

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

## A.3 Energetické výpočty - simulace

### A.3.2 Energetické výpočty – varianta 1 a 2

#### ZÁKLADNÍ ÚDAJE

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

Stupeň: studie proveditelnosti

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

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



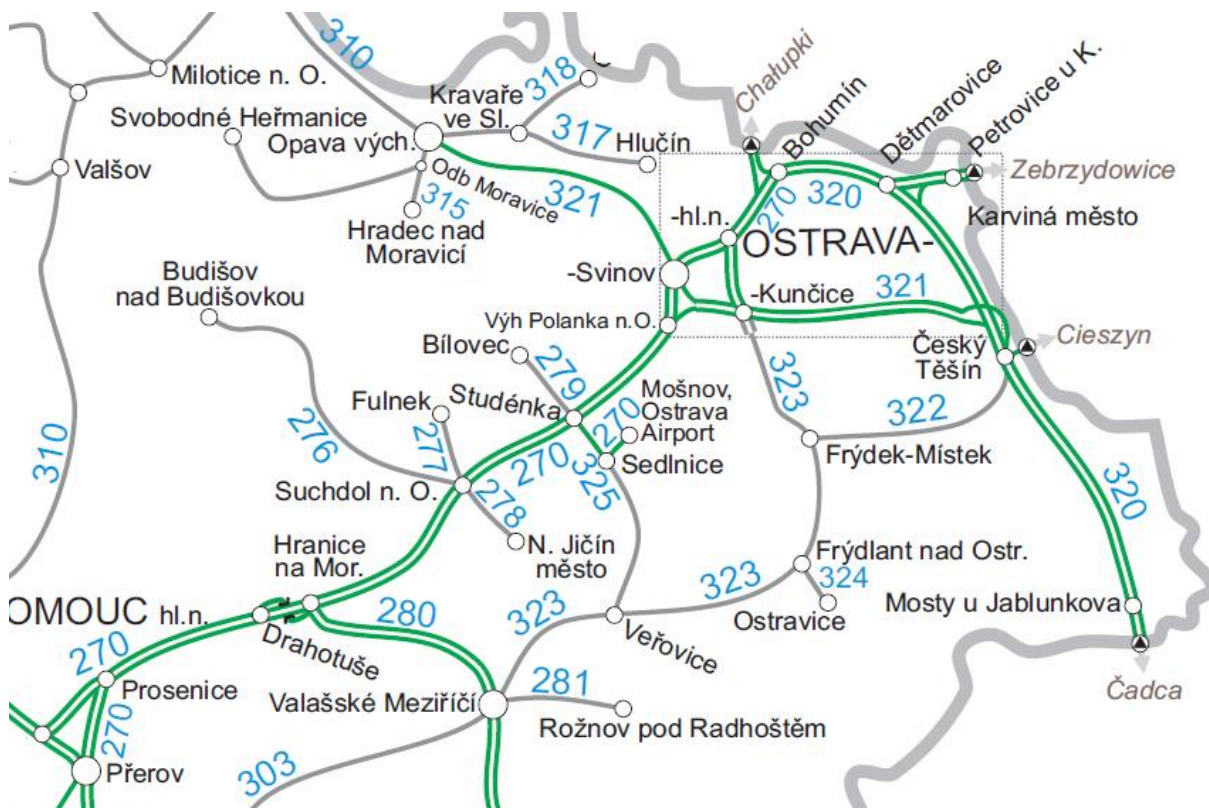
Zpracovatel:	SUDOP BRNO, spol. s r.o. Kounicova 26, 611 36 Brno
Generální ředitel:	Ing. Kamil Chmela
Odpovědný projektant zakázky:	Ing. Jiří Pelc
Navrhl, vypracoval:	Ing. Ondřej Svoboda

## 1 Obsah

<b>1</b>	<b>OBSAH .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>PODKLADY.....</b>	<b>2</b>
3.1	POUŽITÉ NORMY A PŘEDPISY .....	2
3.2	MODEL INFRASTRUKTURY, JÍZDNÍ ŘÁD A HV.....	3
<b>4</b>	<b>VSTUPNÍ DATA .....</b>	<b>4</b>
4.1	PARAMETRY AC SÍTĚ .....	5
4.2	PARAMETRY TRAKČNÍCH NAPÁJECÍCH STANIC .....	5
4.3	PARAMETRY TRAKČNÍHO VEDENÍ .....	5
4.4	PARAMETRY HNACÍCH VOZIDEL .....	7
<b>5</b>	<b>METODA VÝPOČTU.....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>10</b>
6.1	DIMENZOVÁNÍ TNS .....	12
6.2	SPOTŘEBA ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	12
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>12</b>

## 2 Úvod

Tyto energetické výpočty mají za cíl navrhnout a posoudit střídavé trakční napájení AC 25 kV,50 Hz po celé délce řešeného úseku (Přerov-Ostrava-Čadca) s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu v projektové variantě 1 a 2 se střídavou trakční sestavou. Výpočty byly zpracovány formou simulace za pomoci programů OpenTrack a OpenPowerNet. Nyní je řešený úsek napájený stejnosměrnou proudovou soustavou DC 3kV, viz obrázek níže.



