

1	10.9.2020	ZMĚNA DLE PŘIPOMÍNEK VÚŽ	ČÍSLO SOUPRAVY:
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	



SUDOP BRNO

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

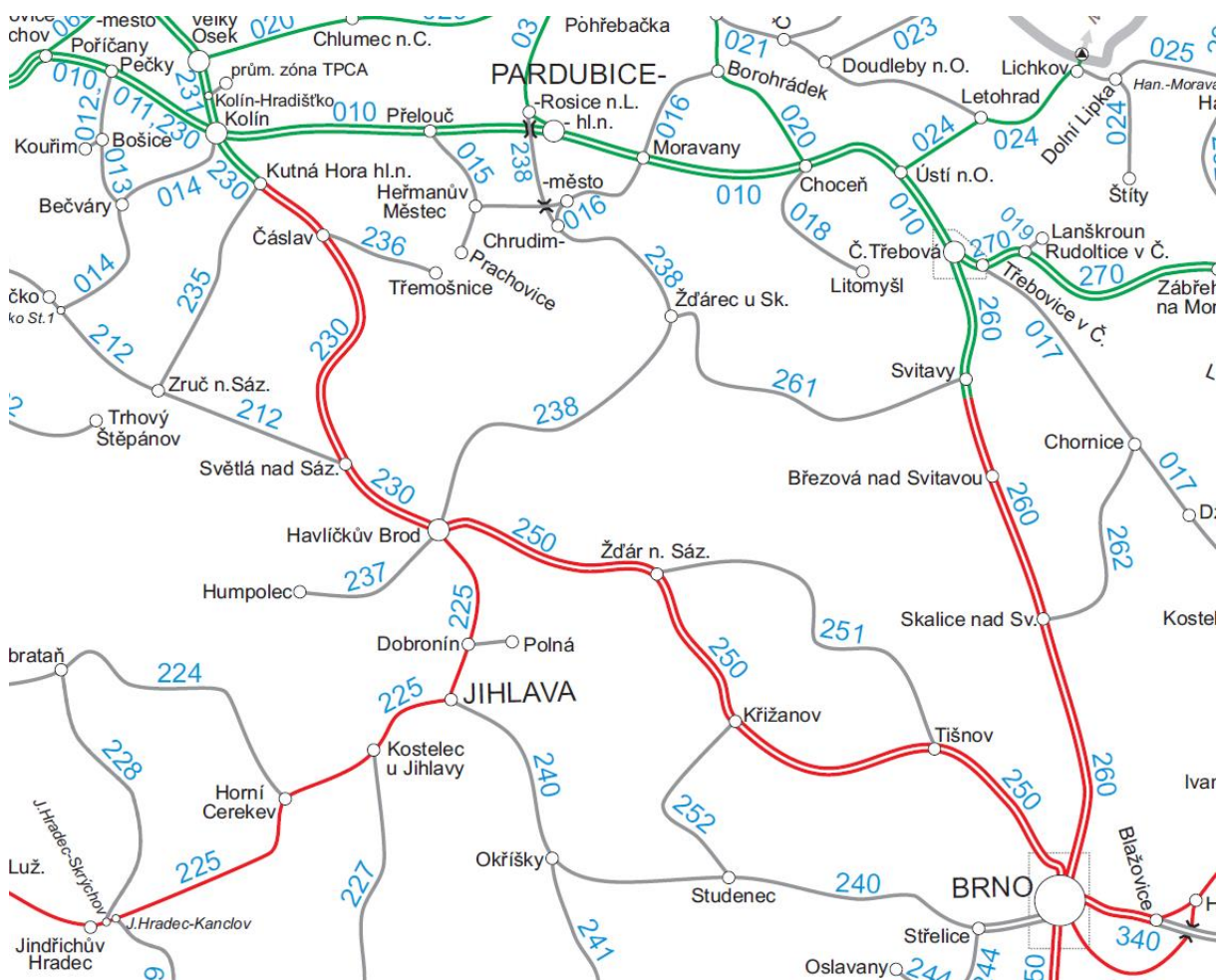
OBJEDNAVATEL:	Správa železnic, státní organizace, Dlážďěná 1003/7, 110 00 Praha 1 Stavební správa východ (organizační jednotka)		tel. : +420 972 625 804 E-mail: sudop@sudop-brno.cz	
PROFESNÍ SKUPINA:	23 Trakční vedení	VEDOUCÍ PROF. SKUPINY Ing. Jiří Pelc	GENERÁLNÍ ŘEDITEL Ing. Kamil Chmela	
ODPOVĚDNÝ PROJ. ZAKÁZKY Ing. Jan Zářecký <i>Galíř</i>	ODPOVĚDNÝ PROJ. PS, SO Jiří Podhradský <i>Podhradský</i>	NAVRHL, VYPRACOVAL Ing. Ondřej Svoboda <i>Svoboda</i>	KONTROLOVAL Jiří Podhradský <i>Podhradský</i>	
KRAJ: Jihomoravský/Vysočina		POVĚŘENÝ OÚ: Tišnov – Golčův Jeníkov		STUPEŇ: DUSP+PDPS
ZVÝŠENÍ TRAKČNÍHO VÝKONU TNS ČEBÍN			ZAK. ČÍSLO 20047-01-1020	ARCH. ČÍSLO 2020240017
			MĚŘITKO	POČET FORMÁTŮ
Energetické výpočty			DATUM: 10/2020	
			ČÁST DOKUM. B.11.1	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	5
4.2	PARAMETRY DC SÍTĚ	5
4.3	PARAMETRY TRAKČNÍCH TRANSFORMOVEN (TT).....	5
4.4	PARAMETRY TRAKČNÍ MĚNÍRNY KOLÍN (TM)	5
4.5	PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ	5
4.6	PARAMETRY HNACÍCH VOZIDEL	8
5	METODA VÝPOČTU.....	10
6	VÝSLEDKY	10
6.1	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV.....	11
6.2	STŘEDNÍ UŽITEČNÉ NAPĚTÍ VLAKU	12
6.3	STŘEDNÍ UŽITEČNÉ NAPĚTÍ OBLASTI	14
6.4	REKUPERAČNÍ BRZDĚNÍ	14
6.5	PARAMETRY VZTAHUJÍCÍ SE K VÝKONNOSTI NAPÁJECÍ SOUSTAVY	14
6.6	OCHRANNÁ OPATŘENÍ PROTI NEDOVOLENÉMU POTENCIÁLU KOLEJNICE	14
6.7	VÝKONY STŘÍDAVÝCH NAPÁJECÍCH STANICE - TT	14
6.8	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV A ZKRATOVÉ POMĚRY	15
7	ZÁVĚR.....	17

2 Úvod

Tyto energetické výpočty řeší napájení úseku Brno - Kolín a mají za cíl posoudit střídavé napájení AC 25kV 50Hz po celé délce AC úseku (Brno Husovice – Kutná Hora) s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu a stejnosměrného úseku DC 3 kV (Kutná Hora – TM Kolín) – **trať 230 a 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 i DC 3kV, viz obrázek níže.



Do simulace byly zahrnuty tratě 250 a 230.

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

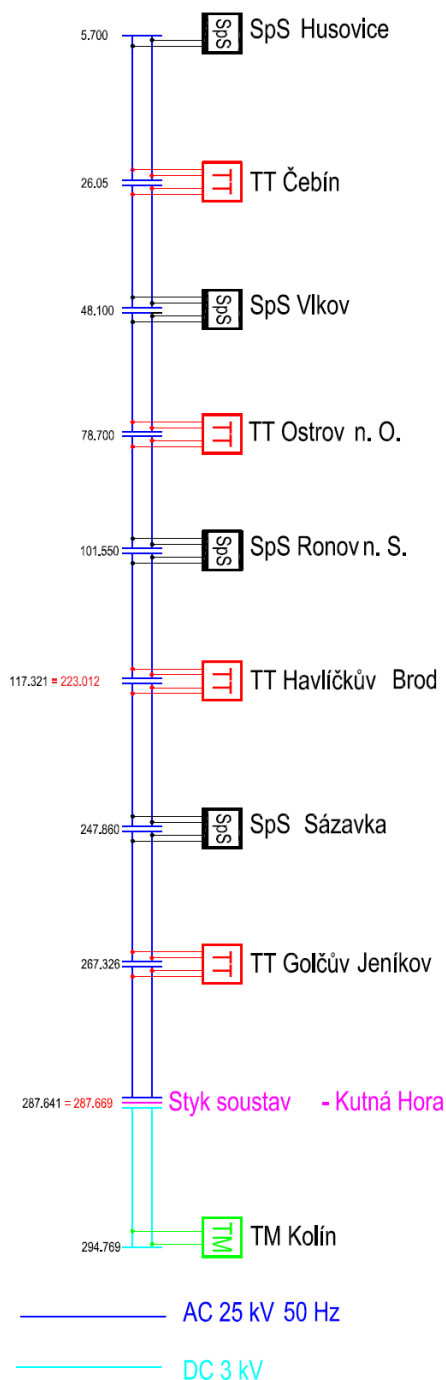
3.2 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **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 DC sítě

- Napětí 3 kV
- Frekvence 0 Hz

4.3 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)
- TNS Havlíčkův Brod v km 117,321 = 223,012 (Brno - Kolín)
- TNS Golčův Jeníkov v km 267,326 (Brno - Kolín)
- Rekuperace TNS umožňuje přetok energie zpět do sítě

4.4 Parametry trakční měřírny Kolín (TM)

- Výstupní napětí 3,3 kV
- Vnitřní odpor 0,044 Ω
- Úbytek napětí 0,005 kV při 0,001 Ω

4.5 Parametry trakčního vedení

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

4.5.1 Parametry trakčního vedení – AC soustava

Vodiče

Nosné lano 50Bz

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
- ekvivalentní poloměr¹ 3,578 mm
- činný odpor 0,44 Ω /km
- teplotní součinitel 0,004 $^{\circ}\text{C}^{-1}$
- uvažovaná teplota vodiče 80 $^{\circ}\text{C}$

Nosné lano 70Bz

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m

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

- ekvivalentní poloměr² 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
- 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

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.

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

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

4.5.2 Parametry trakčního vedení – DC soustavaVodiče**Nosné lano 120Cu**

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
- ekvivalentní poloměr⁶ 4,685 mm
- činný odpor při 20°C 0,150 Ω/km
- teplotní součinitel 0,004 °C⁻¹
- 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⁻¹
- 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⁻¹
- uvažovaná teplota vodiče 80°C

Pravá kolejnice

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

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)“.

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

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

- 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 země⁸ 0,01 S/km

4.6 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)

- Jízdní odpor R
- Lokomotiva 640 RegioPanter

Pn (66000 - 67013)

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

⁸ 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)“.

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 zadaných 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:

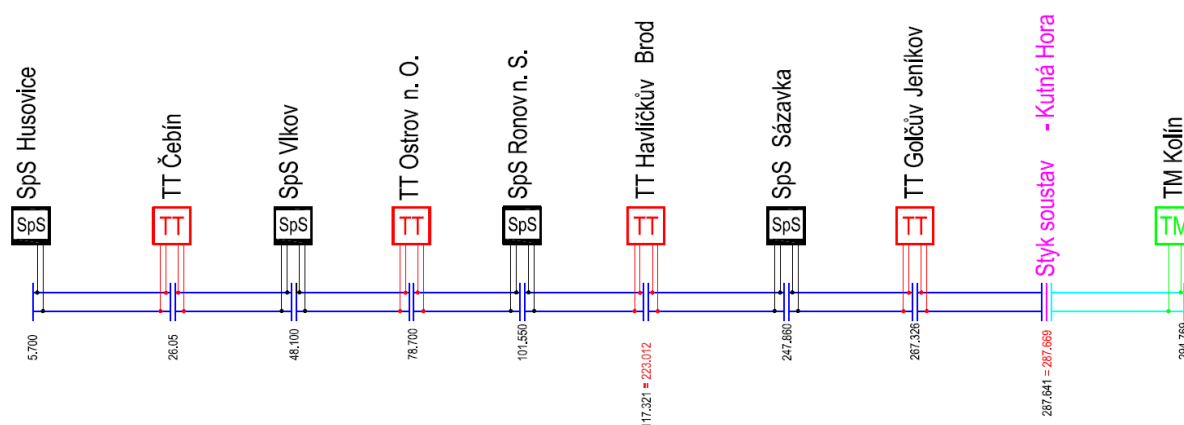
- I. OpenTrack na základě daného jízdního řádu rozmístí vlaky v oblasti.
- II. Dále spočítá na základě jejich jízdního odporu, hybnosti a trakční charakteristiky, jaký potřebují dodat výkon a tuto informaci (i s polohou vlaků) odešle programu OpenPowerNet.
- III. OpenPower následně iterační metodou spočítá, 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 střídavou napájecí soustavu uvažována trakční sestava 100Cu + 50Bz a pro stejnosměrnou proudovou soustavu sestava s jedním zesilovacím vedením 150Cu+ 120Cu+120Cu. **Trat' je napájena z TT Čebín, TT Ostrov nad Oslavou, TT Havlíčkův Brod, TT Golčův Jeníkov a TM Kolín. Dále se na trati nachází čtyři spínací stanice a to v Brně Husovicích, Vlkově u Tišnova, Ronově nad Sázavou a Sázavce. V žst. Kutná Hora je umístěn styk soustav.**

Byly řešeny tři stavy:

1. Stávající doprava se stávajícím základním napájením
2. Odklonová doprava se stávajícím odklonovým napájením
3. Odklonová doprava s novým odklonovým napájením



Výpočet pro **stávající dopravu a stávající základní napájení**:

Obsahuje simulaci tratě Brno (Husovice) – Kutná Hora (styk soustav), 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 – Kutná Hora je uvažována sestava trakčního vedení 100Cu + 50 Bz. **V každé TT uvažujeme základní napájení z jednoho trakčního transformátoru z důvodu zachování redundance napájecí stanice.**

Výpočet pro **odklonovou dopravu se stávajícím odklonovým napájením** byl proveden na dvě části :

1. část obsahuje simulaci tratě Brno (Husovice) – Kutná Hora (styk soustav), která je napájena střídavou proudovou soustavou 25 kV 50 Hz. **V odklonovém stavu napájení uvažujeme všechny spínací stanice příčně sepnuté.** Na dvoukolejně trati Brno – Kutná Hora je uvažována sestava trakčního vedení 100Cu + 50 Bz. **Každý jednostranně napájený úsek je napájen z vlastního trakčního transformátoru a není tedy dodrženo kritérium n-1.**
2. část obsahuje simulaci trati Kutná Hora – Kolín (TNS), která je ve stávajícím stavu provozována jednostranně napájenou stejnosměrnou proudovou soustavou DC 3kV. Trakční vedení uvažujeme stejnosměrnou sestavu s jedním zesilovacím vedením 150Cu+120Cu+120Cu **na konci vedení paralelně propojeno.**

Výpočet pro **odklonovou dopravu s novým odklonovým napájením**:

Obsahuje simulaci tratě Brno (Husovice) – Kutná Hora (styk soustav), která je napájena střídavou proudovou soustavou 25 kV 50 Hz. **V odklonovém stavu napájení uvažujeme všechny spínací stanice příčně sepnuté.** Na dvoukolejně trati Brno – Kutná Hora je uvažována sestava trakčního vedení 100Cu + 50 Bz. **Každý jednostranně napájený úsek je napájen z vlastního trakčního transformátoru a není tedy dodrženo kritérium n-1.**

6.1 Minimální napětí TV

Průběhy minimálního napětí TV jsou zobrazeny v příloze 8.4 a 8.5.

6.1.1 Základní napájení s uvažováním stávající dopravy

Úbytek napětí pro úsek Brno Husovice – Kutná Hora – AC

Minimální napětí v tomto střídavě napájeném úseku nekleslo pod 22,4 kV, tato hodnota byla zjištěna u TNS Havlíčkův Brod.

6.1.2 Odklonové napájení uvažující s odklonovou dopravou

Z důvodu snížení úbytků napětí na trakčním vedení a proudovému rozložení bylo navrženo příčně sepnutí TV ve všech spínacích stanicích.

Úbytek napětí pro úsek Brno Husovice – Kutná Hora – AC

Minimální napětí v tomto střídavě napájeném úseku nekleslo pod 21 kV, tato hodnota byla zjištěna na konci jednostranně napájeného úseku z TT Ostrov nad Oslavou v žst. Vlkov u Tišnova.

Vzhledem ke změně kilometrového značení tratě v žst Havlíčkův Brod je střídavá část simulace rozdělena na dvě části. V druhé části (Havlíčkův Brod – Kutná Hora) napětí TV nekleslo pod 21,8 kV.

Úbytek napětí pro úsek Kutná Hora – Kolín - DC

Minimální napětí v tom to stejnosměrně napájeném úseku kleslo, až na hodnotu 2,1 kV tato hodnota byla zjištěna na konci jednostranně napájeného úseku žst. Kutná Hora.

6.2 Střední užitečné napětí vlaku

Střední užitečné napětí je uvedeno pro stav č. 3, tedy uvažování odklonové dopravy s novým napájením – nejvyšší zatížení.

