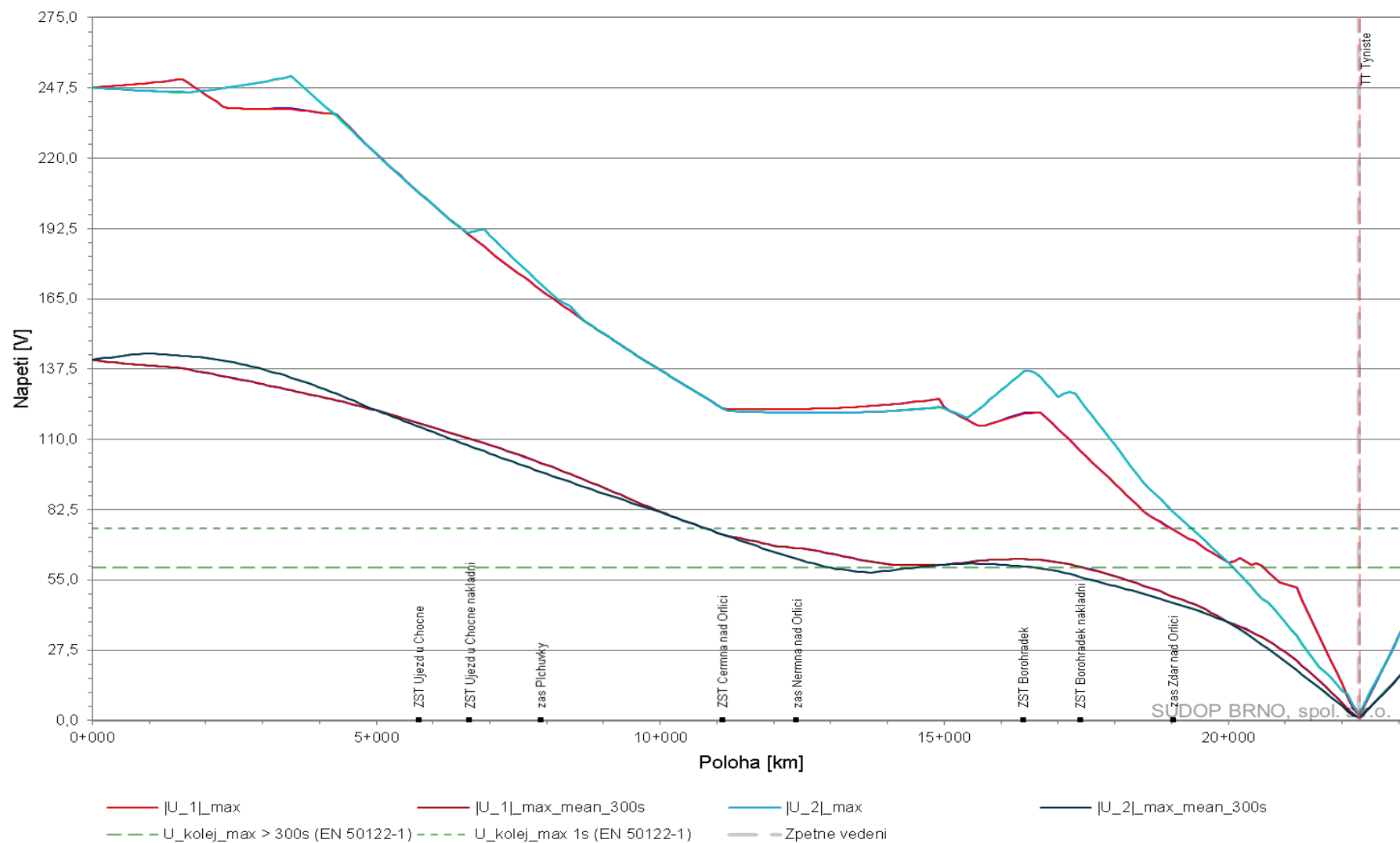
8.7 Minimální napětí v úseku Hradec Králové – Týniště



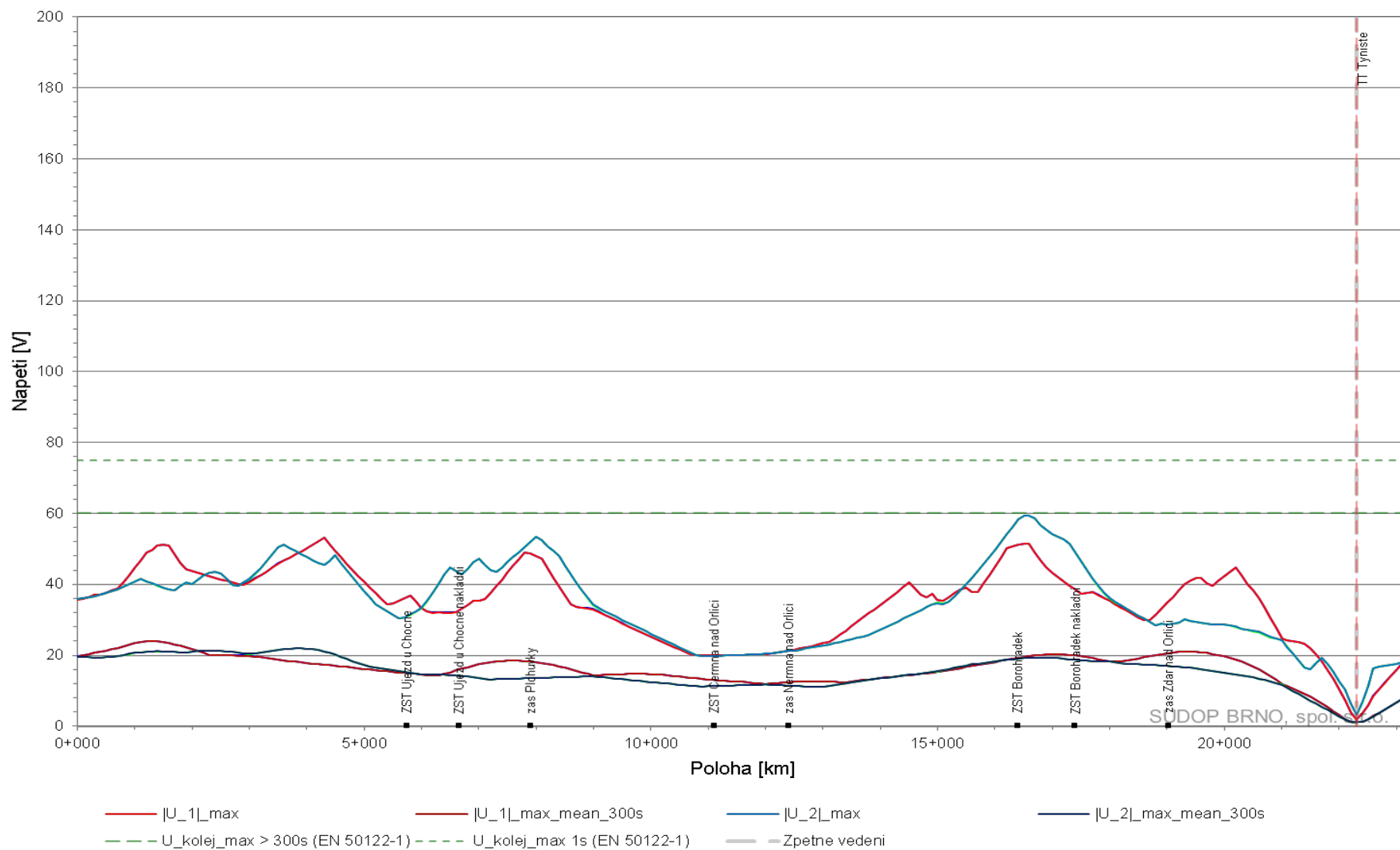
8.8 Minimální napětí v úseku Solnice - Týniště