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

## 3 Podklady

Celá simulace byla provedena v programu OpenTrack, kde je namodelována infrastruktura a dopravní technologie kromě napájení (koleje, výhybky, jízdní řád, zabezpečovací zařízení atd.) a v programu OpenPowerNet, kde bylo namodelováno napájení (vodiče, napájecí stanice, trakční propojení atd.)

### 3.1 Použité normy a předpisy

- ČSN 34 1530 ed.2
- ČSN 34 1500 ed.2
- ČSN EN 50 119 ed.2
- ČSN EN 50 122-1 ed.2
- ČSN EN 50 122-2 ed.2
- ČSN EN 50 163 ed.2
- ČSN EN 50 388 ed.2

Energetické výpočty

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

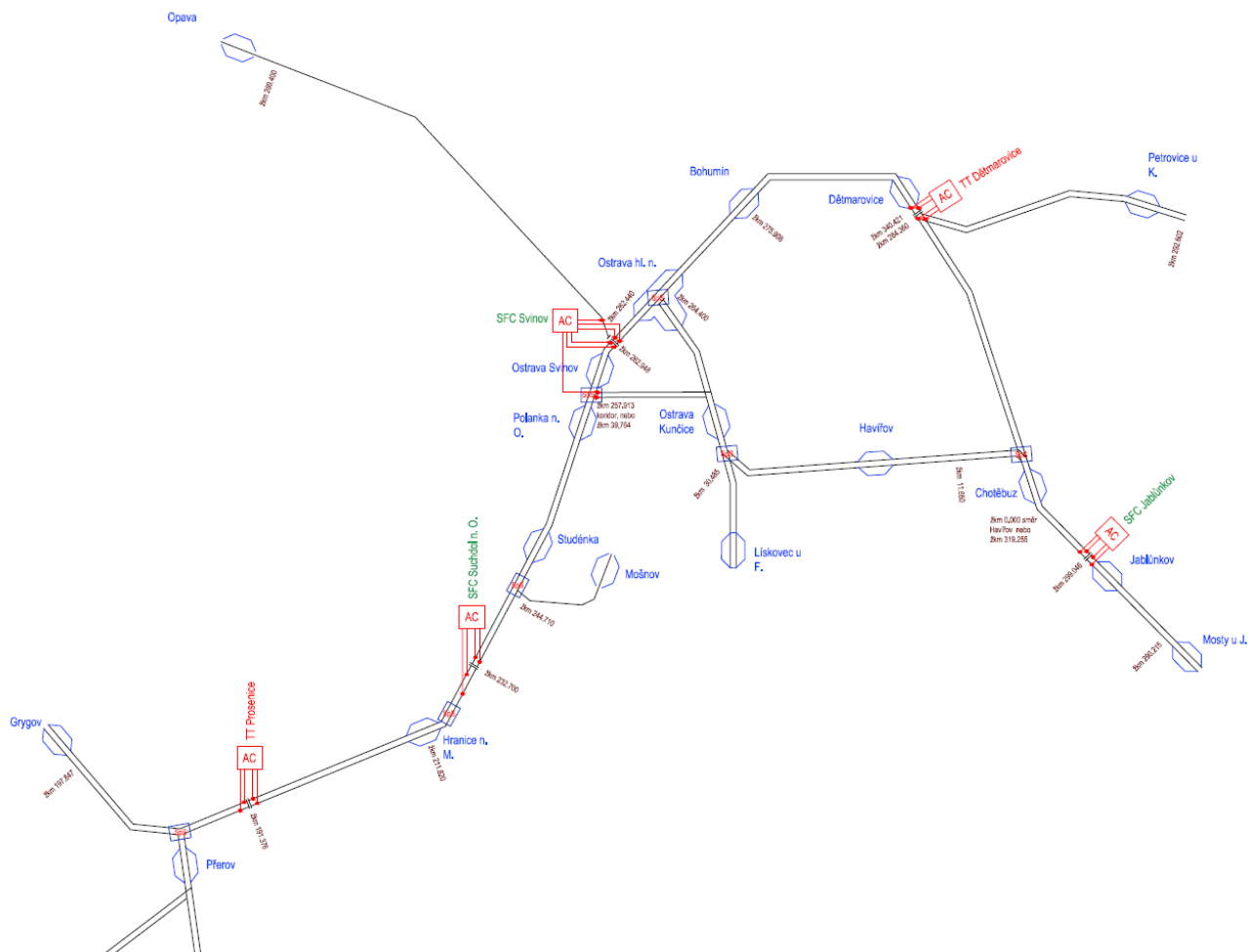
### 3.2 Model infrastruktury, jízdní řád a HV