Minimální střední užitečné napětí vlaku vyšlo v rámci simulace 26,3 kV.

spoj	formace	lokomotivy	U _{stř. už.} V
celkem		137	26 770
Maximum		3	26 947
Minimum		1	26 298
A_EC 100	Vectron+R400t	1	26 780
A_EC 102	Vectron+R400t	1	26 733
A_EC 104	Vectron+R400t	1	26 694
A_EC 106	Vectron+R400t	1	26 705
A_EC 150	Vectron+R400t	1	26 891
A_EC 152	Vectron+R400t	1	26 810
A_EC 154	Vectron+R400t	1	26 799
A_EC 201	Vectron+R400t	1	26 879
A_EC 203	Vectron+R400t	1	26 872
A_EC 205	Vectron+R400t	1	26 851
A_EC 207	Vectron+R400t	1	26 806
A_EC 251	Vectron+R400t	1	26 675
A_EC 253	Vectron+R400t	1	26 838
A_EC 255	Vectron+R400t	1	26 888
A_EC 257	Vectron+R400t	1	26 849
A_Nex 40002	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 629
A_Nex 40004	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 707
A_Nex 40006	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 638
A_Nex 40008	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 540
A_Nex 41003	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 339
A_Nex 41005	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 664
A_Nex 41007	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 771
A_Nex 41009	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 600
A_Nex 42002	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 698
A_Nex 42004	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 612
A_Nex 42006	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 476
A_Nex 42008	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 398
A_Nex 43003	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 522

Energetické výpočty

A_Nex 43005	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 677
A_Nex 43007	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 804
A_Nex 43009	2x Vectron+NEx S1800t	2	26 527
A_Os 2002	Os 2x 640	2	26 834
A_Os 2004	Os 2x 640	2	26 728
A_Os 2006	Os 2x 640	2	26 479
A_Os 2052	Os 650+640	2	26 713
A_Os 2054	Os 650+640	2	26 770
A_Os 2056	Os 650+640	2	26 822
A_Os 2058	Os 650+640	2	26 730
A_Os 2102	Os 2x 640	2	26 868
A_Os 2104	Os 2x 640	2	26 751
A_Os 2106	Os 2x 640	2	26 826
A_Os 2108	Os 2x 640	2	26 647
A_Os 2110	Os 2x 640	2	26 785
A_Os 2112	Os 2x 640	2	26 572
A_Os 3001	Os 1x 640	1	26 938
A_Os 3003	Os 1x 640	1	26 815
A_Os 3005	Os 1x 640	1	26 900
A_Os 3007	Os 1x 640	1	26 947
A_Os 3202	Os 1x 640	1	26 759
A_Os 3204	Os 1x 640	1	26 780
A_Os 3206	Os 1x 640	1	26 793
A_Os 3303	Os 1x 640	1	26 897
A_Os 3305	Os 1x 640	1	26 840
A_Os 3307	Os 1x 640	1	26 804
A_Pn 66002	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 752
A_Pn 66004	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 577
A_Pn 66006	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 308
A_Pn 66008	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 298
A_Pn 67003	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 534
A_Pn 67005	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 652
A_Pn 67007	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 716
A_Pn 67009	2x Vectron+Pn T4 2400t	2	26 635
A_Pn 68004	2x 230+Pn T4 1600t	2	26 744
A_Pn 68006	2x 230+Pn T4 1600t	2	26 568
A_Pn 68008	2x 230+Pn T4 1600t	2	26 563
A_Pn 69005	2x 230+Pn T4 1600t	2	26 727
A_Pn 69007	2x 230+Pn T4 1600t	2	26 736
A_Pn 69009	2x 230+Pn T4 1600t	2	26 331
A_Pn 69011	2x 230+Pn T4 1600t	2	26 784
A_R 602	R (650 + 640 + 640)	3	26 797
A_R 604	R (650 + 640 + 640)	3	26 774
A_R 606	R (650 + 640 + 640)	3	26 617
A_R 608	R (650 + 640 + 640)	3	26 418
A_R 703	R (650 + 640 + 640)	3	26 871
A_R 705	R (650 + 640 + 640)	3	26 897
A_R 707	R (650 + 640 + 640)	3	26 867

6.3 Střední užitečné napětí oblasti

Minimální střední užitečné napětí oblasti vyšlo v rámci simulace:

TT Čebín – SpS Husovice:	26,7 kV
TT Čebín – SpS Vlkov:	26,5 kV
TT Ostrov n. O. – SpS Vlkov:	26,5 kV
TT Ostrov n. O. – SpS Ronov:	26,8 kV
TT Havl. Brod. – SpS Ronov:	26,9 kV
TT Havl. Brod. – SpS Sázavka:	26,7 kV
TT Golčův Jeníkov – SpS Sázavka:	26,9 kV
TT Golčův Jeníkov – Kutná Hora:	26,6 kV

6.4 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.

6.5 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

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.

6.6 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 řešeném napájecím úseku došlo k překročení minimálního krátkodobého i dlouhodobého dotykového napětí mezi kolejí a zemí. Průběh dotykového napětí mezi kolejí je v příloze 8.10 a 8.11.

6.7 Výkony střídavých napájecích stanice - TT

Výkonové zatížení jednotlivých transformátorů a trakčních transformoven je zobrazeno v následujících tabulkách. Výkon je vyjádřen pomocí zdánlivého výkonu S .

Každá tabulka obsahuje označení dané trakčních transformovny, jednotlivé výkony za určitou dobu pro jednotlivé transformátory (T1 a T2) a celkový výkon celé TNS za určitou dobu.

S_{1s}	zdánlivý výkon za 1s	[MVA]
S_{1min}	zdánlivý výkon za 1 min	[MVA]
S_{15min}	zdánlivý výkon za 15 min	[MVA]
S_{2h}	zdánlivý výkon za 2h	[MVA]
$S_{rezerv.}$	rezervovaný výkon pro danou TNS	[MVA]

Při posuzování jednotlivých výkonů daných transformátorů a celých napájecích stanic je nutné brát v potaz třídu přetížitelnosti transformátoru. Instalované transformátory v řešených TNS disponují třídou přetížitelnosti V o jmenovitém zdánlivém výkonu 12,5 MVA. Transformátor je tedy možné 15-ti minutově přetížet až na 23 MVA, je nutné ale dodržet 30ti minutový interval chodu transformátoru maximálně na jmenovitém výkonu před využitím daného přetížení. Dále je možné transformátor přetěžovat dvě hodiny o zdánlivém výkonu 16 MVA s intervalem 3 hodin.

Při posuzování celých napájecích stanic je důležitou hodnotou rezervovaný zdánlivý výkon, kdy porovnáváme rezervovaný výkon za 15 minut a využitý zdánlivý výkon za 15 minut.

Grafické výkonové zatížení jednotlivých TT je uvedeno v příloze č. 8.7 a 8.8.

6.7.1 Výkonové zatížení – stávající doprava se stávajícím základním napájením

Tabulka 1 – Výkonové zatížení transformátorů a TNS

Výkonové zatížení TNS						
Trafo	T1					
TT	S_{1s}	S_{1min}	S_{15min}	S_{2h}	$S_{rezerv.}$	
TT Čebín	34,7	24,1	14,5	9,1	20	MVA
TT Ostrov nad Oslavou	33,3	22	9,9	6,7	20	MVA
TT Havlíčkův Brod	27,3	16,1	8,5	5,7	18,6	MVA
TT Golčův Jeníkov	23,9	17	9,2	6,1	19,7	MVA

6.7.2 Výkonové zatížení – Odklonová doprava s odklonovým napájením

Tabulka níže nám zobrazuje jednotlivé vypočítané výkony daných transformátorů a TNS při uvažování maximálního dopravního zatížení.

Tabulka 2 – Výkonové zatížení transformátorů a TNS

Výkonové zatížení TNS													
Trafo	T1				T2				TNS				
TT	S_{1s}	S_{1min}	S_{15min}	S_{2h}	S_{1s}	S_{1min}	S_{15min}	S_{2h}	S_{1s}	S_{1min}	S_{15min}	$S_{rezerv.}$	S_{2h}
TT Čebín	33,7	27,4	13	10,8	34,5	26,2	15,6	10,9	47,1	37,4	22,9	20	17
TT Ostrov nad Oslavou	34,6	30	15,8	14,9	26,7	18,1	10,6	8	44,9	34,1	18,2	20	15
TT Havlíčkův Brod	29,4	16,6	8,7	6,2	39,7	25	13,1	9,5	40,6	25,8	14,5	18,6	12,6
TT Golčův Jeníkov	21,8	13,5	9,5	7,2	31,4	25,7	13,6	9,2	41	25,2	17	19,7	12,7

6.8 Proudové zatížení TV a zkratové poměry

Průběh proudového zatížení napájecího vedení je v příloze číslo 8.8 a 8.9.

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.

Hlavním posuzovaným parametrem je proud procházející proudovou ochranou transformátoru, dle nastavení nesmí překročit 1000 A, což tedy při napětí 25 kV znamená špičkový zdánlivý výkon 25 MVA. Dalším omezujícím parametrem je proud na proudové ochraně napaječe, jež je nastavena na 600 A. Překročení těchto hodnot znamená výpadek daného napaječe nebo transformátoru a omezení dopravy při zachování stávajícího napájení. V případě rekonstrukce daných napájecích stanic dojde k rekonstrukci a přenastavení proudových ochranných, v tomto případě pro nás nebude špičková velikost proudu omezující.

Tabulka 3 – Proudové zatížení TV pro stávající dopravu se stávajícím základním napájením

AC - proudové zatížení - 1s			
Směr	TV 1	TV 2	
Čebín - Brno	655	996	A
Čebín - Vlkov u T.	572	707	A
Ostrov n. O. - Vlkov u T.	508	517	A
Ostrov n. O. - Ronov n. S.	474	285	A
Havličkův B. - Ronov n. S.	553	488	A
Havličkův B. - Sázavka	625	593	A
Golčův J. - Sázavka	488	432	A
Golčův J. - Kutná Hora	593	488	A

Tabulka 4 - Proudové zatížení TV pro odklonovou dopravu se odklonovým napájením

AC - proudové zatížení - 1s			
Směr	TV 1	TV 2	
Čebín - Brno	727	825	A
Čebín - Vlkov u T.	748	755	A
SpS Vlkov u T.	365		A
Ostrov n. O. - Vlkov u T.	819	741	A
Ostrov n. O. - Ronov n. S.	658	509	A
SpS Ronov n. S.	236		A
Havličkův B. - Ronov n. S.	559	673	A
Havličkův B. - Sázavka	657	992	A
SpS Sázavka	172		A
Golčův J. - Sázavka	499	436	A
Golčův J. - Kutná Hora	993	748	A

7 Závěr

V energetických výpočtech byly hodnoceny tři varianty provozu napájení Havlíčkobrodské trati. Prvním stavem bylo posouzení schopnosti stávajícího napájení provést stávající dopravu při základním stavu napájení. Výsledky energetických výpočtů prokázali, že stávající napájení trakčního vedení nevyhovuje současné dopravě, což potvrzuje i fakt, že většina trakčních napájecích stanic v řešené oblasti má v základním provozu oba dva trakční transformátory, aby bylo vůbec možné stávající dopravní zatížení provést.

Základní stav napájení znamená napájení pomocí jednoho trakčního transformátoru (zajištění redundance v každé TNS) a trakční vedení není nikde příčně sepnuto, tak aby byly splněny požadavky na spolehlivý provoz. V této variantě pro nás je tedy limitující jak zkratová proudová ochrana jednotlivých napáječů, tak i zkratová proudová ochrana celého transformátoru na primární straně (strana 110 kV). V tomto případě tedy dojde k výpadku 5ti napáječů v TNS (viz tab. 3), nebo celého transformátoru ve třech TNS (viz. tab. 1) z důvodu překročení špičkového výkonu omezeného proudem transformátorové ochrany. Z těchto důvodů tedy nelze provést nákladní dopravu během dopravní špičky, stávající osobní doprava zůstane neovlivněna.

V případě posouzení stávajícího napájení v zapojení pro odklonový stav, tedy využití obou transformátorů ve všech TNS (nezajištění napájecího kritéria n-1) a příčného sepnutí všech spínacích stanic pro odklonovou dopravu má stejná omezující kritéria jako první stav. Výstupem je tedy možnost provedení odklonové osobní dopravy a provedení dvou párů nákladních vlaků za hodinu v době mimo dopravní špičku.

Pro provedení veškeré odklonové dopravy dle GVD bude nutné provést úpravy v rozvodnách 25 kV (přenastavení a výměna ochran za distanční), rekonstrukce TNS Čebín, v hlavním případě výměna trakčních transformátorů za nové o výkonu 16 MVA a doplnění ofuků transformátorů u ostatních napájecích stanic. Při uvažování maximální odklonové dopravy nebude zajištěna redundance n-1 v TNS, tedy jakákoliv údržba nebo porucha v TNS bude znamenat značné omezení dopravy. Dále je doporučena výstavba jednovypínačové spínací stanice v žst. Křižanov z hlediska provozních stavů během výluk. Příčné sepnutí dané spínací stanice bude mít příznivý vliv na přenos výkonu, přerozdělení proudového zatížení TV a úbytek napětí v TV.

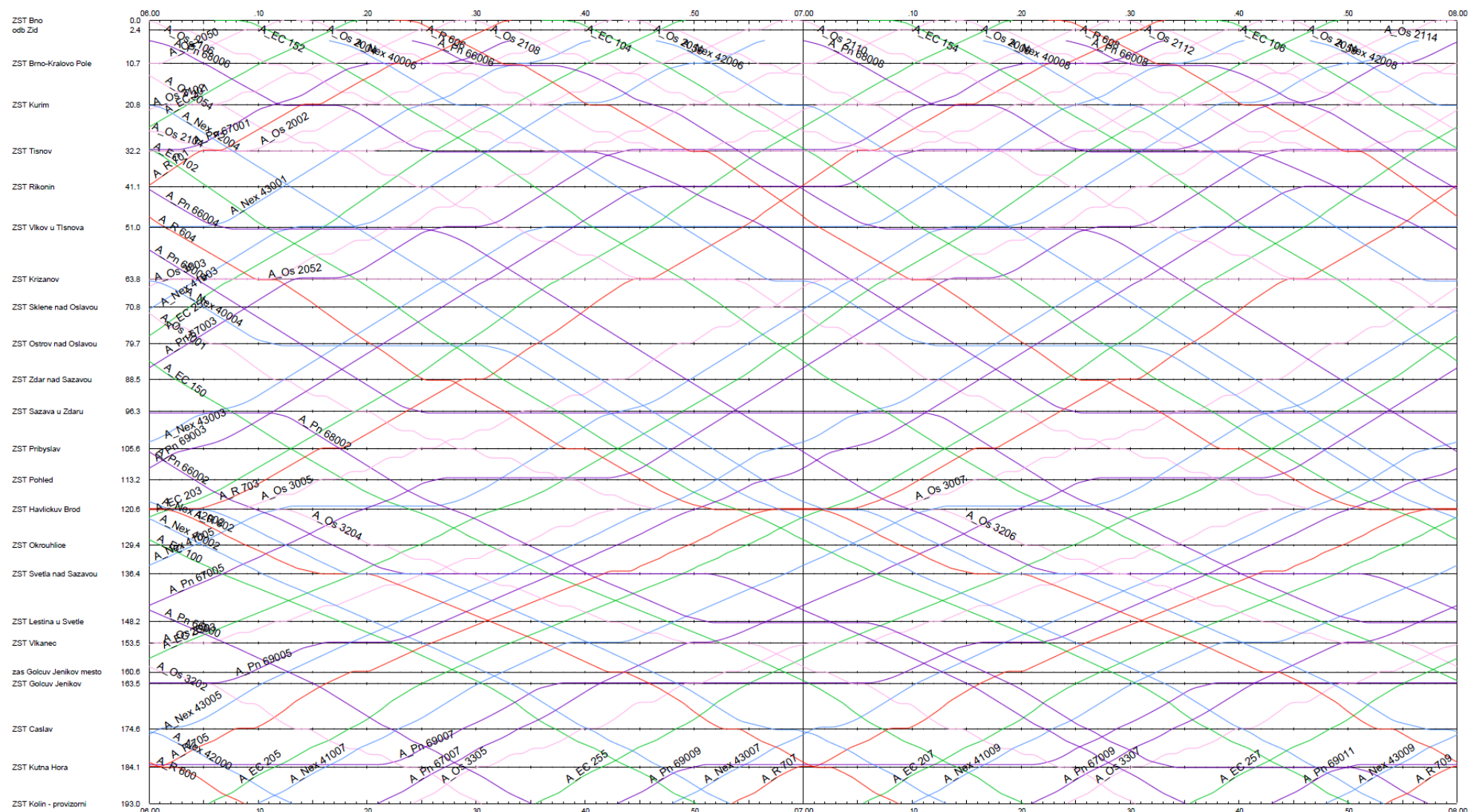
Kontroloval:
Jiří Podhradský

Zpracoval:
Ing. Ondřej Svoboda

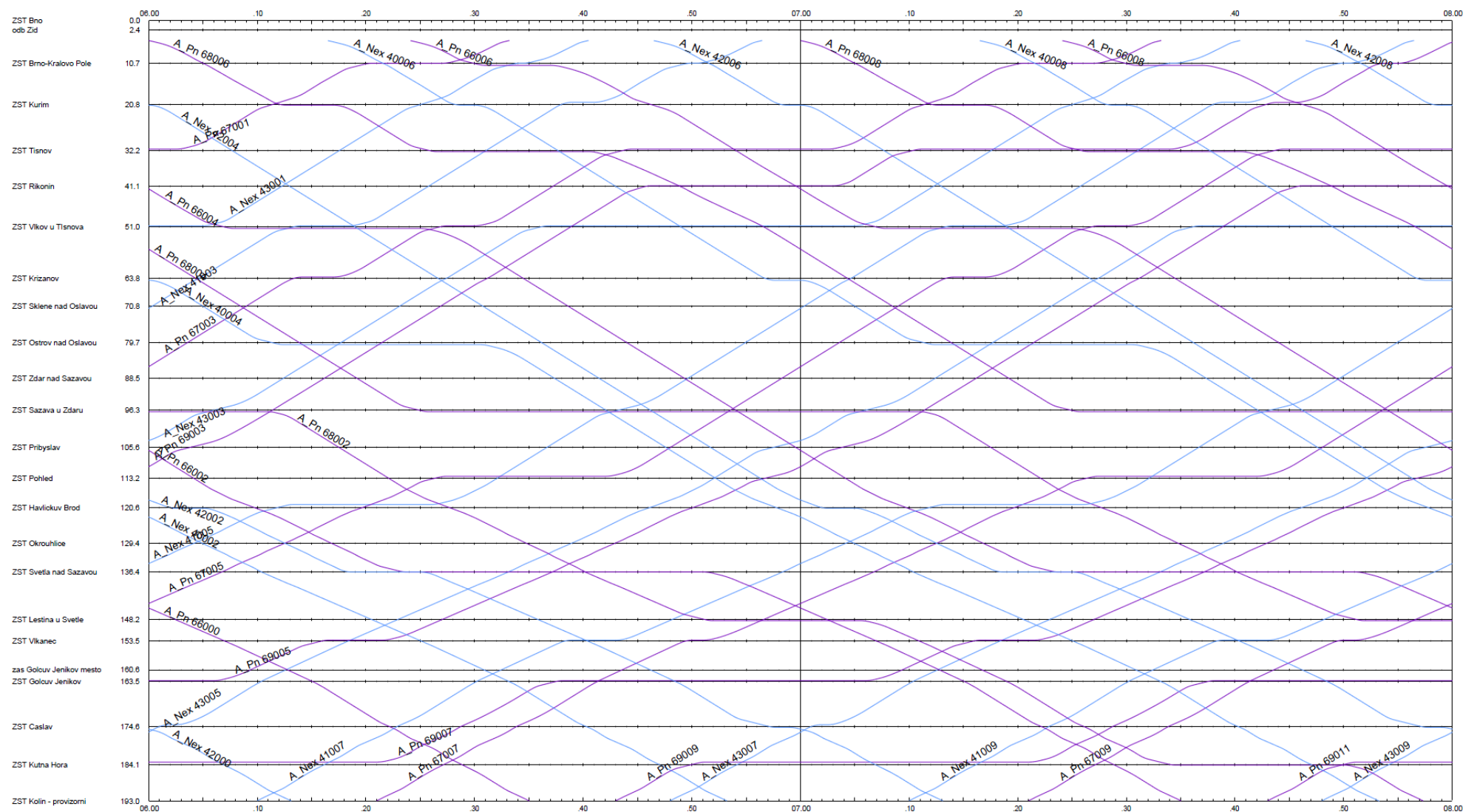
8 Přílohy

8	PŘÍLOHY	18
8.1	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – ODKLONOVÁ OSOBNÍ I NÁKLADNÍ DOPRAVA	19
8.2	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – ODKLONOVÁ NÁKLADNÍ DOPRAVA	20
8.3	MODELOVÝ GRAFIKON BRNO - KOLÍN (6 H - 8H) – STÁVAJÍCÍ DOPRAVA	21
8.4	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV – STÁVAJÍCÍ DOPRAVA SE STÁVAJÍCÍM ZÁKLADNÍM NAPÁJENÍM	22
8.5	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ TV – ODKLONOVÁ DOPRAVA S ODKLONOVÝM NAPÁJENÍM	24
8.6	ZATÍŽENÍ TNS – STÁVAJÍCÍ DOPRAVA SE STÁVAJÍCÍM ZÁKLADNÍM NAPÁJENÍM	27
8.7	ZATÍŽENÍ TNS – ODKLONOVÁ DOPRAVA S ODKLONOVÝM NAPÁJENÍM	31
8.8	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV – STÁVAJÍCÍ DOPRAVA SE STÁVAJÍCÍM ZÁKLADNÍM NAPÁJENÍM.....	35
8.9	PROUDOVÉ ZATÍŽENÍ TV – ODKLONOVÁ DOPRAVA S ODKLONOVÝM NAPÁJENÍM	39
8.10	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ MEZI KOLEJÍ A ZEMÍ – STÁVAJÍCÍ DOPRAVA SE STÁVAJÍCÍM ZÁKLADNÍM NAPÁJENÍM	47
8.11	MINIMÁLNÍ NAPĚTÍ MEZI KOLEJÍ A ZEMÍ – ODKLONOVÁ DOPRAVA S ODKLONOVÝM NAPÁJENÍM ..	49