8.9 Napětí kolejnice - zem v úseku Choceň – Týniště (bez přídavného uzemnění)



8.10 Napětí kolejnice - zem v úseku Choceň – Týniště (s uzemněním po 3km)



B.12 ENERGETICKÉ VÝPOČTY

Modernizace TNS Týniště nad orlicí

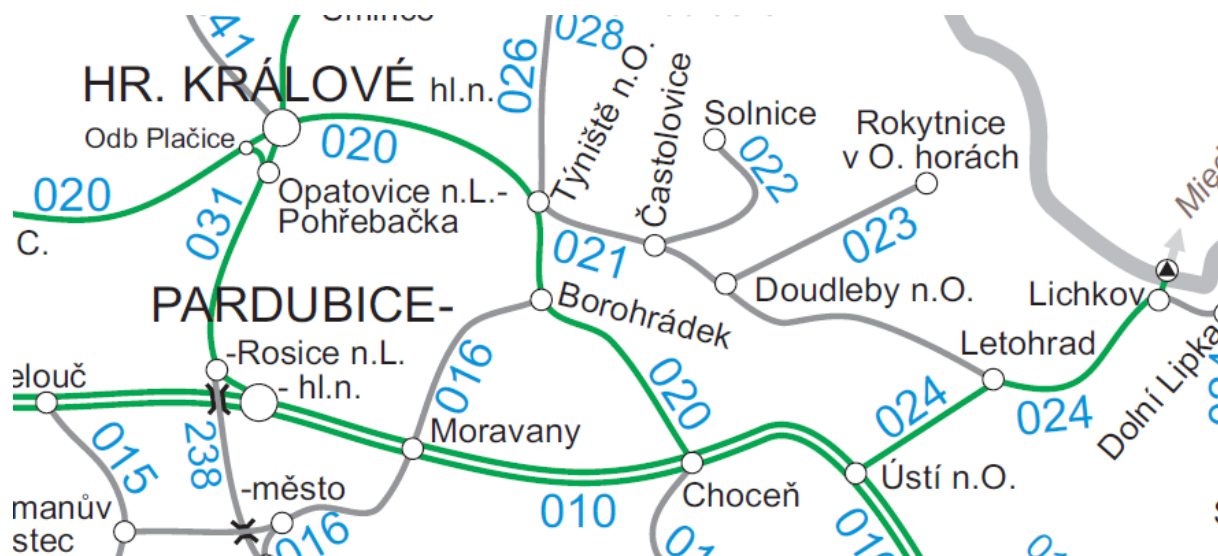
1 Obsah

1	Obsah	1
2	Úvod.....	2
3	Podklady.....	3
3.1	Model infrastruktury, jízdní řád a HV.....	3
3.2	Model napájení	3
4	Vstupní data	3
4.1	Parametry sítě.....	3
4.2	Parametry trakční měnirny	4
4.3	Parametry trakčního vedení.....	4
4.4	Parametry hnacích vozidel	5
5	Metoda výpočtu.....	7
6	Výsledky	7
6.1	Zatížení TM Týniště.....	7
6.2	Provizorní stav po dobu výstavby	7
6.3	Napájecí a zpětné vedení	8
6.4	Zkratové poměry	8
6.5	Střední užitečné napětí oblasti a vlaku	8
7	Závěr	11
8	Přílohy	12
8.1	Modelový grafikon	13
8.2	Průběh výkonu TM Týniště.....	14
8.3	Průběh špičkového zatížení TM Týniště	15
8.4	Průběh proudu ve zpětném vedení.....	16
8.5	Proudové zatížení zpětného vedení	17
8.6	Proudové zatížení napájecího vedení	18
8.7	Průběh zkratu Choceň – Týniště	19
8.8	Průběh zkratu Choceň – Týniště	20
8.9	Střední užitečné napětí oblasti	21

2 Úvod

Tyto energetické výpočty mají za cíl navrhnout potřebné dimenzování TNS Týniště s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu. Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomoci programů OpenTrack a OpenPowerNet.

Nyní TNS Týniště napájí jednokolejnou trať Hradec Králové – Choceň trakční proudovou soustavou DC 3kV proti TNS v Hradec Králové a TNS Choceň.



Výhledově dojde ke zdvoukolejnění tratě mezi Hradcem Králové a Chocní a k elektrizaci tratě Týniště – Solnice. Také se počítá s tím, že se v budoucnu bude celá tato oblast napájet střídavou proudovou soustavou AC 25kV 50Hz. Nicméně než se tak nastane, tak bude trať Hradec Králové – Choceň napájena ještě stejnosměrně z měníren Hr. Králové, Týniště a Choceň, ale trať Týniště – Solnice již bude napájena střídavě z trakční transformovny Týniště, kde bude kombinovaná napájecí stanice.

Tyto energetické výpočty řeší dle zadání objednatele (SUDOP PRAHA a.s.) pouze dimenzování trakční měnírny Týniště (stejnosměrná část budoucí kombinované napájecí stanice). V simulaci je tedy řešena pouze trať Hradec Králové – Choceň, která bude napájena stejnosměrně. Dále byl proveden výpočet středního užitečného napětí vlaku a oblasti.

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 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **Koleje**
Niveleta koleje byla převzata od zadavatele a odpovídá zpracovaným projektům (výhledovému stavu). Stejně tak byly převzaty polohy výhybek a nástupišť.
- **Jízdní řád**
Byl zpracován po konzultaci s dopravním technologem objednatele (SUDOP PRAHA a.s.) a na základě toho byl vypracován modelový dvouhodinový špičkový grafikon, viz 8.1 Modelový 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 EC, R, NEx a Pn se uvažuje s lokomotivou typu Vectron. U vlaků kategorie Os se uvažuje s elektrickou soupravou RegioPanter 650 a u vlaků Sp se uvažuje s elektrickou soupravou RegioPanter 640.

3.2 Model napájení

- **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**
Kromě vlaků kategorie Os a Sp se v modelu 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.