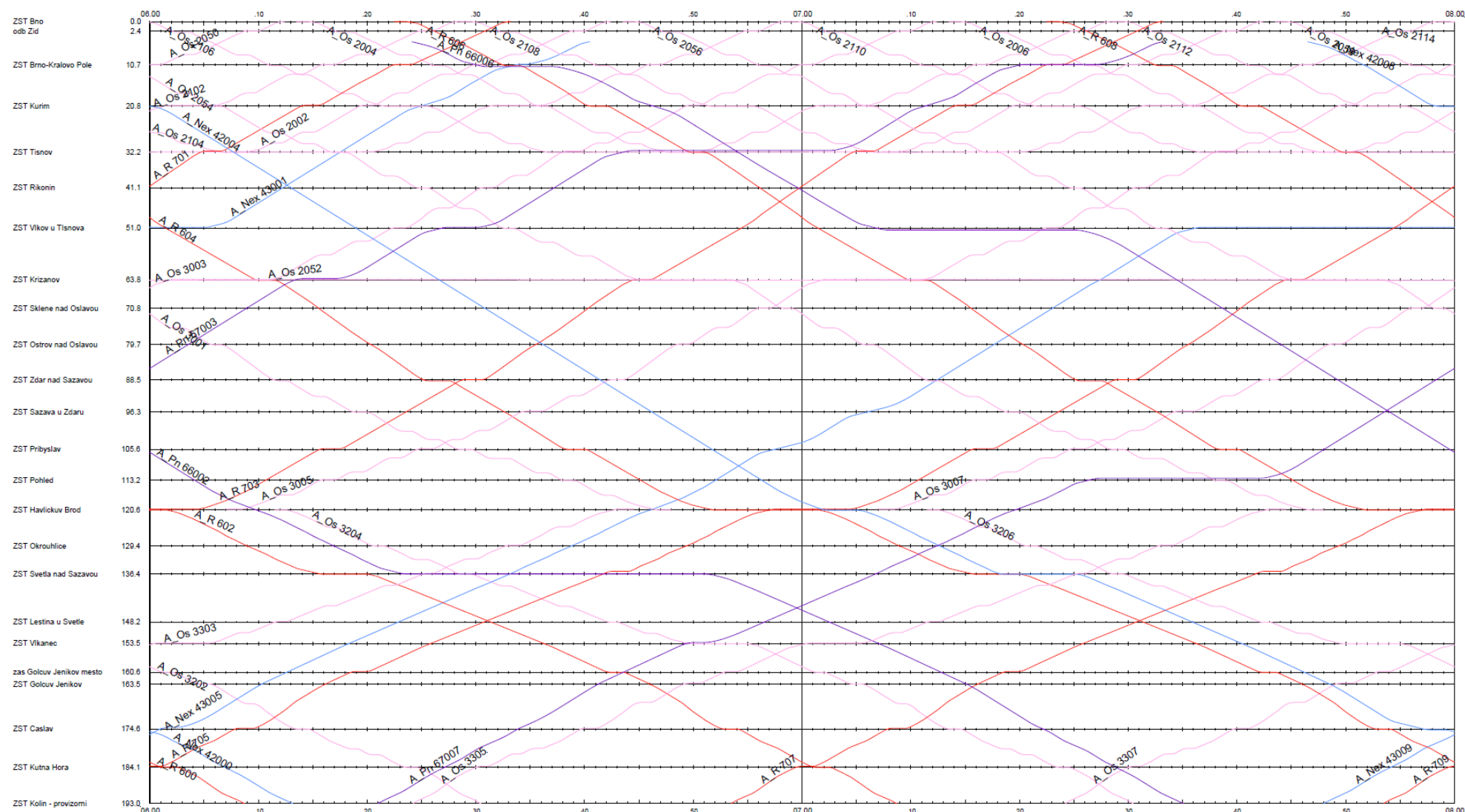
8.1 Modelový grafikon Brno - Kolín (6 h - 8h) – odklonová osobní i nákladní doprava



8.2 Modelový grafikon Brno - Kolín (6 h - 8h) – odklonová nákladní doprava

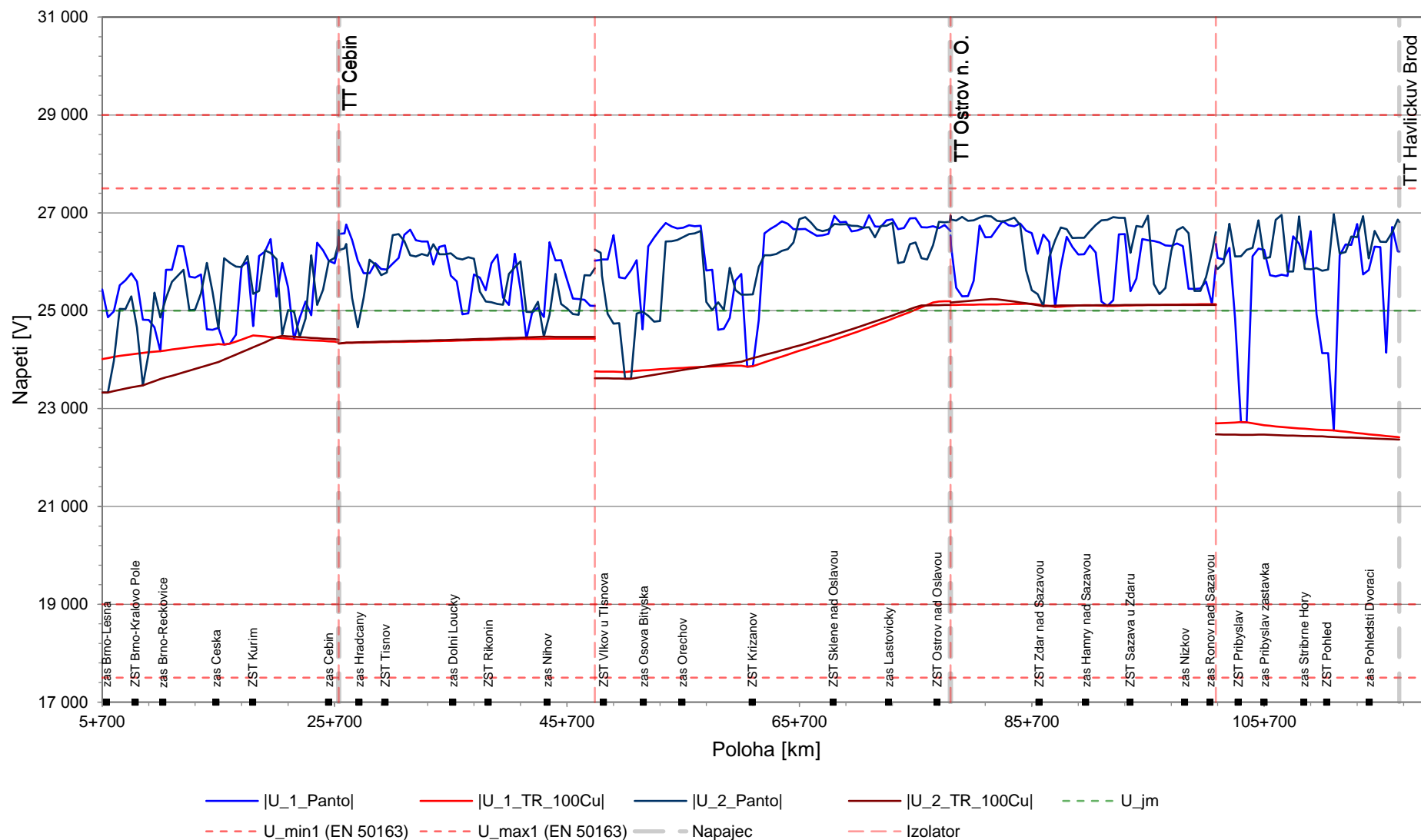


8.3 Modelový grafikon Brno - Kolín (6 h - 8h) – stávající doprava

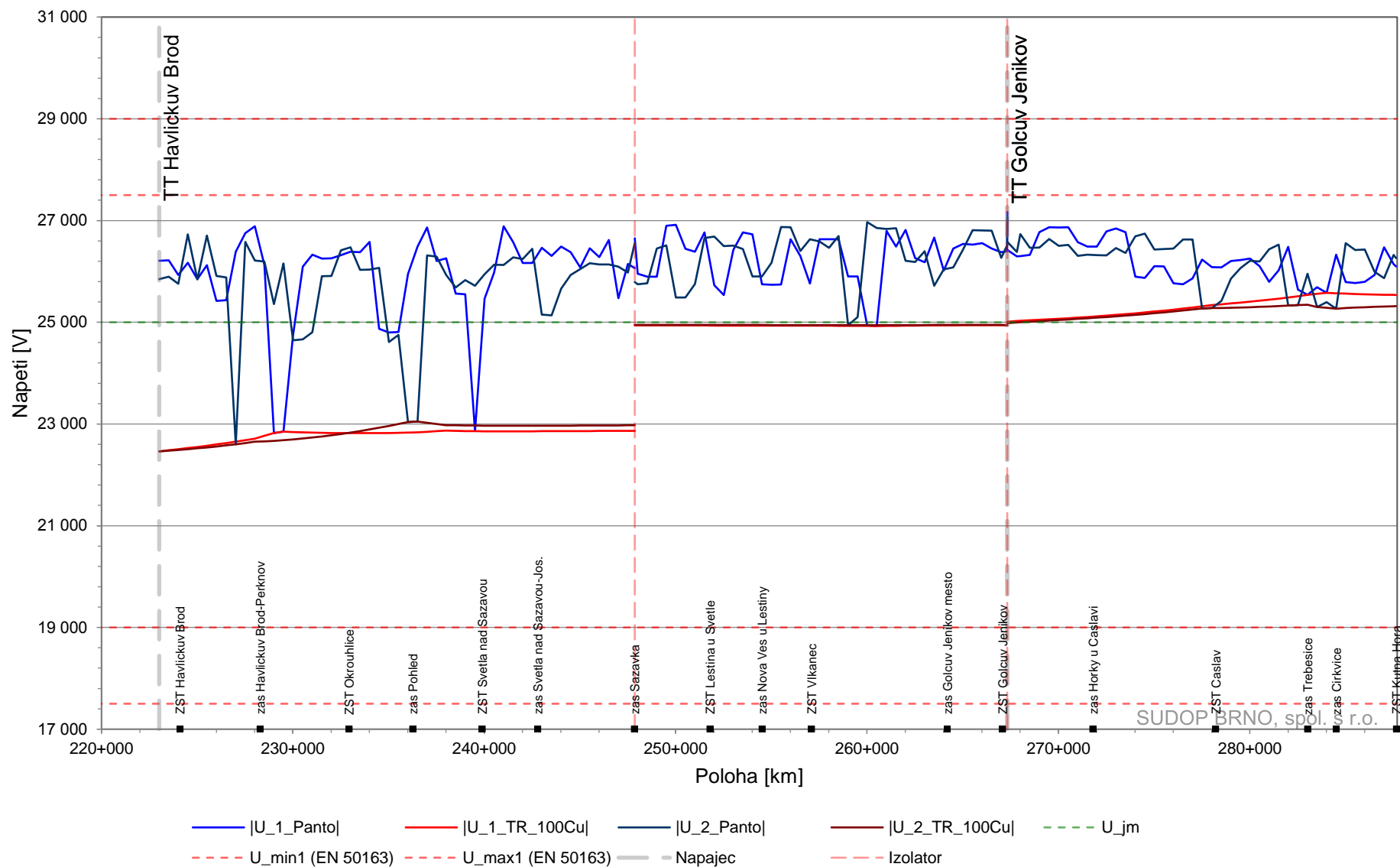


8.4 Minimální napětí TV – stávající doprava se stávajícím základním napájením

8.4.1 Brno Husovice – Havlíčkův Brod - AC

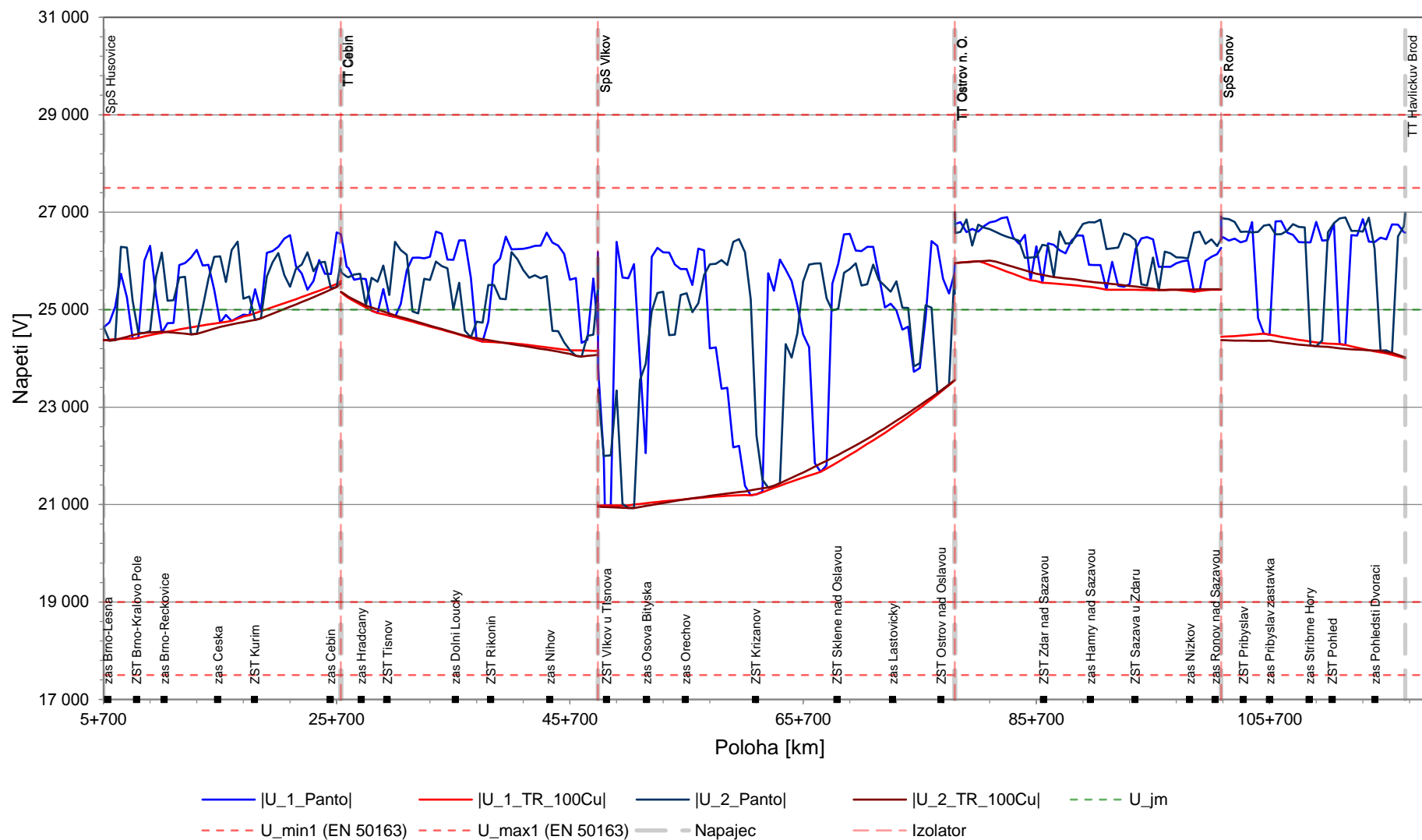


8.4.2 Havlíčkův Brod – Kutná Hora - AC

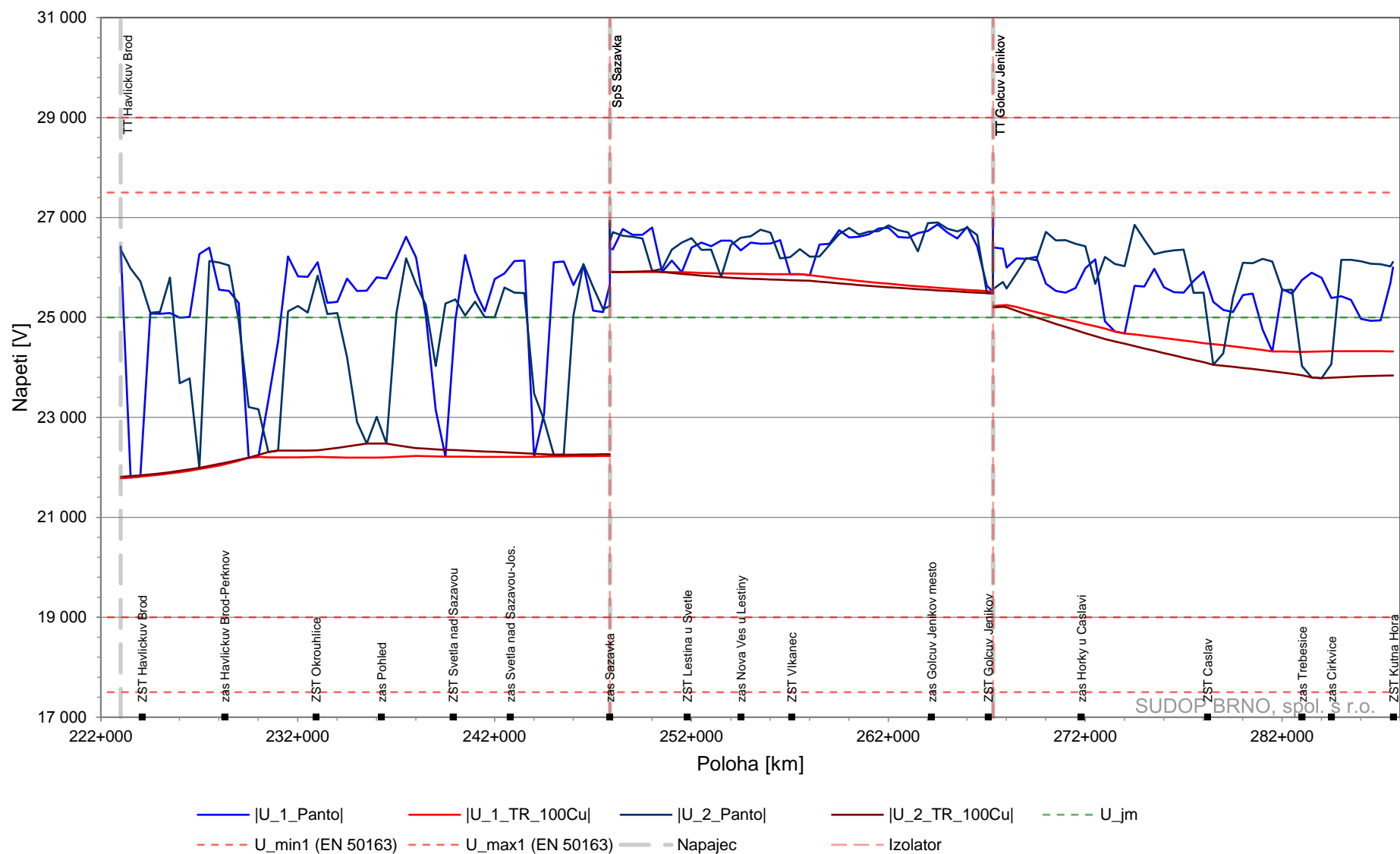


8.5 Minimální napětí TV – odklonová doprava s odklonovým napájením

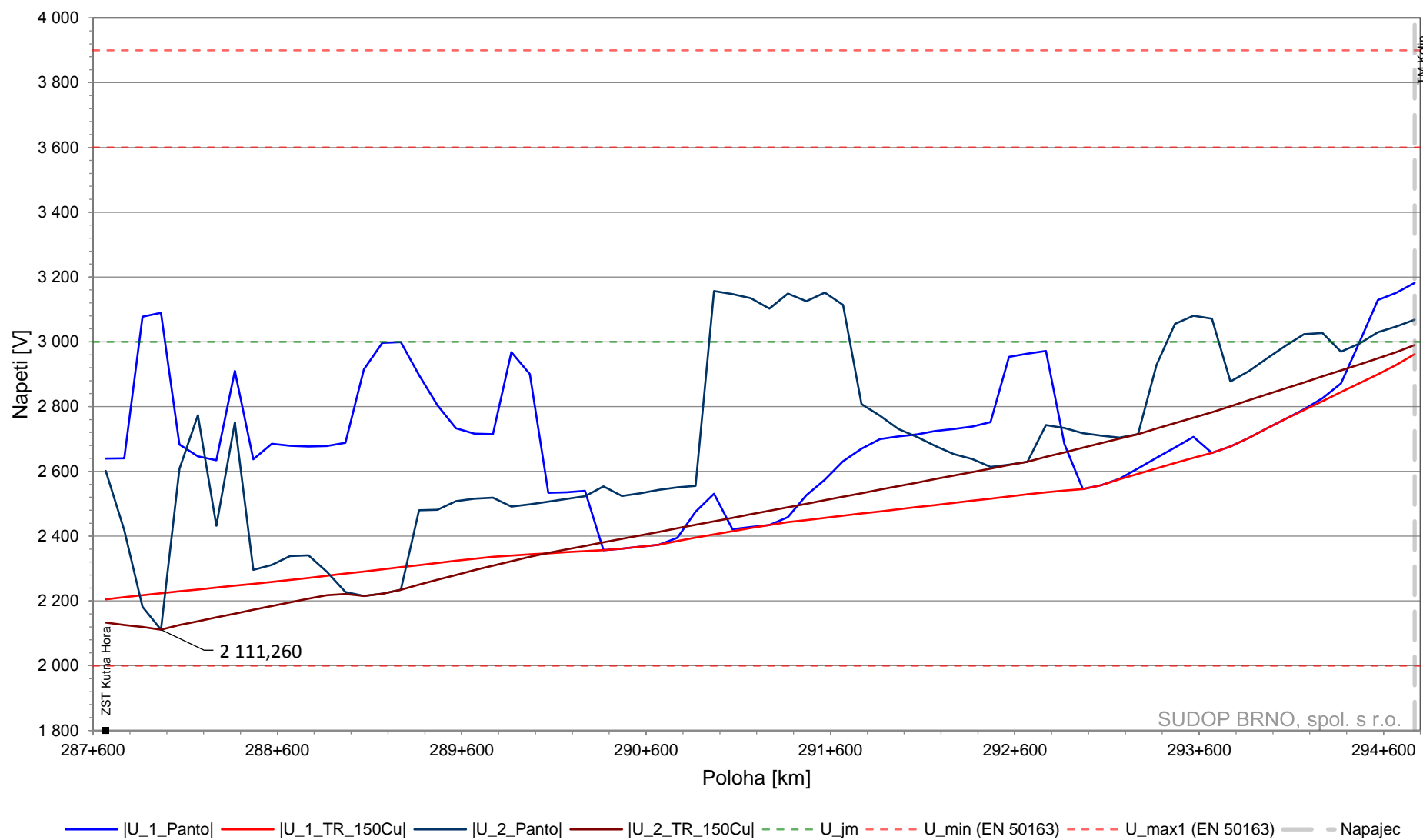
8.5.1 Brno Husovice – Havlíčkův Brod - AC