4.1 Parametry sítě

- Napětí 3 kV
- Frekvence 0 Hz

Model napájení byl rozdělen kvůli změně kilometráže na dva vzájemně propojené úseky:

- Hradec Králové – Týniště km 27,359-50,305
- Choceň – Týniště km 0,000-23,120

Změna kilometráže je v žst. Týniště 50,305=23,120.

4.2 Parametry trakční měřirny

- Výstupní napětí 3,3 kV
- Vnitřní odpor 0,044 Ω
- Úbytek napětí 0,005kV při 0,001 Ω
- TM Hradec Králové v km 29,900 (Hradec Králové – Týniště)
- TM Týniště v km 22,300 (Choceň – Týniště)
- TM Choceň v km 2,000 (Choceň – Týniště)

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 poloměr¹ 4,685 mm
- činný odpor při 20°C 0,150 Ω /km
- teplotní součinitel 0,004 $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- uvažovaná teplota vodiče 100°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 $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- uvažovaná teplota vodiče 100°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 $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- uvažovaná teplota vodiče 100°C

Pravá kolejnice

- geometrická poloha [x ; y] [0,7175 ; 0] m
- ekvivalentní poloměr 38,54 mm
- činný odpor² při 20°C 0,0416 Ω /km

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

- 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 0,0416 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C⁻¹
- 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 země³ 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 400t
- Jízdní odpor R
- Lokomotiva Vectron

NEx linky začínající číslem 40-43

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

NEx linky začínající číslem 48

- Hmotnost bez lokomotivy 1155t
- Jízdní odpor S
- Lokomotiva Vectron

² Odpor kolejnice vychází ze změřených hodnot uvedených v dopise zn. 21480/2017-SŽDC-O14 pro tvar kolejnice UIC 60 po připočtení odporu překlenutého izolovaného styku.

³ 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 100km (u nerekonstruovaných tratí tato hodnota obvykle bývá okolo 1 Ωkm)“.

NEx linky začínající číslem 49

- Hmotnost bez lokomotivy 777t
- Jízdní odpor U_2
- Lokomotiva Vectron

Os linky začínající číslem 20-21

- RegioPanter 640
- Jízdní odpor R

Os linky začínající číslem 27-28

- RegioPanter 650
- Jízdní odpor R

Pn

- Hmotnost bez lokomotivy 2050t
- Jízdní odpor T_4
- Lokomotiva Vectron

Sp

- 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
- 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

650 RegioPanter

- Maximální výkon 1,36 MW
- Maximální tažná síla 200 kN
- Max. napětí při rekuperaci 3,6 kV
- 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 2,7kV) 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.

Výpočet byl proveden za běžného stavu napájení. Úsek Hradec Králové – Týniště je napájen oboustranně z TM Hradec Králové a TM Týniště. Úsek Týniště – Choceň je napájen oboustranně z TM Týniště a TM Choceň. Každá kolej je napájena samostatně bez příčného propojení.

6 Výsledky

V první simulaci byla modelována sestava trakčního vedení bez zesilovacího vedení. Některé vlaky ale nesplnili podmínku, že minimální střední užitečné napětí nesmí klesnout pod 2,7kV. Proto bylo do modelu přidáno jedno zesilovací lano 120Cu pro každou kolej.

6.1 Zatížení TM Týniště

Průběh výkonu v řešené špičce je uveden v příloze číslo 8.2. Průběh jednotlivých špičkových zatížení je pak v příloze číslo 8.3. Z výsledků vyplývají tyto maximální špičkové výkony:

- P_{\max} 12,8 MW
- $P_{15\min.}$ 7,9MW
- $P_{1\text{hod.}}$ 5,1MW
- $P_{2\text{hod.}}$ 5,1MW

Tyto špičkové výkony vychází ze zadaného grafikonu. Pokud se grafikon výhledové dopravy změní, bude potřeba tyto výkony přepočítat.

6.2 Provizorní stav po dobu výstavby

Po dobu výstavby TNS Týniště bude potřeba zajistit napájení v té době ještě jednokolejné trati. Současná naměřená čtvrt hodinová maxima se pohybují kolem 2MW a tak pro toto provizorní napájení plně postačí jedna mobilní usměrňovací jednotka o jmenovitém výkonu 5MW.

6.3 Napájecí a zpětné vedení

Průběh proudového zatížení napájecího vedení je v příloze číslo 8.6. Z výsledků vyplývá maximální proudové zatížení TNS Týniště na 4,1 kA. Proudové zatížení napájecího vedení vyhoví pro tři lana 120Cu pro každý ze 4 napájecích úseků.

Průběh proudového zatížení zpětného vedení je v přílohách číslo 8.4 a 8.5. Maximální zpětný proud vychází 4,1kA. Kabely s časovou oteplovací konstantou 20-30 min je potřeba dimenzovat na proudové zatížení 2,3kA.

6.4 Zkratové poměry

Průběh zkratu je v příloze číslo 8.7 a 8.8.

V úseku Hradec Králové – Týniště je minimální zkratový proud uprostřed úseku 7,5kA, což je 3,75kA na jeden napáječ. Maximální možné nastavení ochrany je tak 3450A.

V úseku Choceň – Týniště je minimální zkratový proud uprostřed úseku 7,2kA, což je 3,6kA na jeden napáječ. Maximální možné nastavení ochrany je tak 3300A.

Oba dva úseky tedy vyhoví z hlediska nastavení ochrany a rozlišení zkratového proudu.

6.5 Střední užitečné napětí oblasti a vlaku

Výpočet středního užitečného napětí oblasti a vlaku byl proveden v souladu s ČSN EN 50 388 ed. 2 bod 8. K výpočtu byl použit software pro simulaci železničního provozu OpenTrack s energetickou nástavbou OpenPowerNet. Výpočet byl proveden pro výhledovou dopravní špičku, viz grafikon v příloze číslo 8.1. Oblast byla spočítána pro oba dva meziměřírenské úseky z Hradce Králové do Chocně.

6.5.1 Střední užitečné napětí vlaku v úseku Choceň – Týniště

spoj	formace	lokomotivy	U_{mu} V
celkem		22	3 075
<i>Maximum</i>		1	3 152
<i>Minimum</i>		1	2 811
EC 100	EC (Vectron+R400t)	1	3 000
EC 102	EC (Vectron+R400t)	1	3 003
EC 201	EC (Vectron+R400t)	1	3 032
EC 203	EC (Vectron+R400t)	1	3 039
Nex 40000	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 978
Nex 40002	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 995
Nex 40004	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 993
Nex 41001	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 811
Nex 41003	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 813
Nex 42000	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 998
Nex 42002	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	3 005
Nex 42004	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	3 018
Nex 43001	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 846
Nex 43003	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 845
Os 2002	Os (1*640)	1	3 150
Os 2101	Os (1*640)	1	3 064
Pn 60000	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	3 084
Pn 60002	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	3 082
Pn 61001	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	3 016
Pn 61003	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	2 999
Sp 1800	Sp (1*640)	1	3 152
Sp 1901	Sp (1*640)	1	3 102

Legenda:

Spoj	označení v jízdním řádu
Formace	složení vlaku
Lokomotivy	počet lokomotiv
U_{mu}	střední užitečné napětí (mean useful voltage)

6.5.2 Střední užitečné napětí vlaku v úseku Hradec Králové – Týniště

spoj	formace	lokomotivy	U_{mu} V
celkem		36	3 096
<i>Maximum</i>		1	3 335
<i>Minimum</i>		1	2 763
EC 100	EC (Vectron+R400t)	1	2 911
EC 102	EC (Vectron+R400t)	1	2 911
EC 201	EC (Vectron+R400t)	1	2 931
EC 203	EC (Vectron+R400t)	1	2 931
Nex 40000	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 958
Nex 40002	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 961
Nex 41001	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 833
Nex 41003	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 832
Nex 41005	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	- ¹⁾
Nex 42000	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 982
Nex 42002	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 984
Nex 43001	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 889
Nex 43003	Nex Vectron S 1800 t, 740 m	1	2 890
Nex 48000	Nex Vectron S 1155t, 670 m	1	3 031
Nex 48002	Nex Vectron S 1155t, 670 m	1	3 035
Nex 49001	Nex Vectron U2 777t, 670 m	1	2 763
Nex 49003	Nex Vectron U2 777t, 670 m	1	2 888
Nex 49005	Nex Vectron U2 777t, 670 m	1	3 187
Os 2000	Os (1*640)	1	2 998
Os 2002	Os (1*640)	1	3 335
Os 2101	Os (1*640)	1	3 137
Os 2103	Os (1*640)	1	3 071
Os 2701	Os (1*640)	1	3 108
Os 2703	Os (1*640)	1	3 147
Os 2803	Os (1*640)	1	3 237
Pn 60000	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	3 093
Pn 60002	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	3 092
Pn 61001	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	3 065
Pn 61003	Pn Vectron T4 2050 t, 364 m	1	3 072
Sp 1600	Sp (1*640)	1	3 156
Sp 1602	Sp (1*640)	1	3 158
Sp 1701	Sp (1*640)	1	3 053
Sp 1703	Sp (1*640)	1	3 051
Sp 1800	Sp (1*640)	1	3 268
Sp 1901	Sp (1*640)	1	3 148

Poznámky:

-¹⁾ Uvedený vlak nevstoupil do simulovaného časového okna.

6.5.3 Střední užitečné napětí oblasti v úseku Hradec Králové – Týniště

Výsledky jsou zobrazeny v příloze číslo 8.9, kde je vidět, že střední užitečné napětí v řešené oblasti spočítané po dobu 2h, po kterou trvá dopravní špička, neklesne pod 3kV.

7 Závěr

Z výsledků vyplynula potřeba jednoho zesilovacího lana pro splnění požadavků TSI ENE. Navržené dimenzování trakční měnirny vyhoví.

Zpracoval:

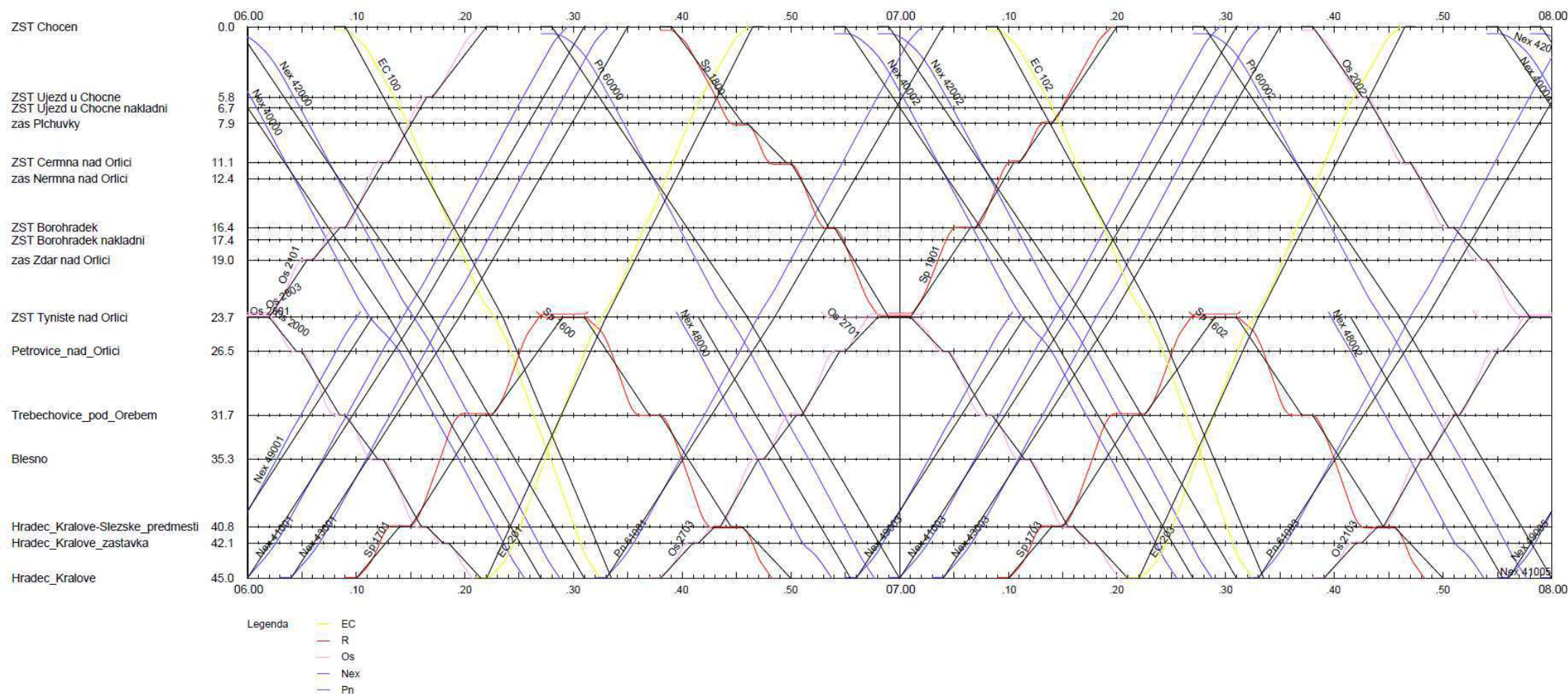
Jiří Podhradský

8 Seznam příloh

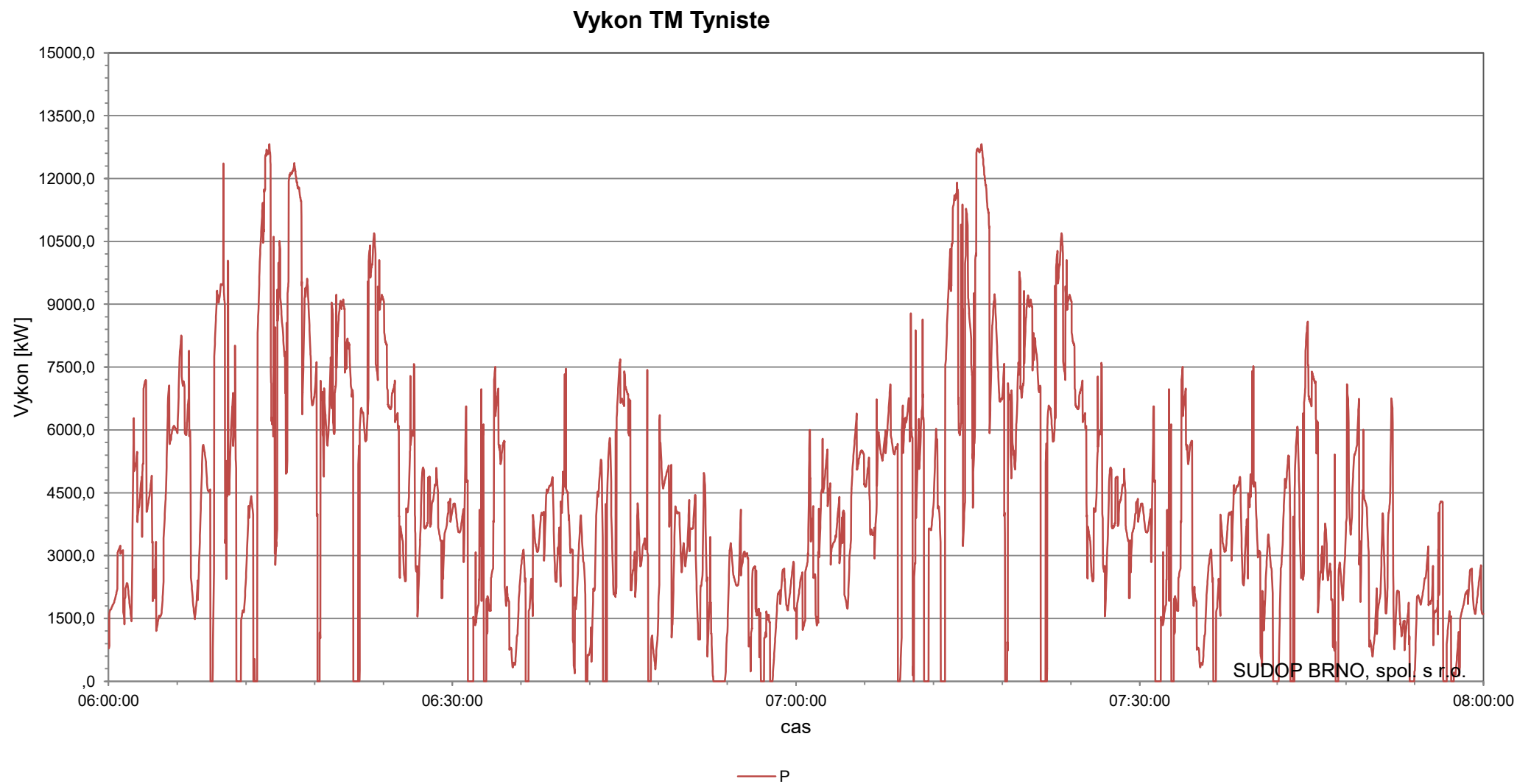
8	Přílohy	12
8.1	Modelový grafikon	13
8.2	Průběh výkonu TM Týniště.....	14
8.3	Průběh špičkového zatížení TM Týniště	15
8.4	Průběh proudu ve zpětném vedení.....	16
8.5	Proudové zatížení zpětného vedení.....	17
8.6	Proudové zatížení napájecího vedení	18
8.7	Průběh zkratu Choceň – Týniště	19
8.8	Průběh zkratu Choceň – Týniště	20
8.9	Střední užitečné napětí oblasti.....	21