8.5.2 Havlíčkův Brod – Kutná Hora - AC

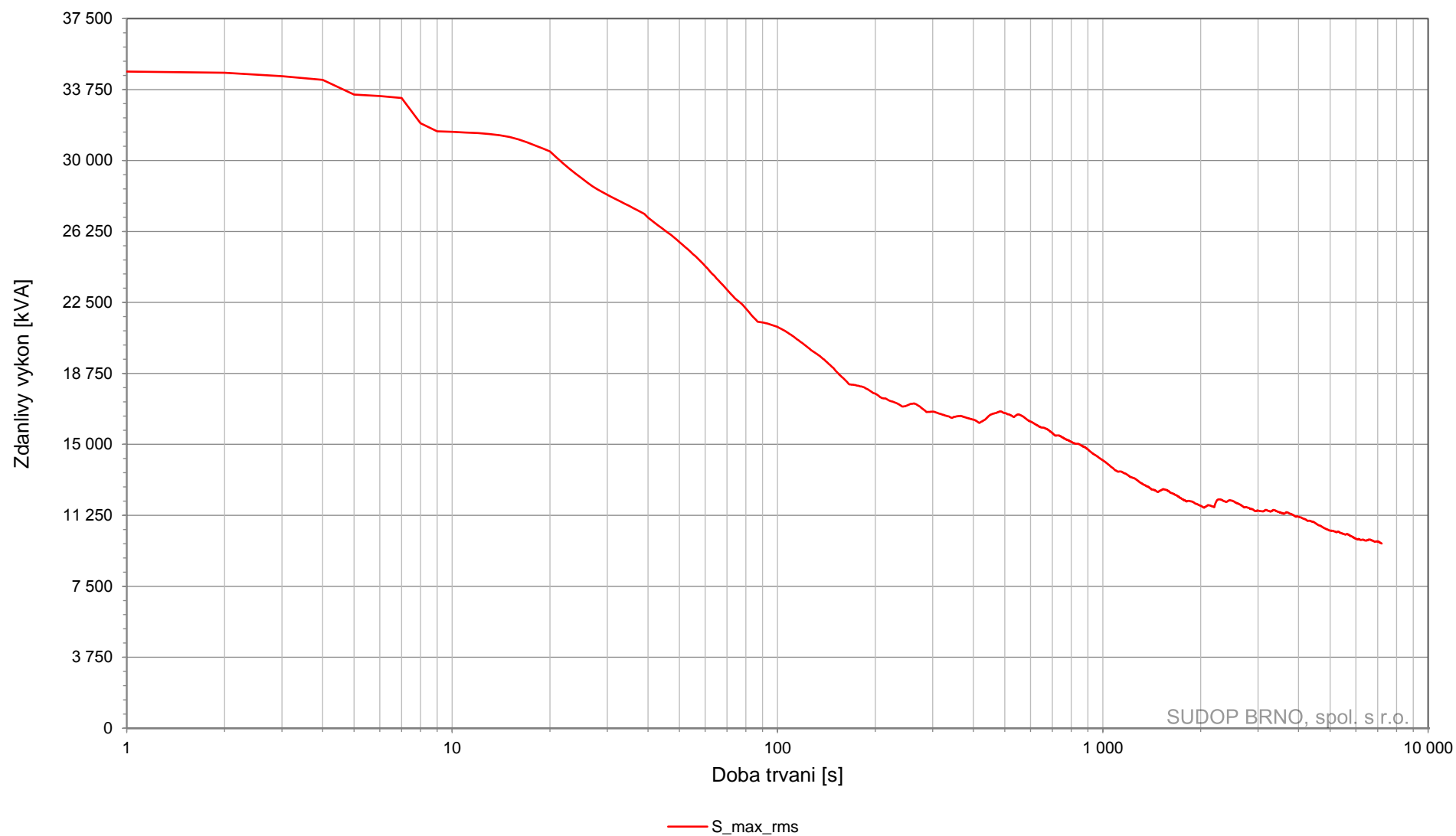


8.5.3 Kutná Hora – Kolín – DC

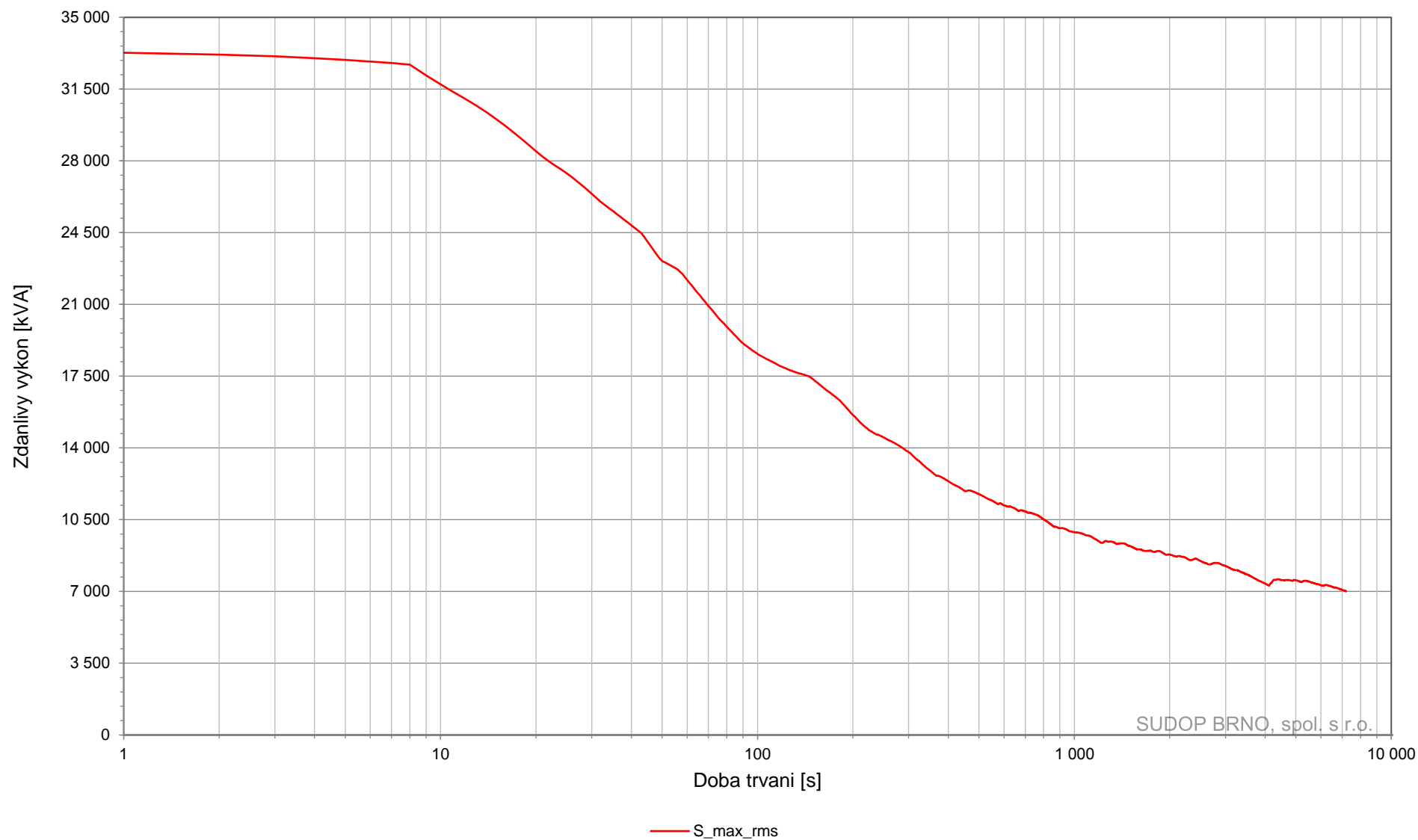


8.6 Zatížení TNS – Stávající doprava se stávajícím základním napájením

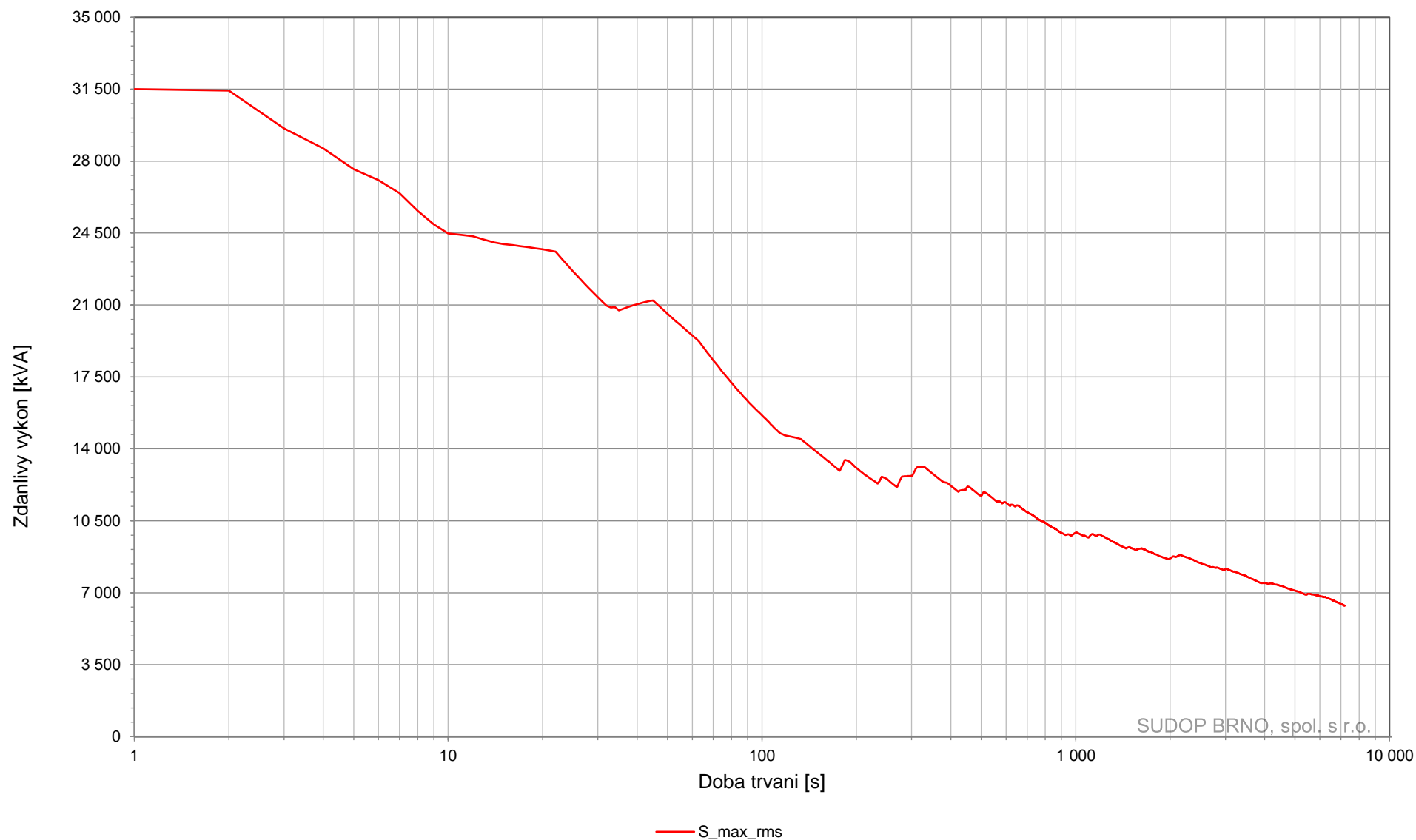
8.6.1 TNS Čebín



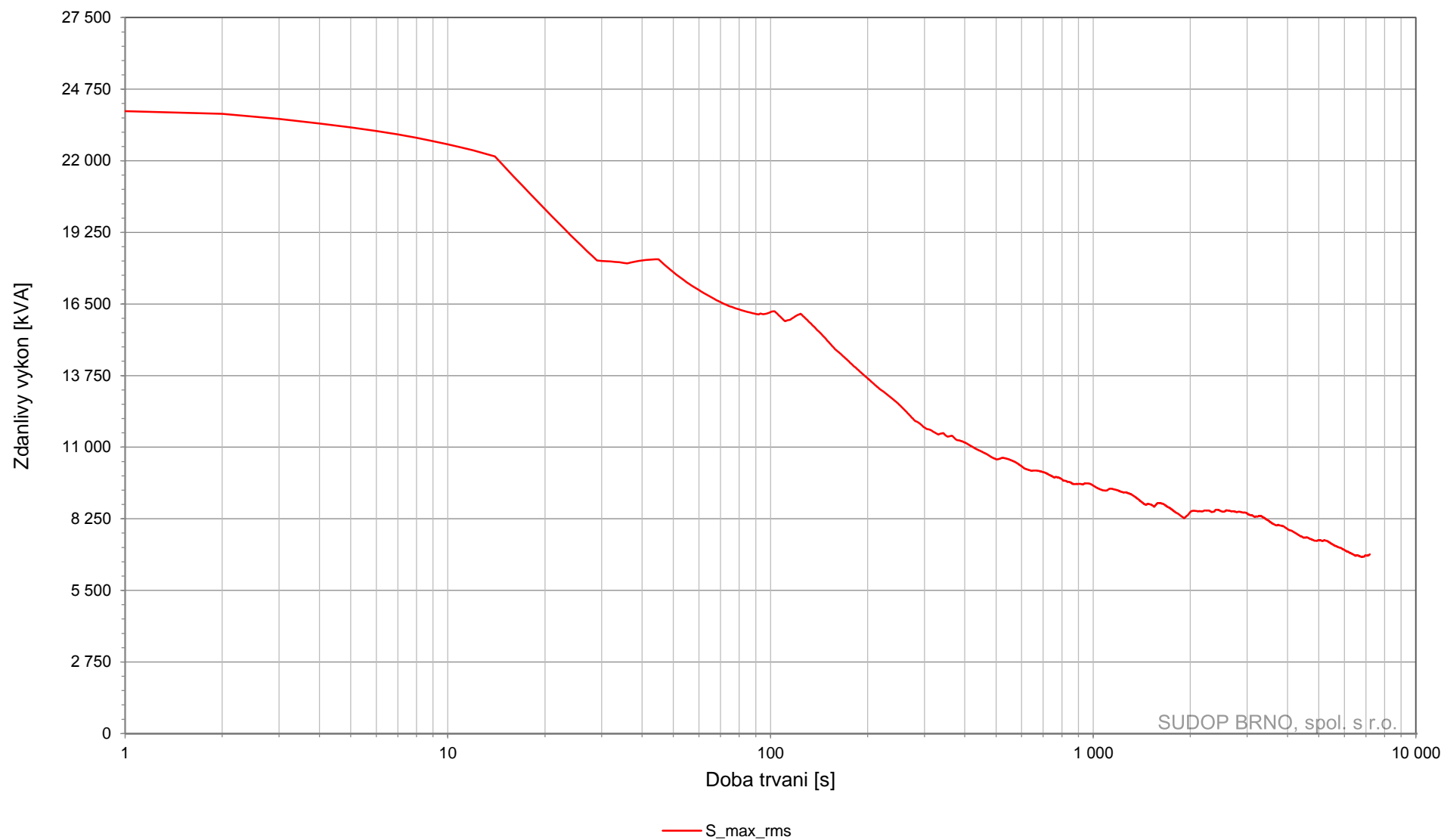
8.6.2 TT Ostrov nad Oslavou



8.6.3 TT Havlíčkův Brod

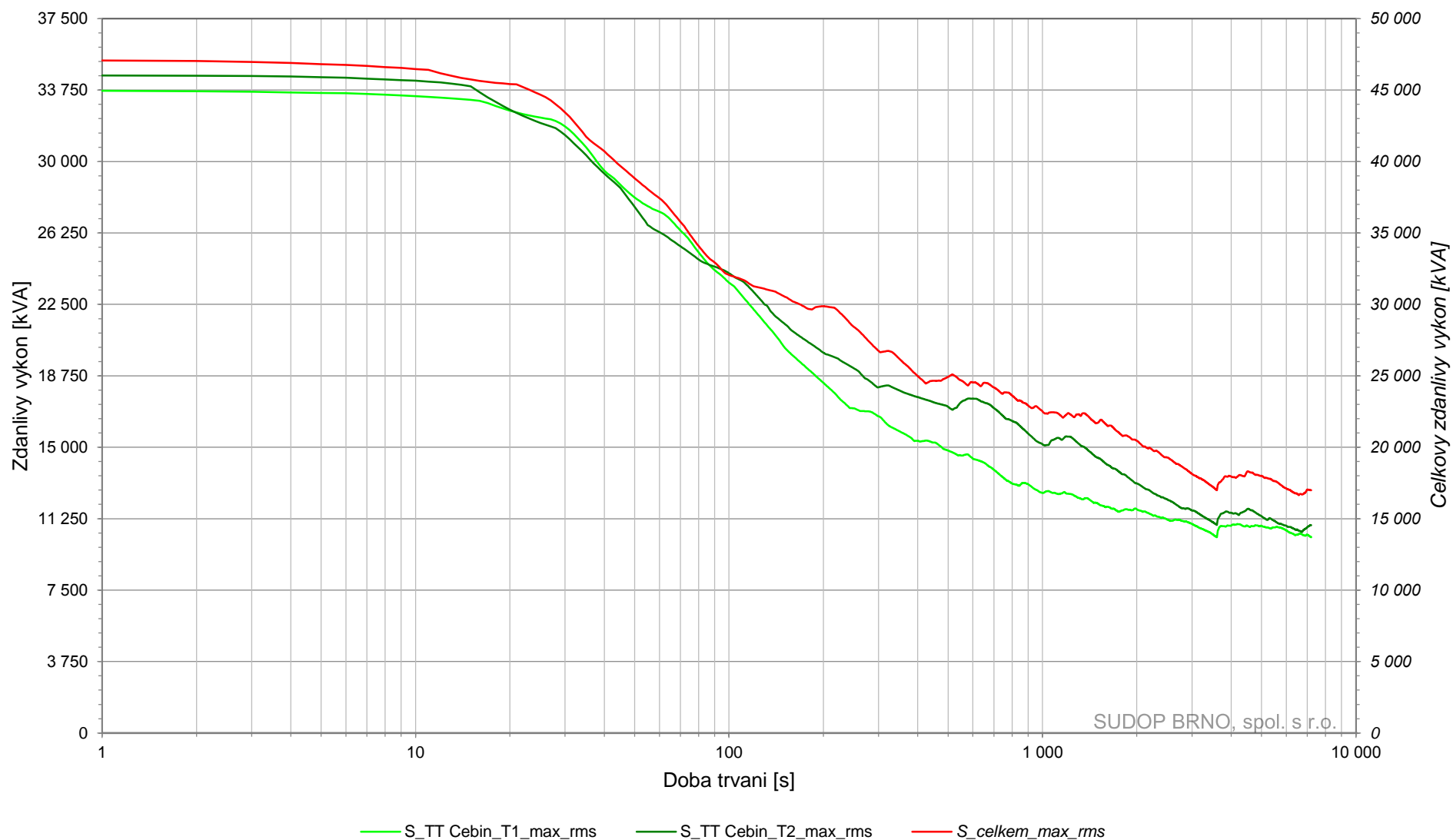


8.6.4 TT Golčův Jeníkov



8.7 Zatížení TNS – Odklonová doprava s odklonovým napájením

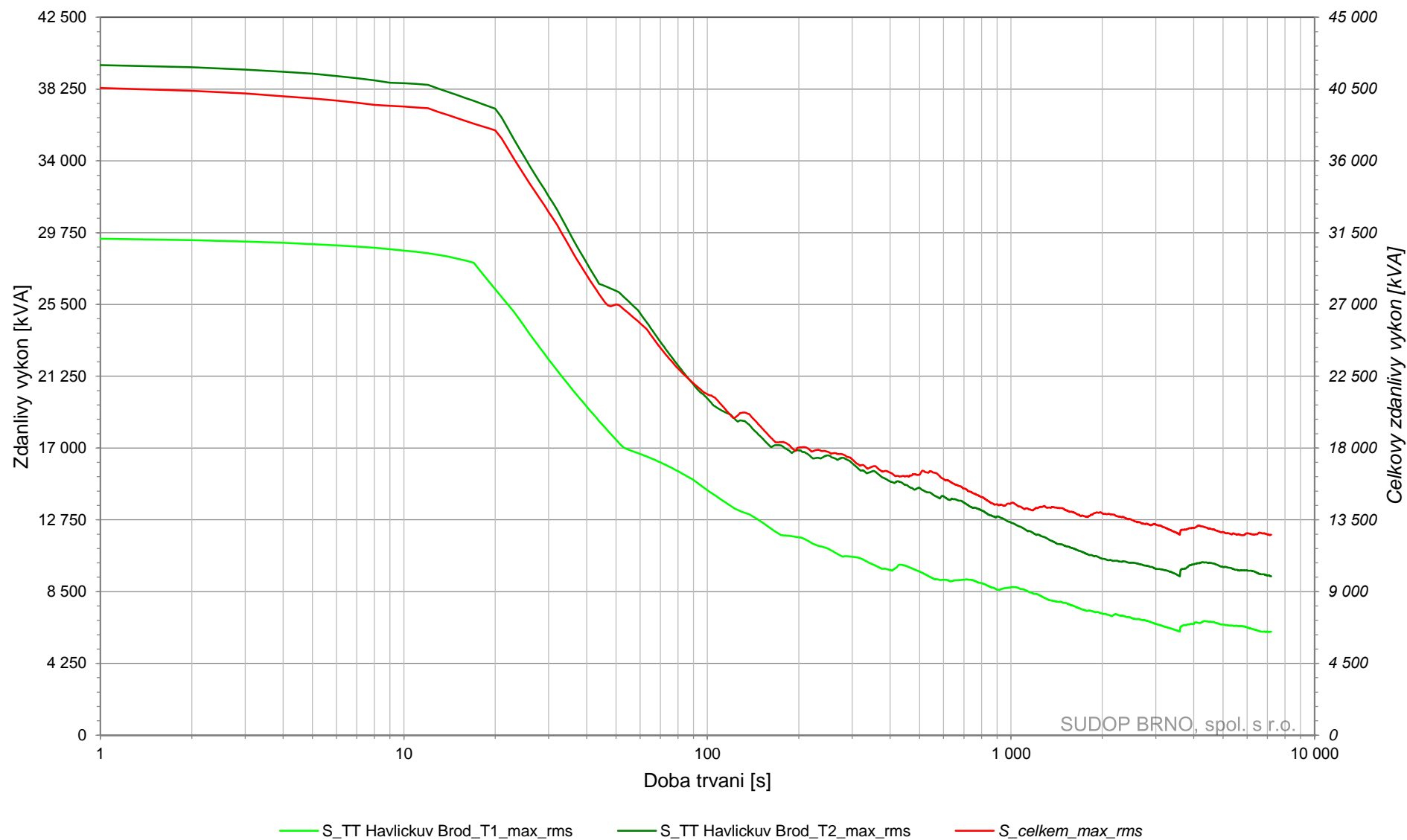
8.7.1 TT Čebín



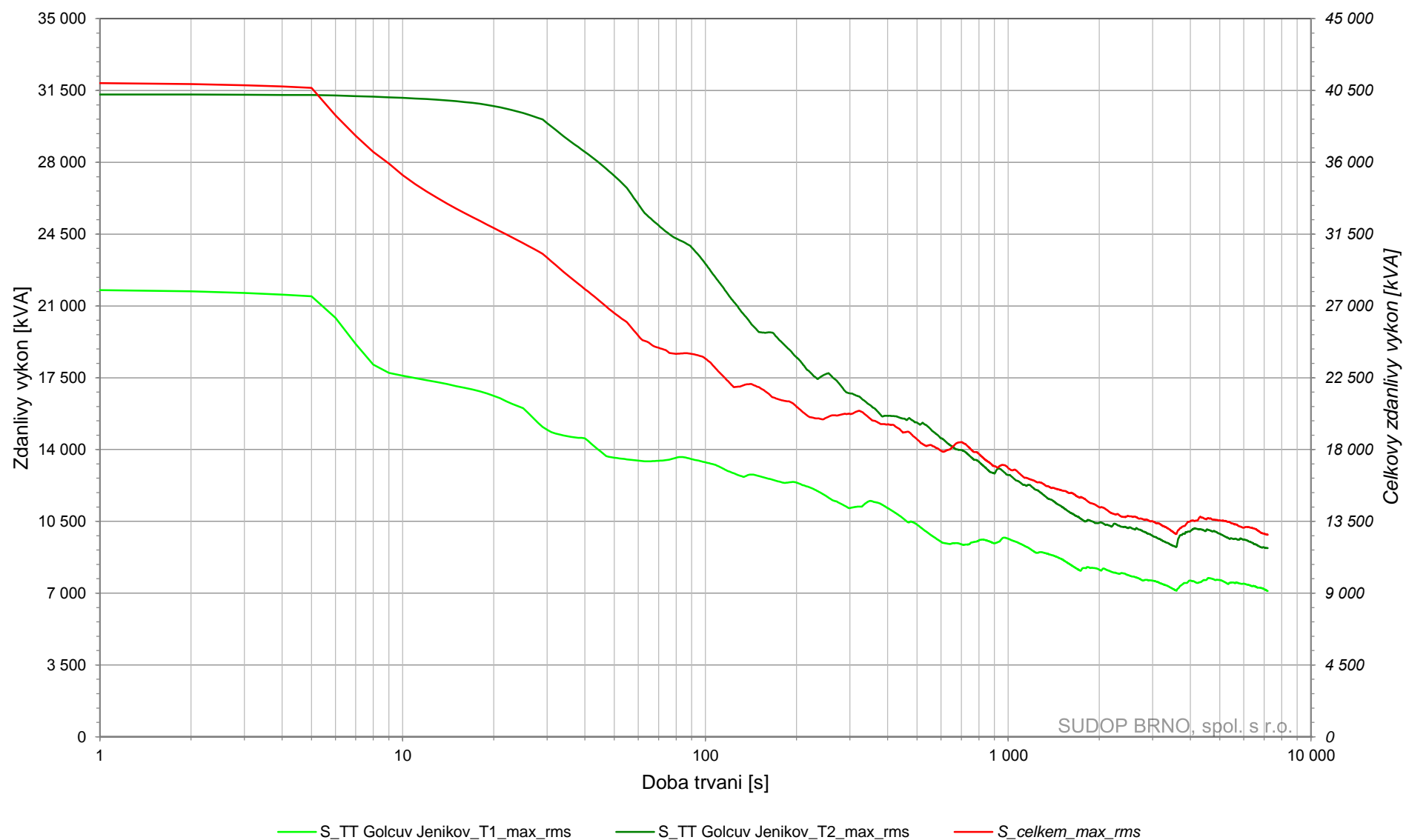
8.7.1 TT Ostrov nad Oslavou



8.7.2 TT Havlíčkův Brod

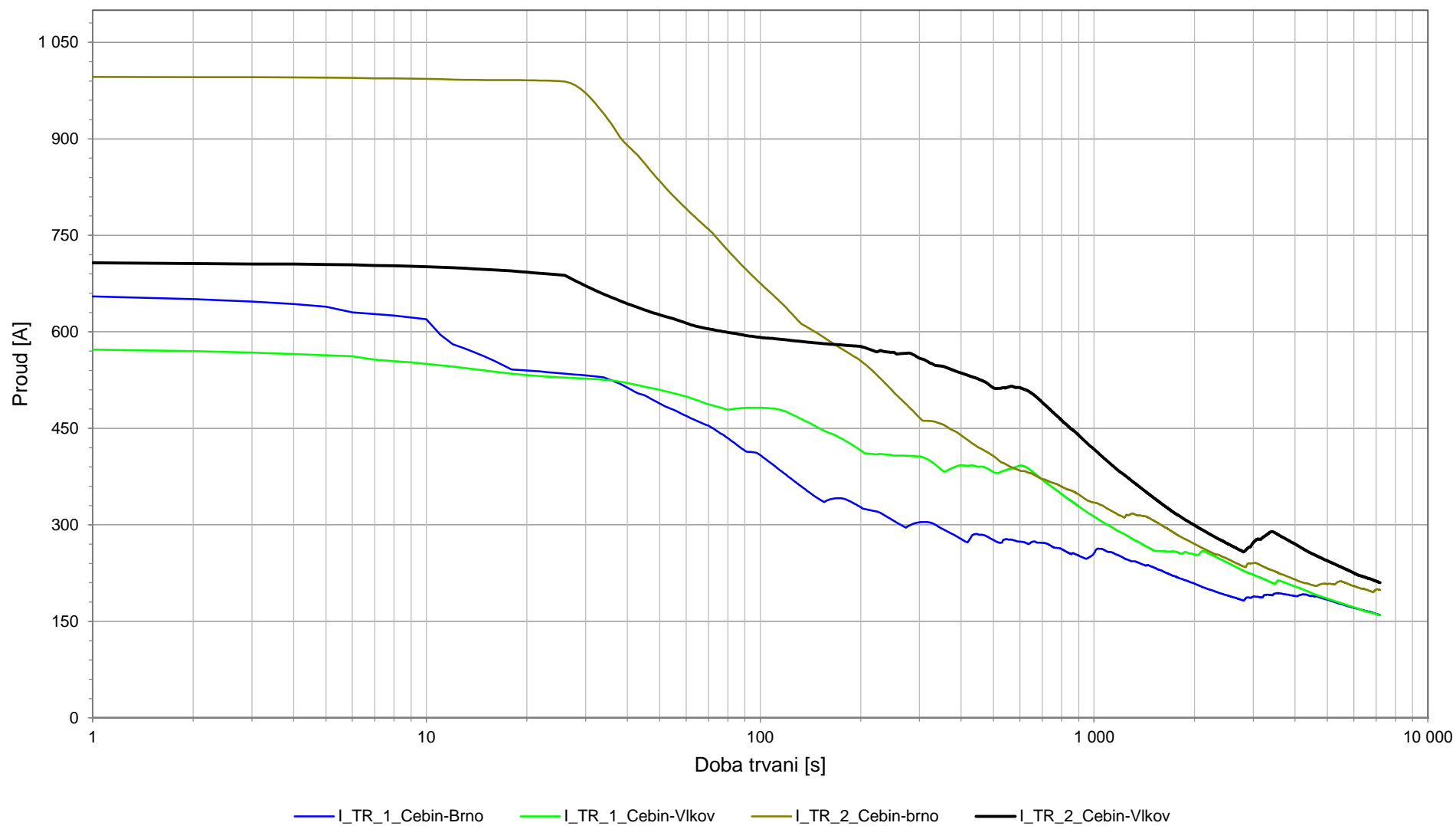


8.7.3 TT Golčův Jeníkov

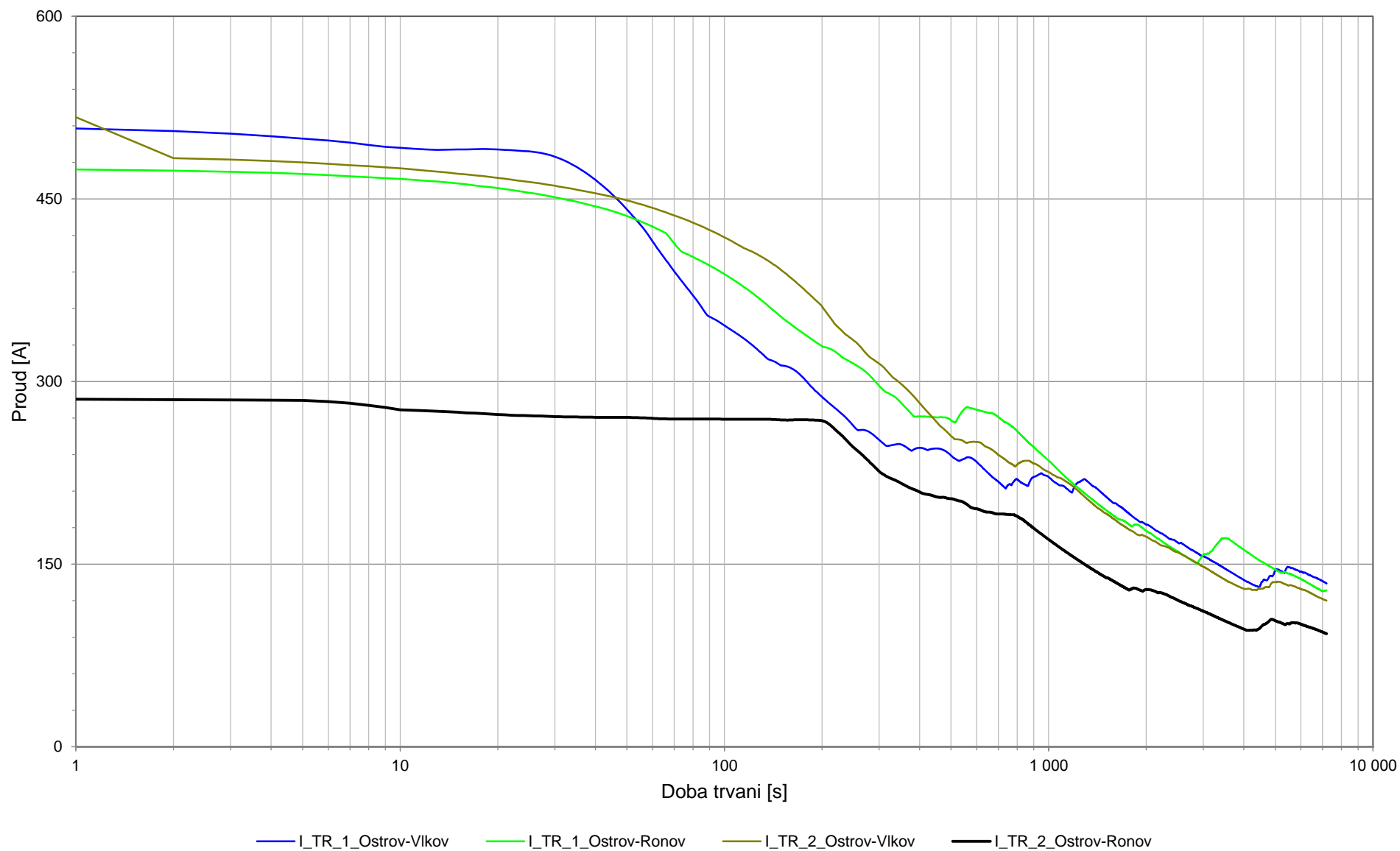


8.8 Proudové zatížení TV – Stávající doprava se stávajícím základním napájením

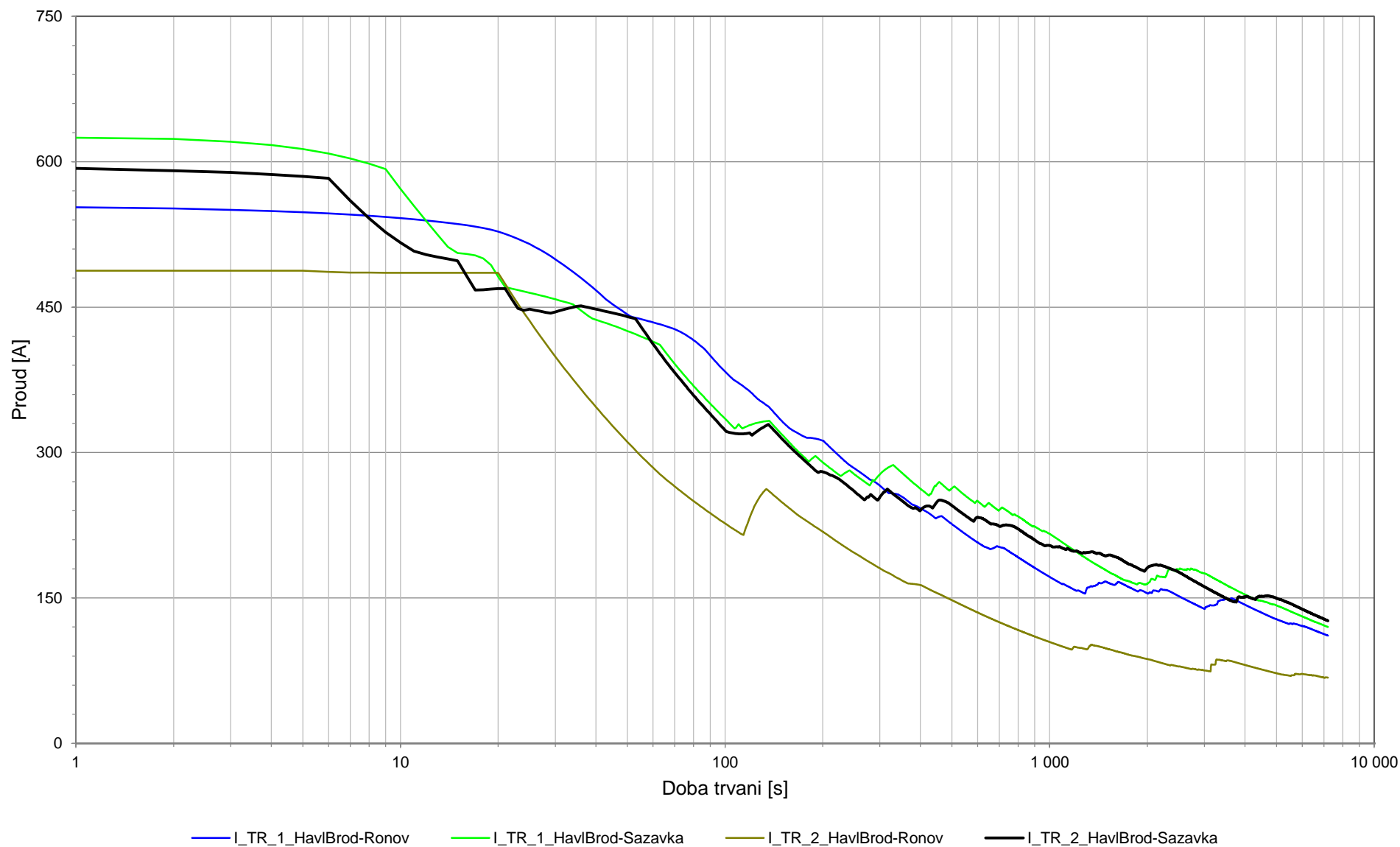
8.8.1 Proudové zatížení TV – TT Čebín



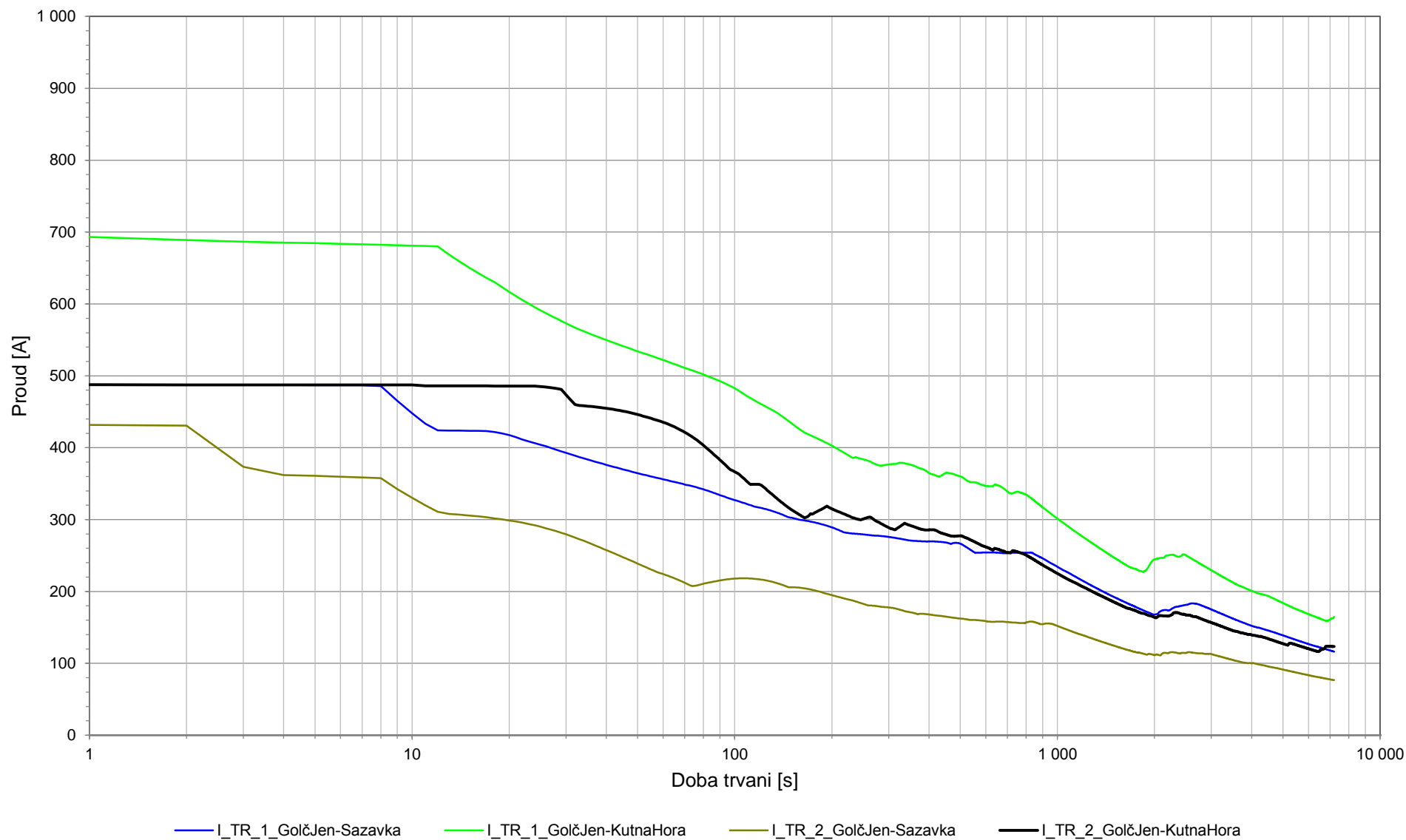
8.8.2 Proudové zatížení TV – TT Ostrov nad Oslavou