8.1 Modelový grafikon

ZST Chocen - Hradec_Kralove

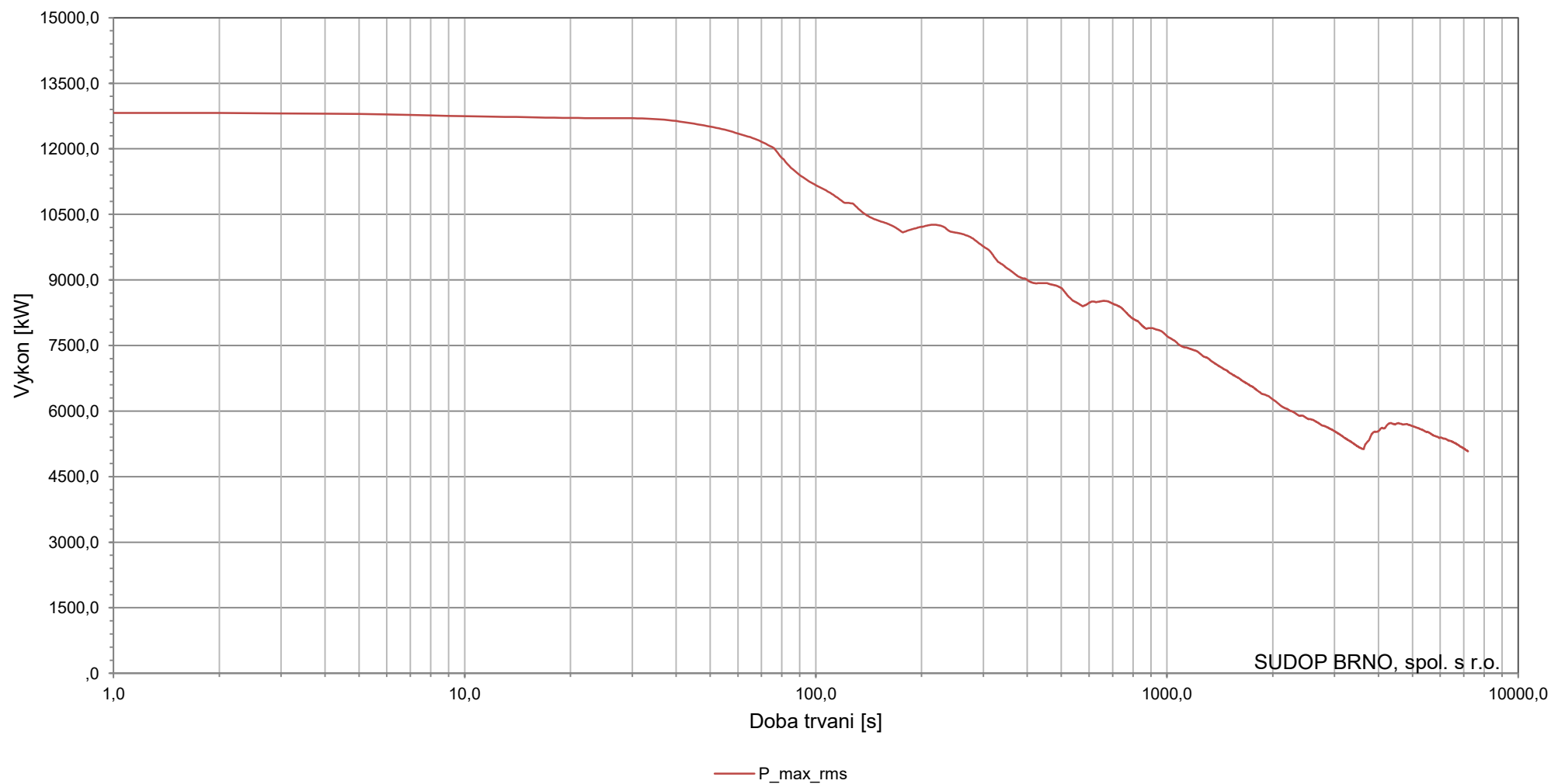


8.2 Průběh výkonu TM Týniště



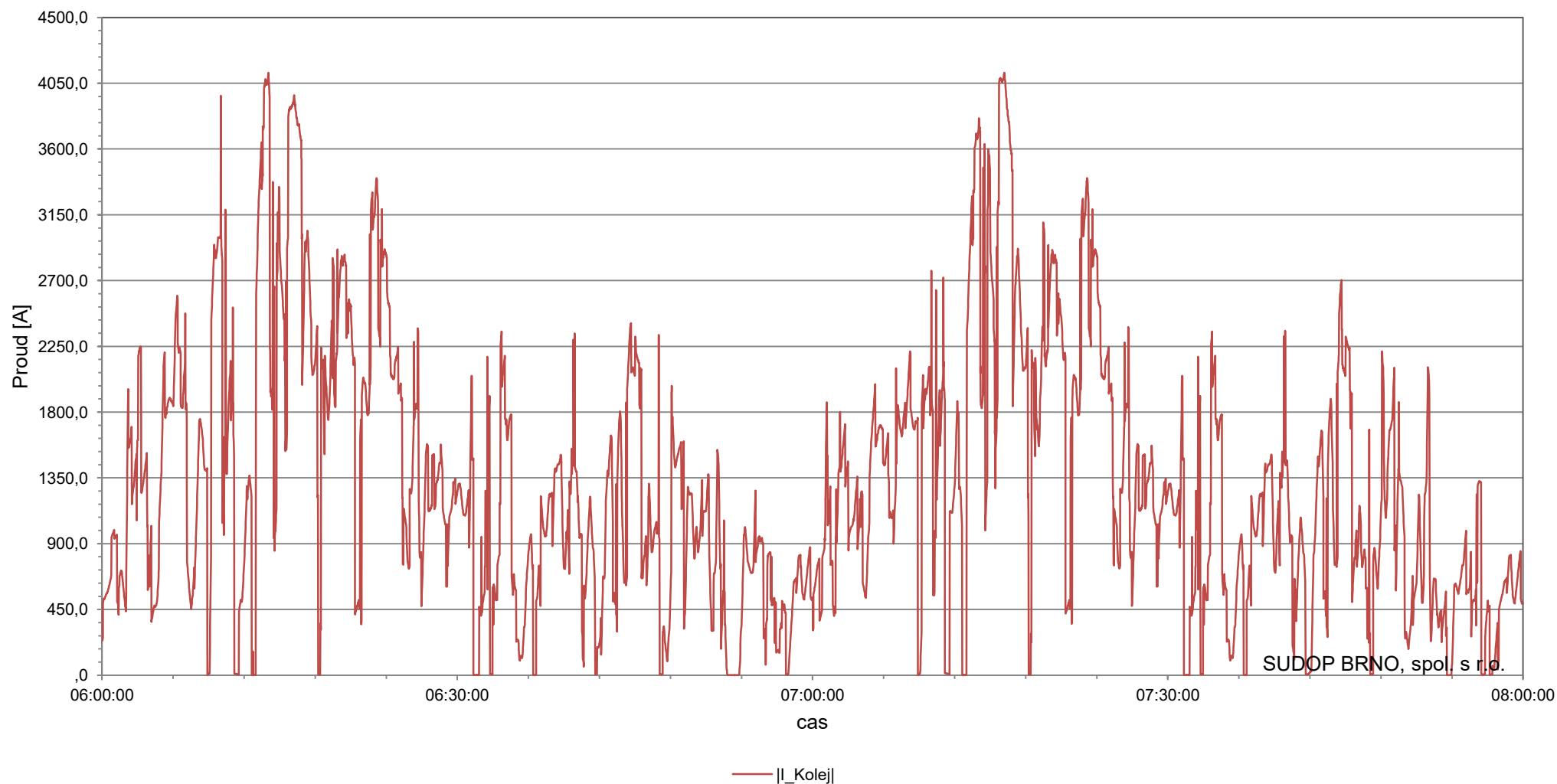
8.3 Průběh špičkového zatížení TM Týniště