8.8.3 Proudové zatížení TV – TT Havlíčkův Brod

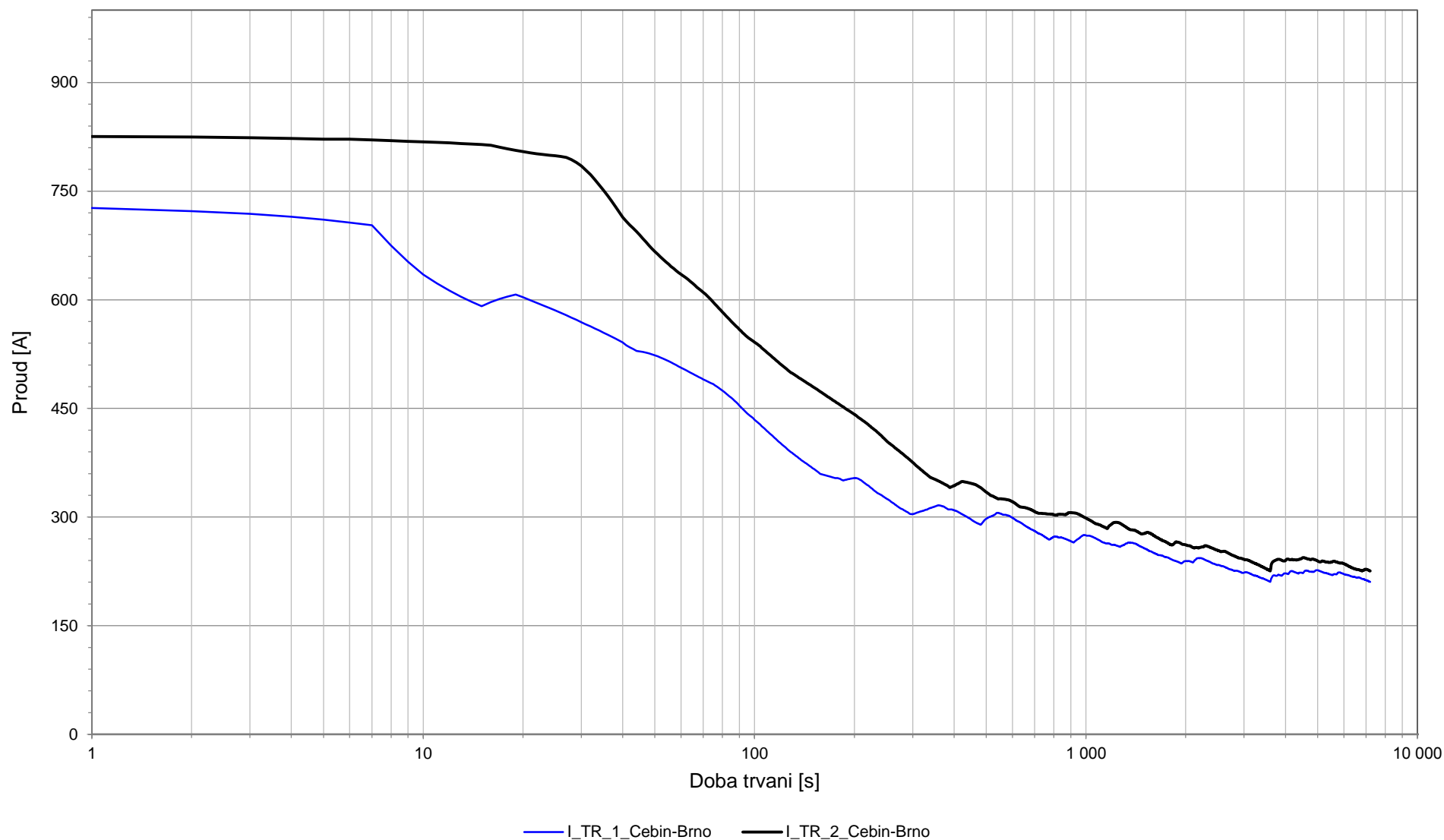


8.8.4 Proudové zatížení TV – TT Golčův Jeníkov

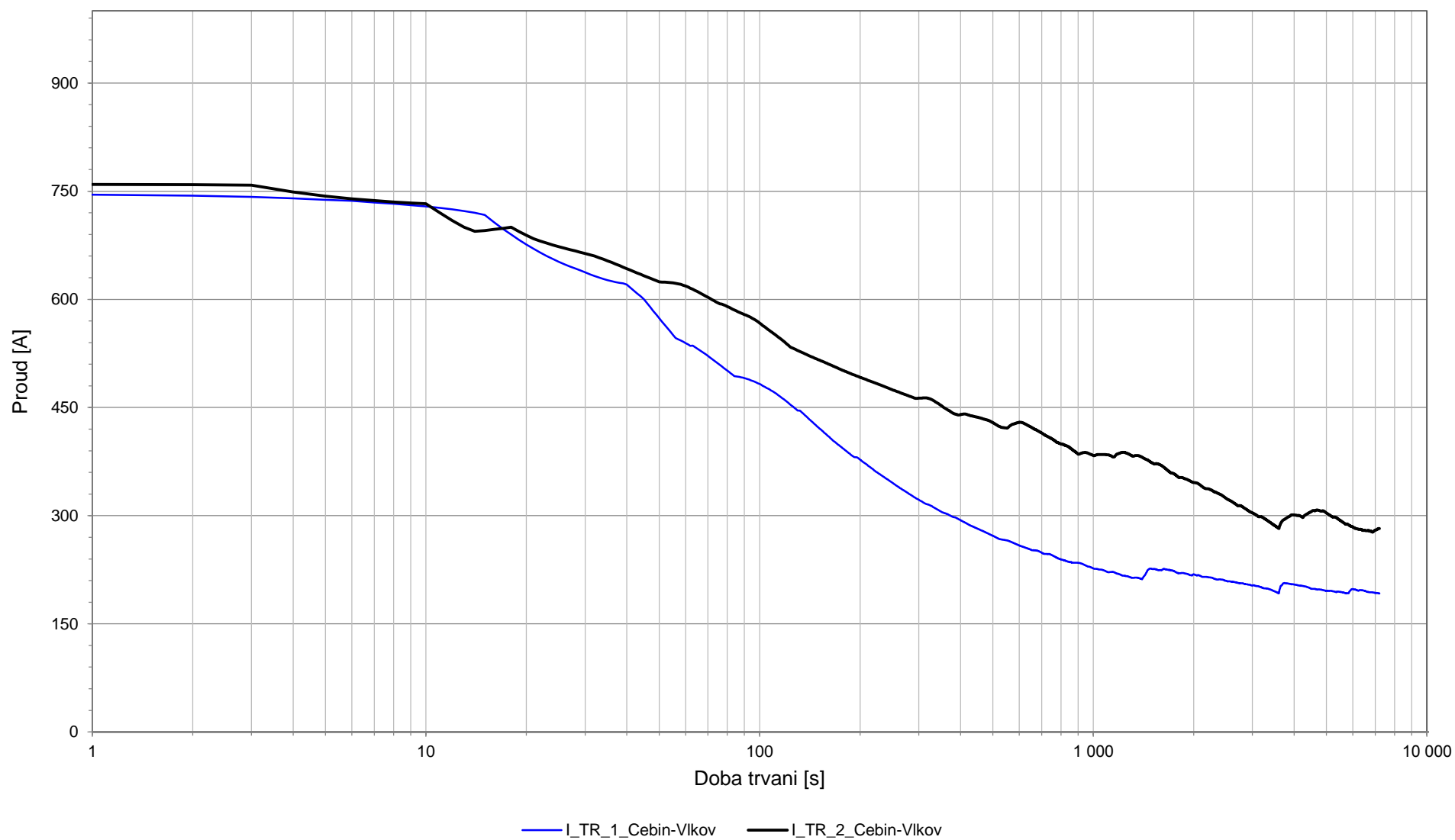


8.9 Proudové zatížení TV – Odklonová doprava s odklonovým napájením

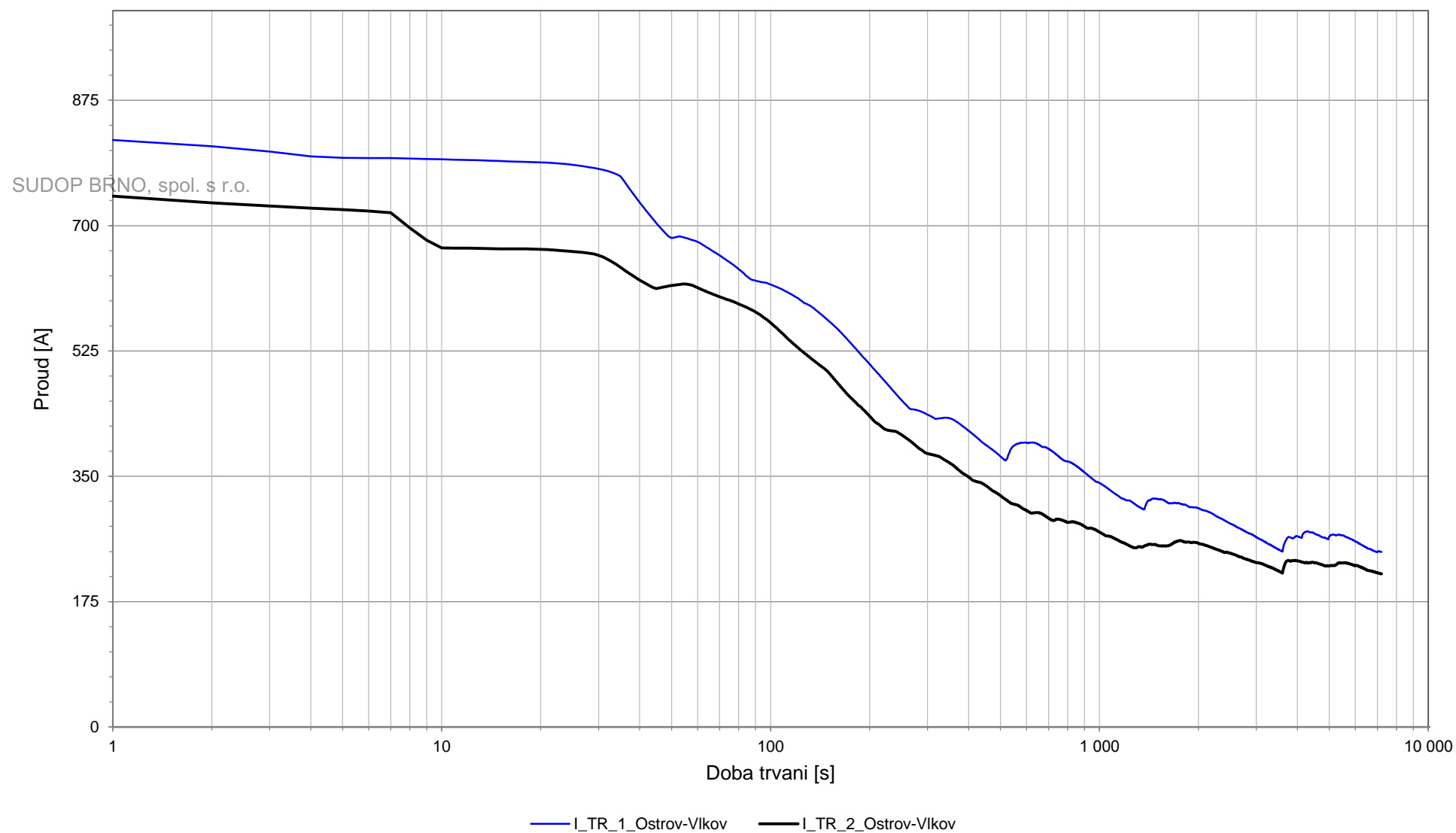
8.9.1 Proudové zatížení TV – TT Čebín T1



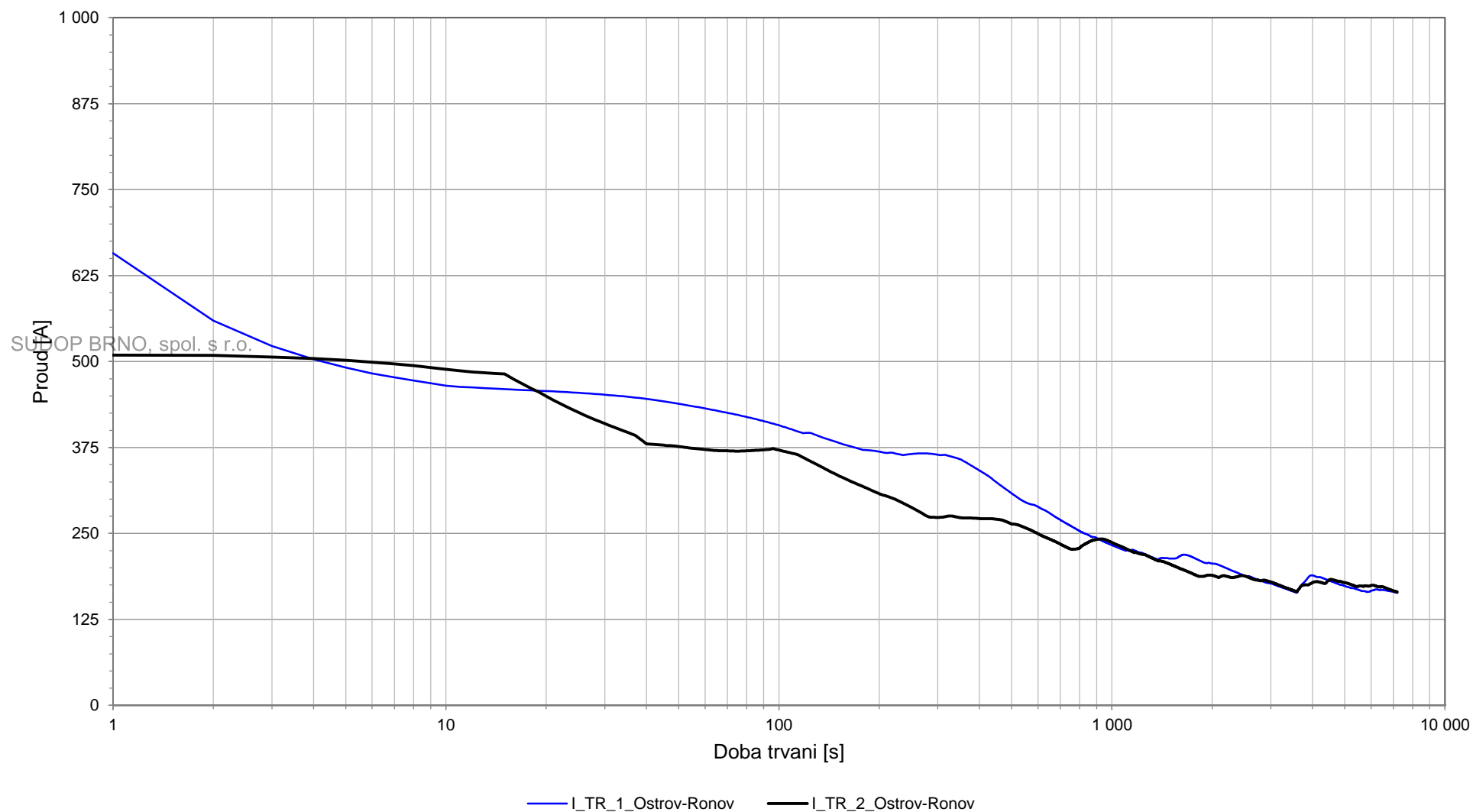
8.9.2 Proudové zatížení TV – TT Čebín T2



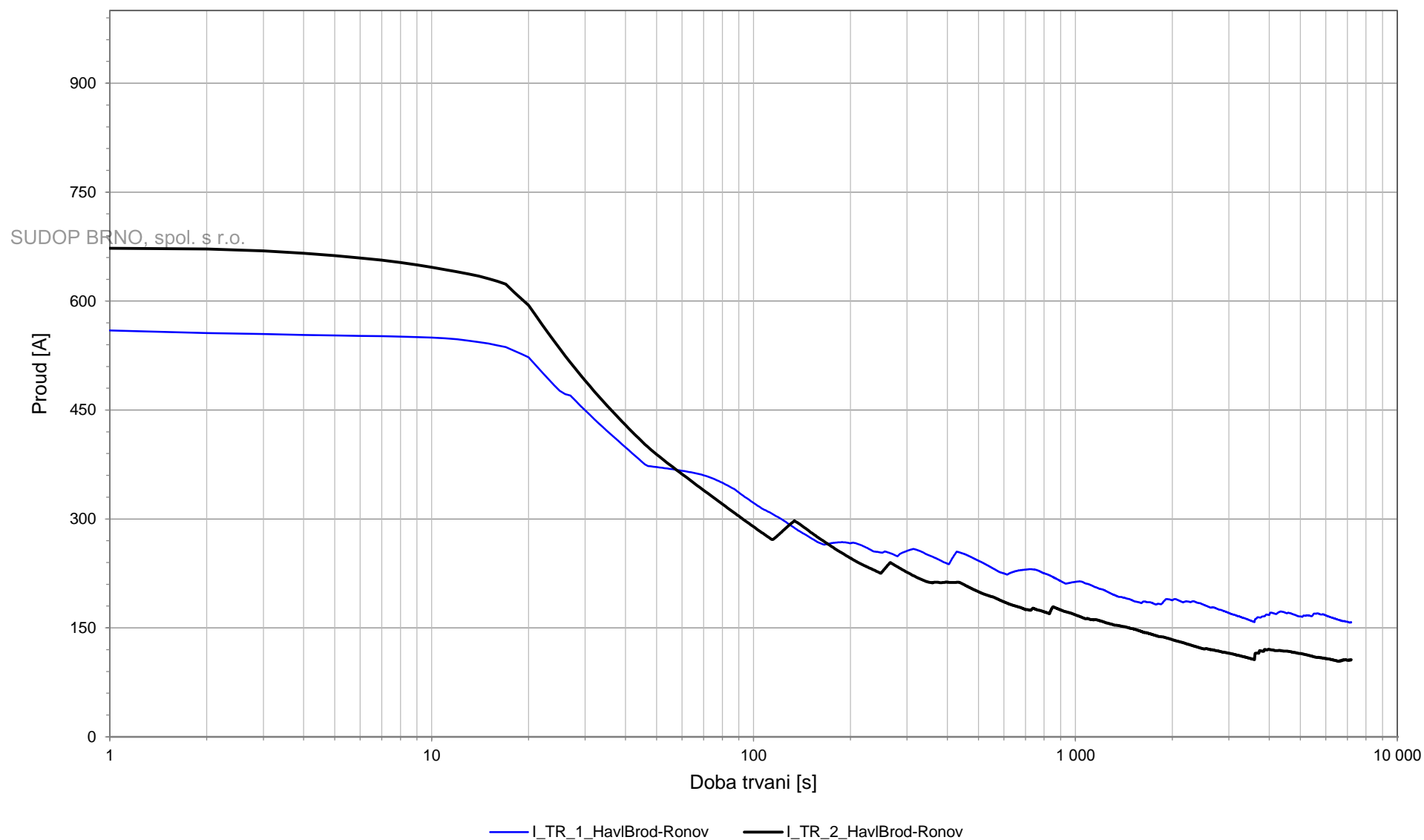
8.9.3 Proudové zatížení TV – TT Ostrov nad Oslavou T1



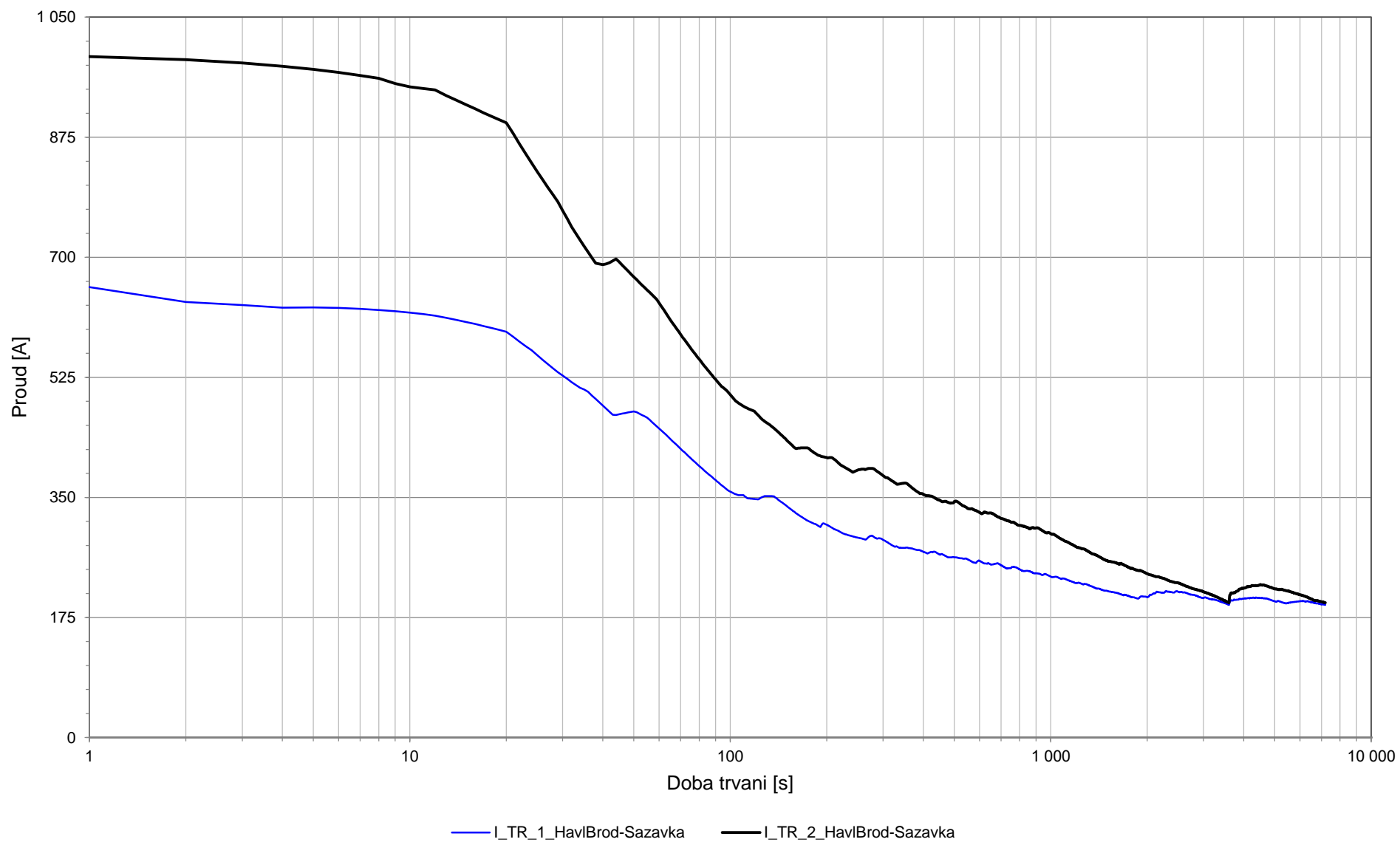
8.9.4 Proudové zatížení TV – TT Ostrov nad Oslavou T2