vykonove zatizeni TM Tyniste



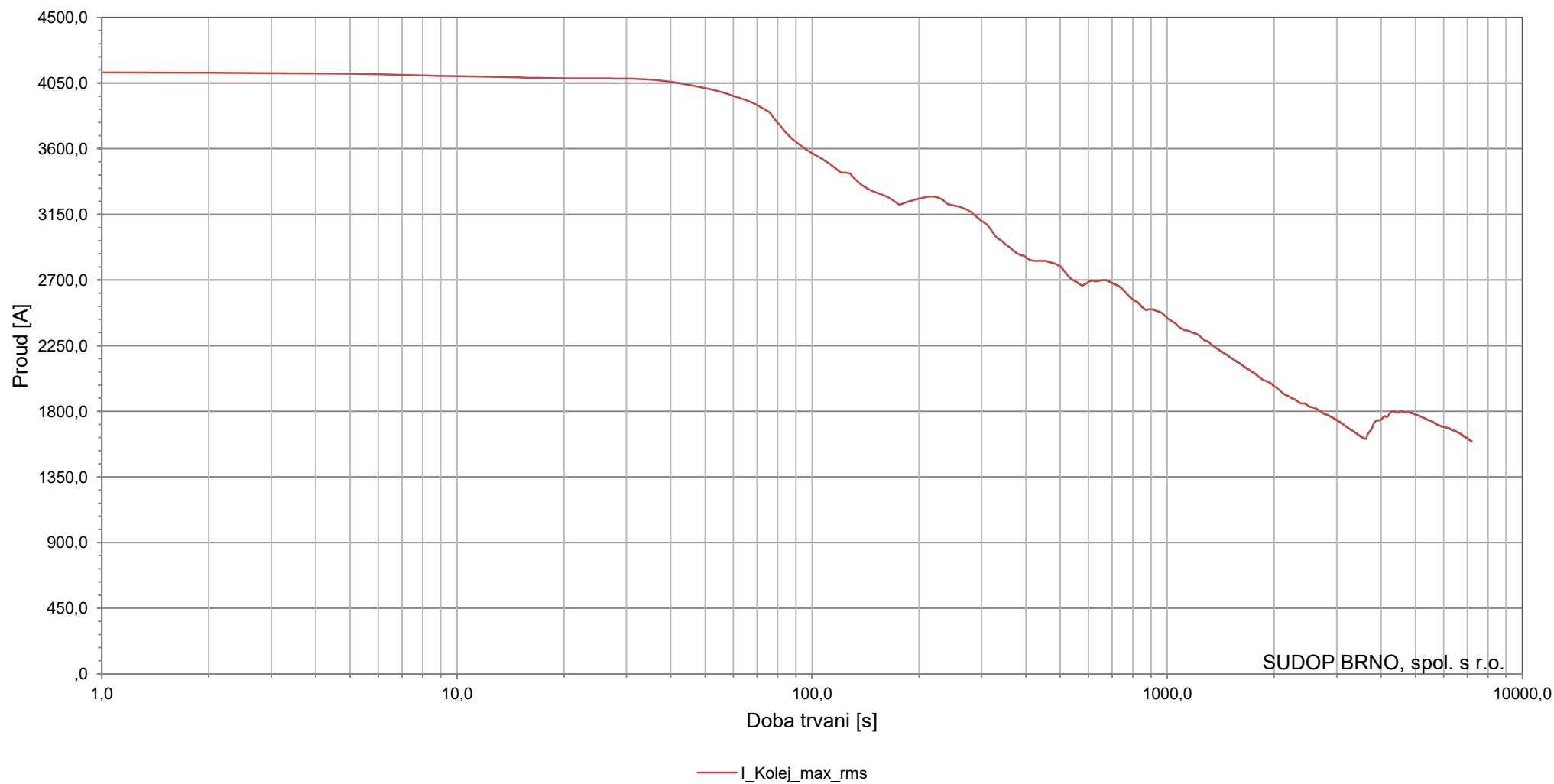
8.4 Průběh proudu ve zpětném vedení

Prubeh proudu ve zpetnem vedeni, TNS Tyniste



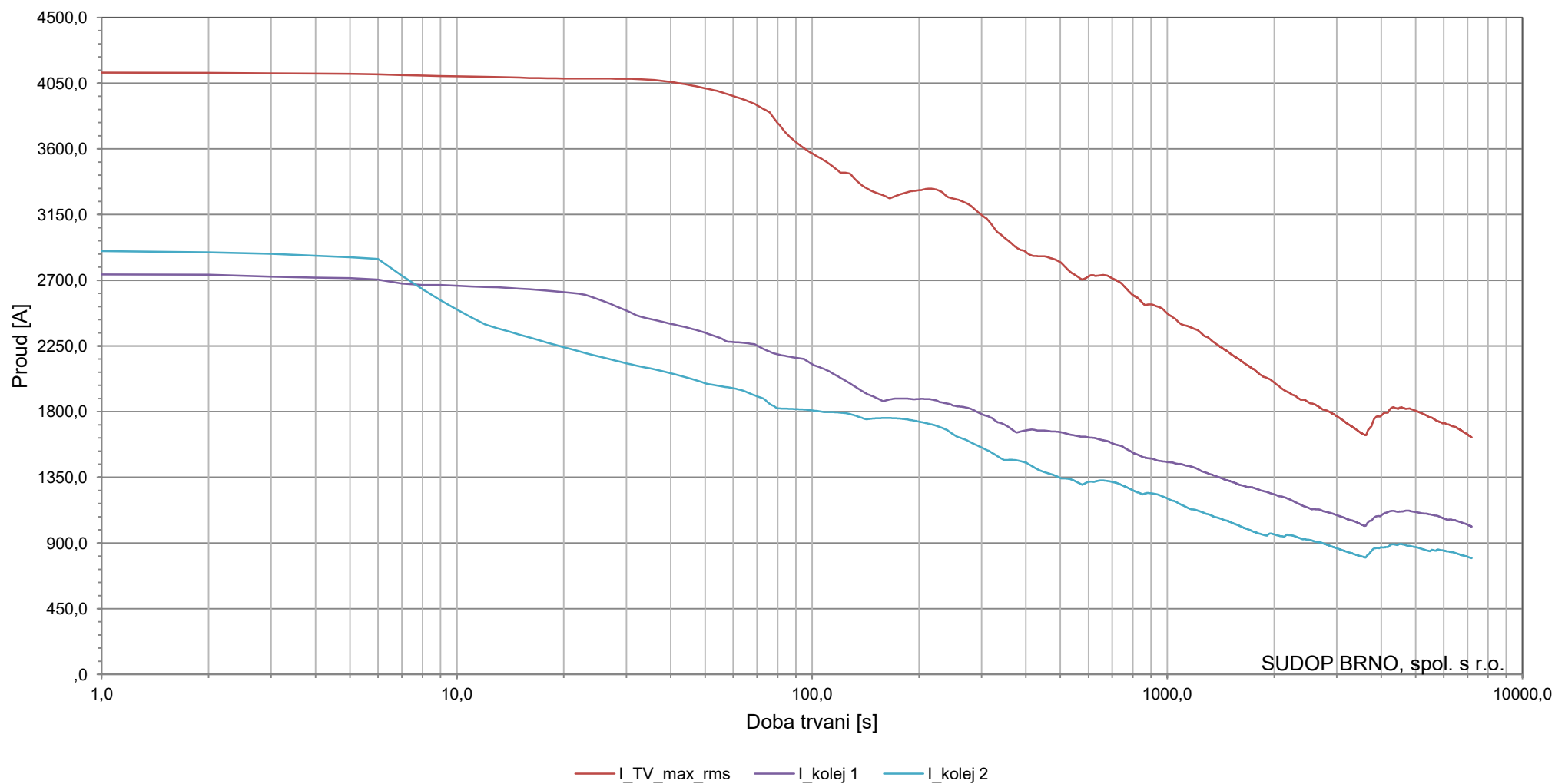
8.5 Proudové zatížení zpětného vedení

Proudové zatížení zpětného vedení, TNS Týniště

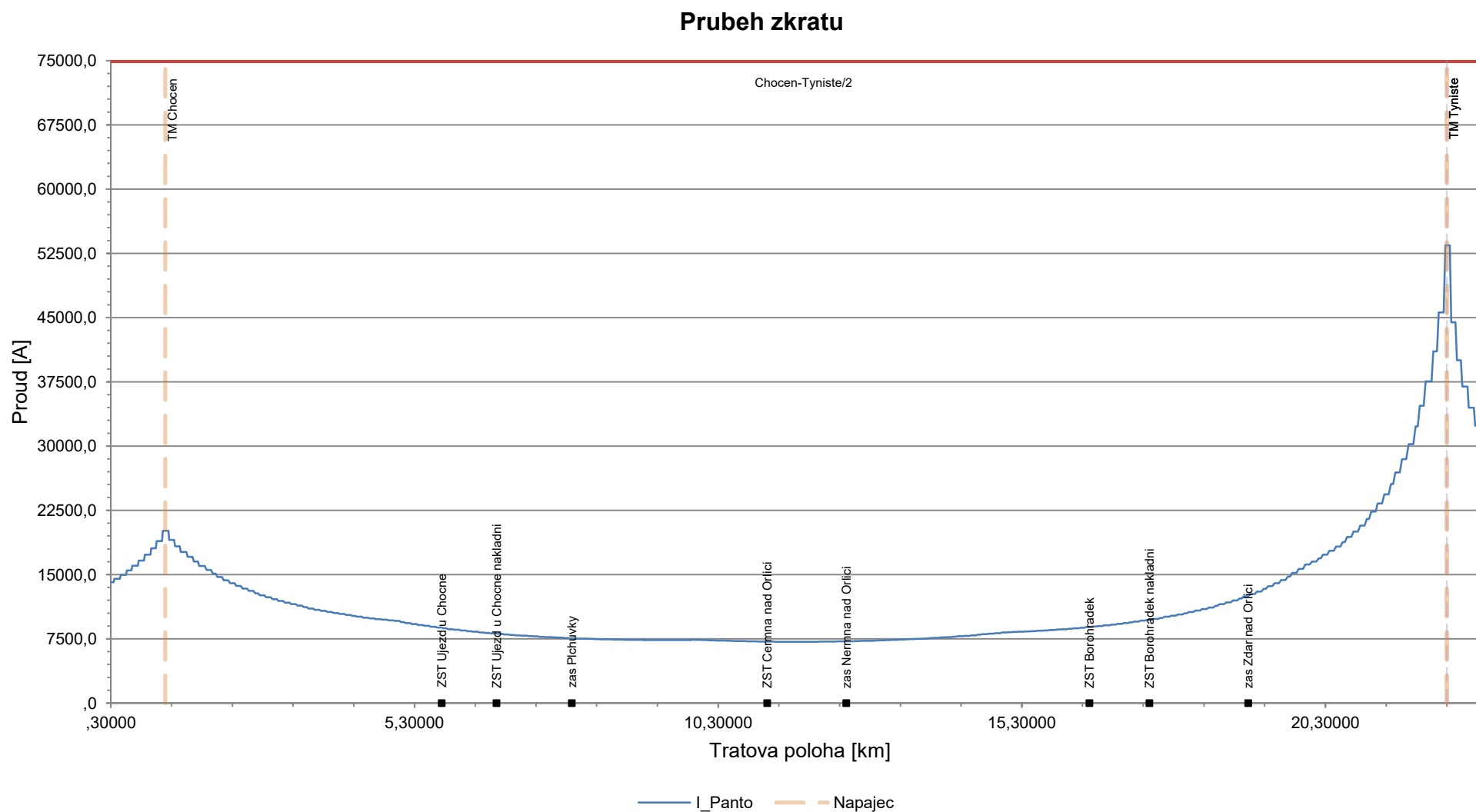


8.6 Proudové zatížení napájecího vedení

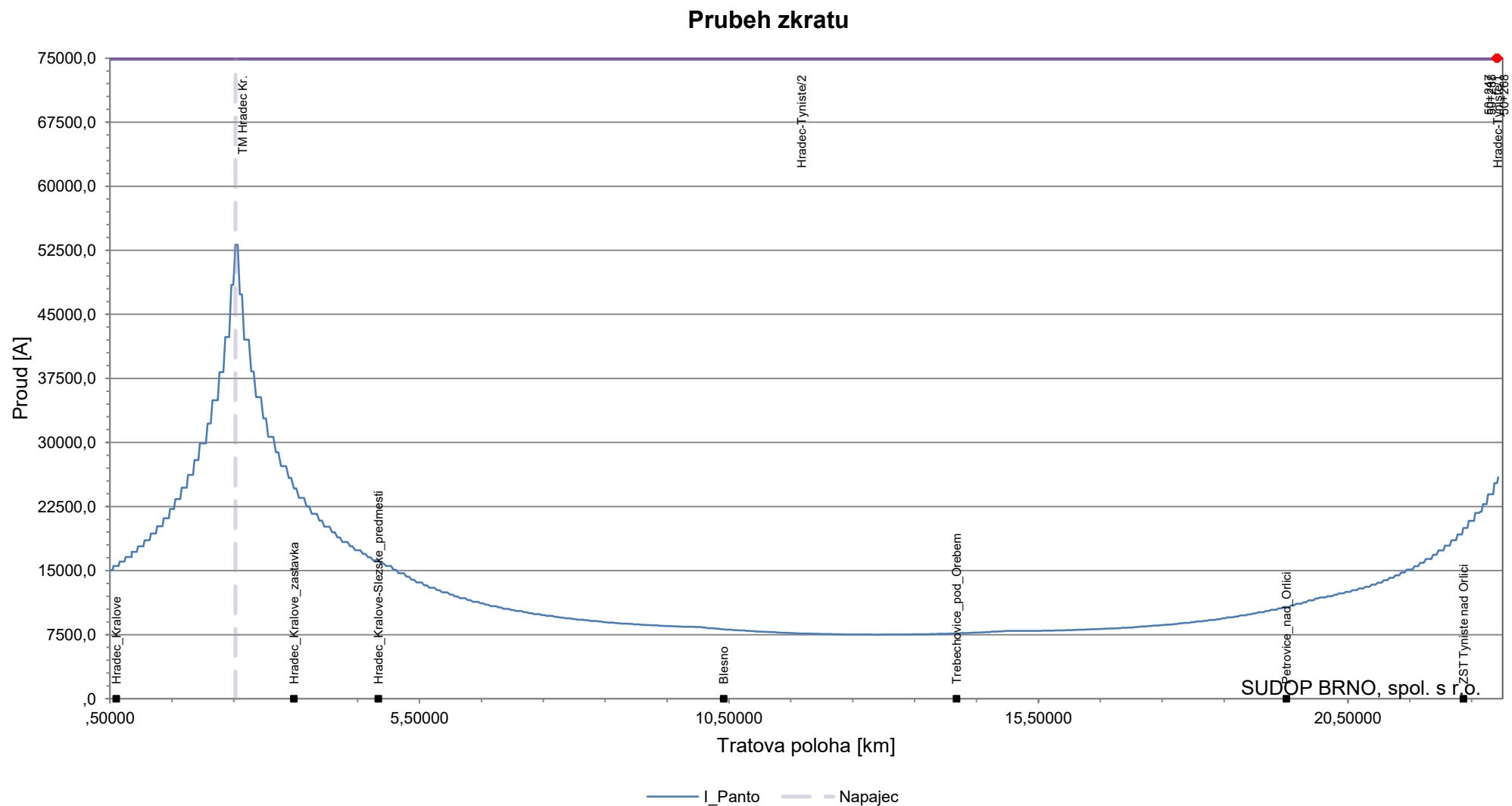
Proudové zatížení napájecího vedení, TNS Tyniste



8.7 Průběh zkratu Choceň – Týniště



8.8 Průběh zkratu Choceň – Týniště



8.9 Střední užitečné napětí oblasti

Stredni uzitecne napeti oblasti