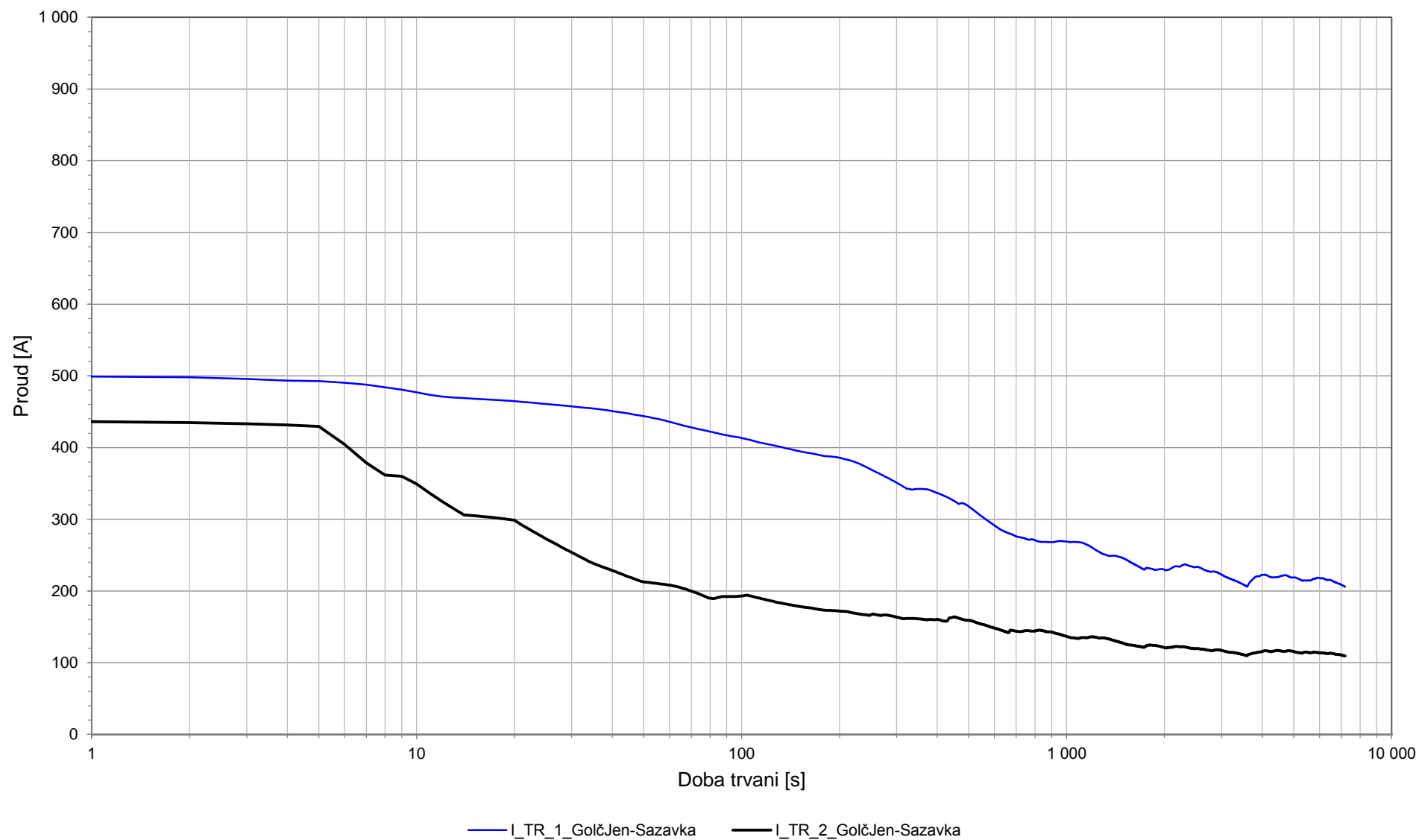
8.9.5 Proudové zatížení TV – TT Havlíčkův Brod T1



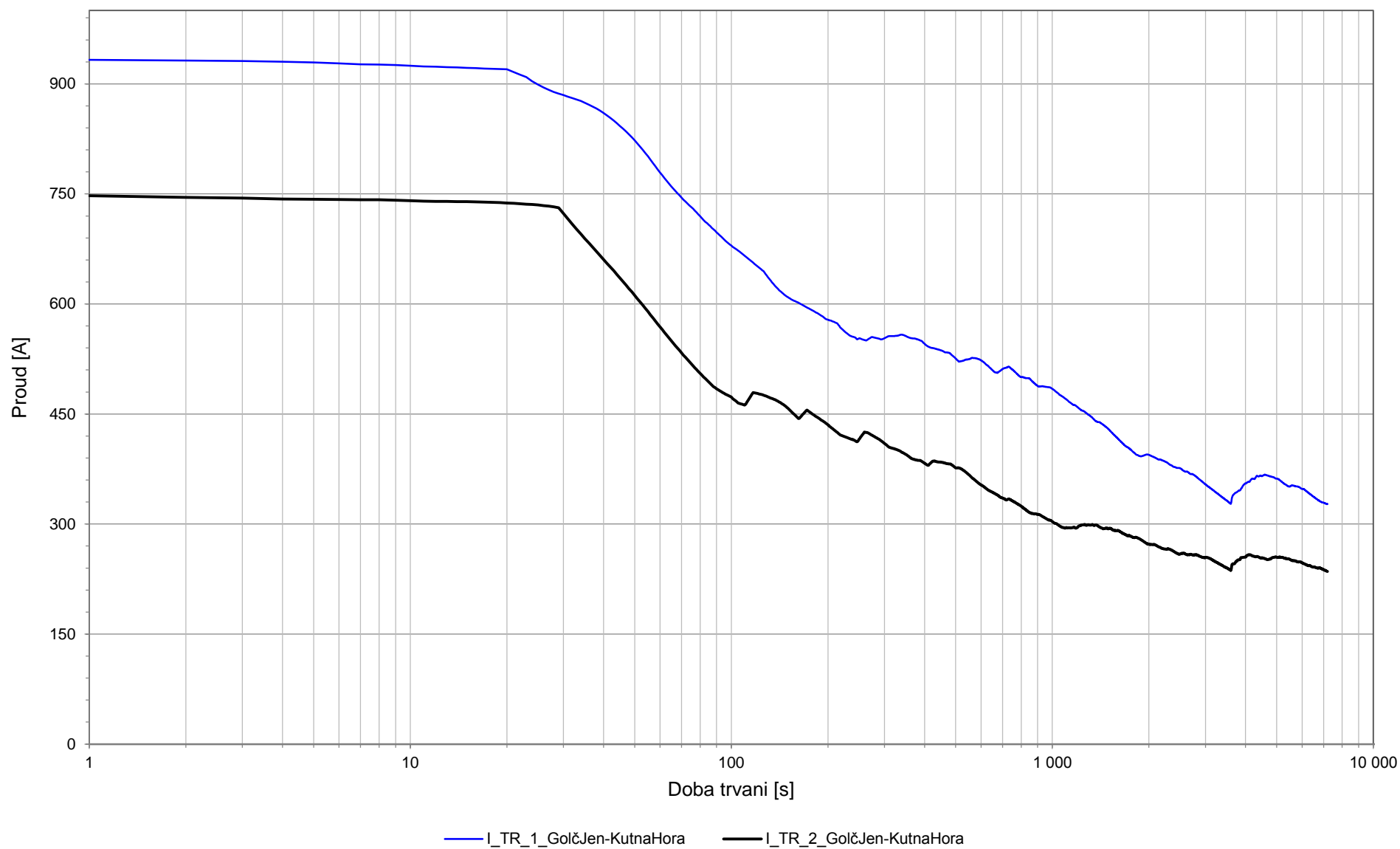
8.9.6 Proudové zatížení TV – TT Havlíčkův Brod T2



8.9.7 Proudové zatížení TV – TT Golčův Jeníkov T1

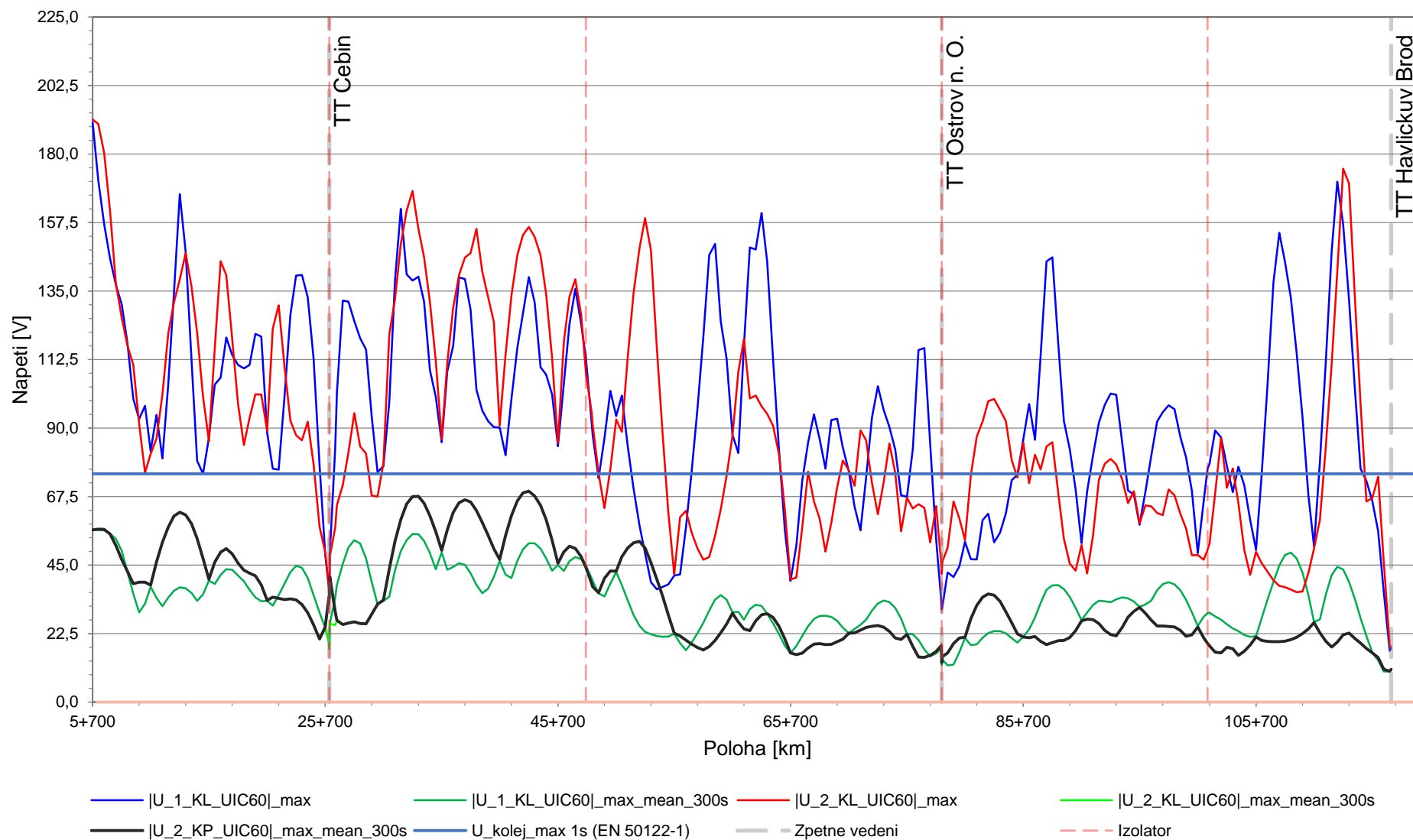


8.9.8 Proudové zatížení TV – TT Golčův Jeníkov T2

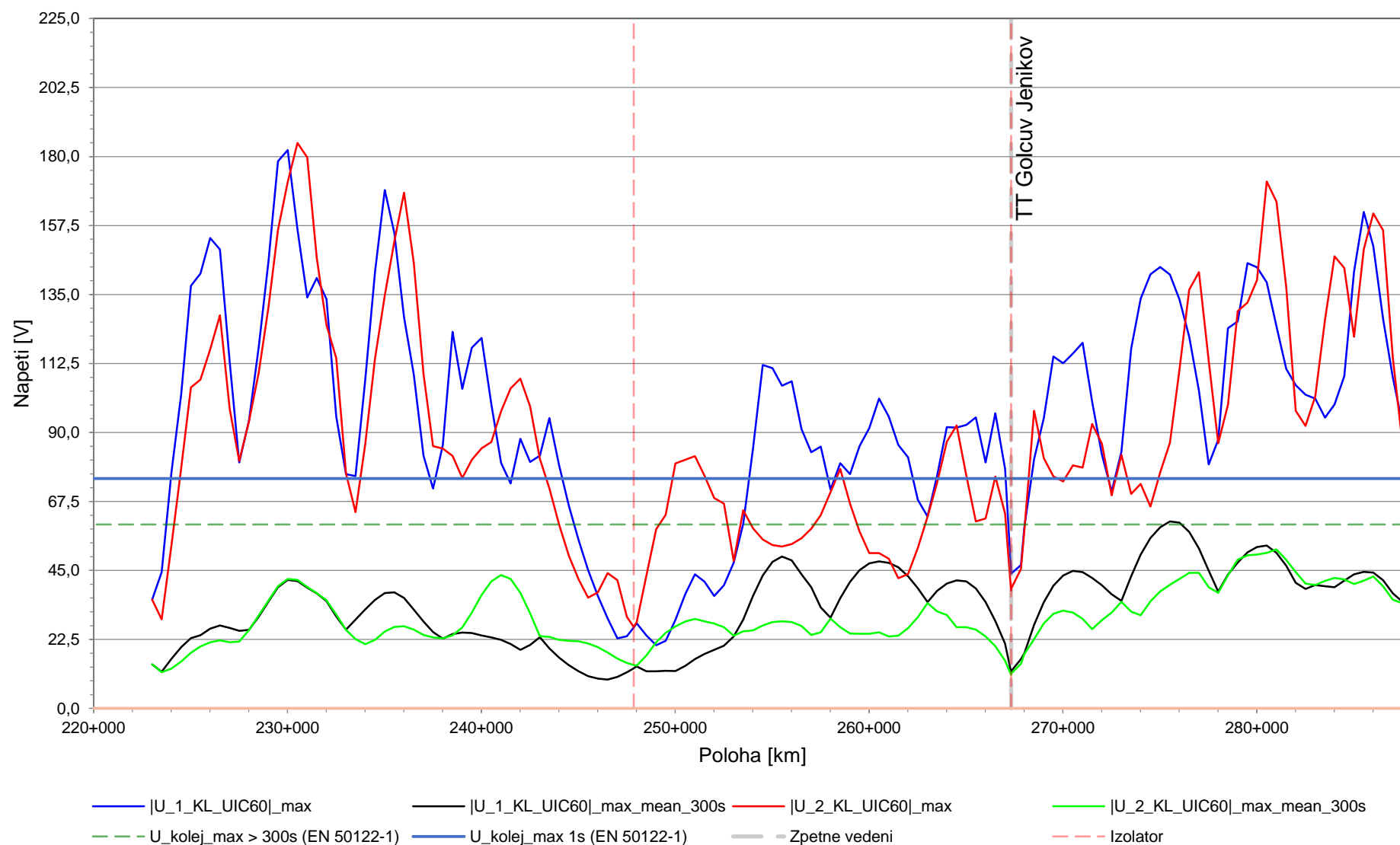


8.10 Minimální napětí mezi kolejí a zemí – stávající doprava se stávajícím základním napájením

8.10.1 Brno Husovice – Havlíčkův Brod - AC

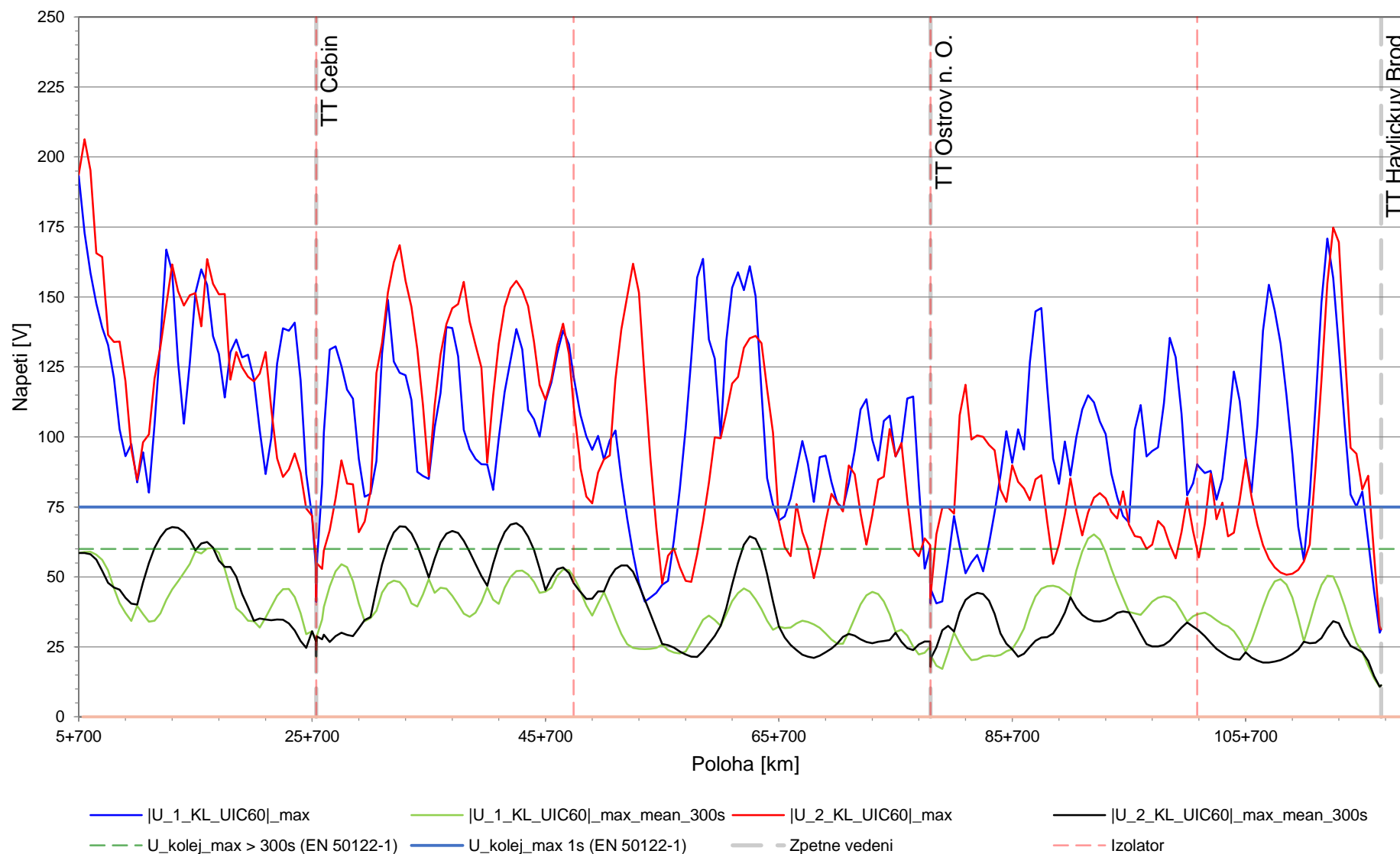


8.10.2 Havlíčkův Brod – Kutná Hora - AC



8.11 Minimální napětí mezi kolejí a zemí – odklonová doprava s odklonovým napájením

8.11.1 Brno Husovice – Havlíčkův Brod - AC



8.11.2 Havlíčkův Brod – Kutná Hora - AC