- **Koleje**  
Niveleta koleje byla převzata od zadavatele a odpovídá stávajícímu stavu. Stejně tak byly převzaty polohy výhybek a nástupišť.
- **Jízdní řád**  
Byl zpracován po konzultaci s dopravním technologem objednatele a na základě toho byl vybrán nejhorší možný stav.
- **Zabezpečovací zařízení**  
Hlavní návěstidla a oddíly byly také navrženy dle zadání objednatele a respektují výhledový stav.
- **Hnací vozidla**  
V simulaci se uvažuje s typizovanými lokomotivami a elektrickými jednotkami.
- **Napájecí stanice**  
Rozmístění napájecích stanic odpovídá současnému stavu. Systém napájení byl převzat z výhledových schémat napájení a dělení.
- **Trakční vedení**  
Sestava trakčního vedení včetně základního propojení byla také převzata z projektů a odpovídá výhledovému stavu.
- **Hnací vozidla**  
V modelu se uvažuje s regulací výkonu dle TSI ENE a s povolenou rekuperací.

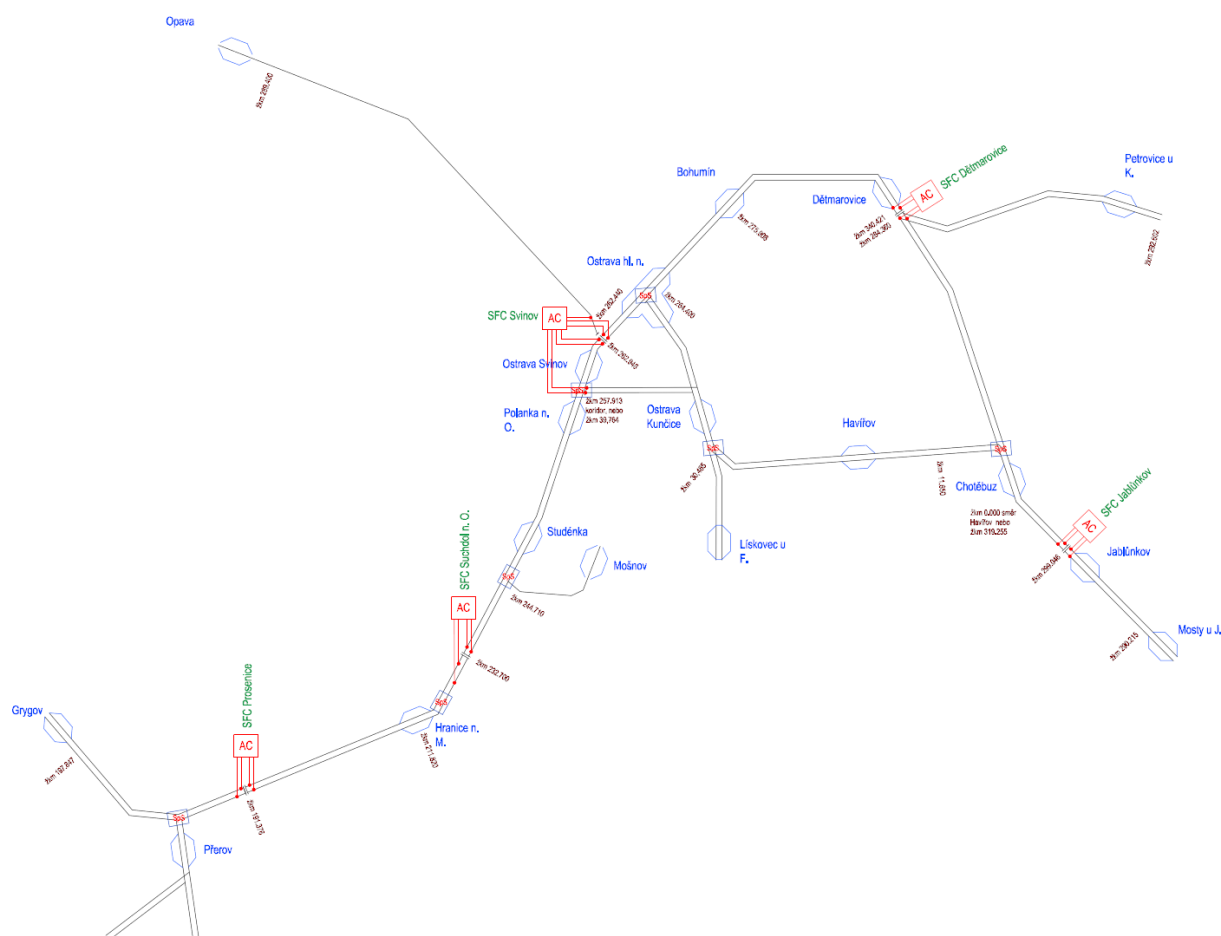
## 4 Vstupní data

Energetický model byl navržen v programu OpenPowerNet a zahrnuje v sobě model napájecích stanic, trakčního vedení a elektrických parametrů lokomotiv. Program OpenPowerNet využívá ke svému výpočtu program OpenTrack, ve kterém byla vymodelována infrastruktura kolejí, výhybek, nástupišť a zabezpečovacího zařízení. V programu OpenTrack byl také zpracován model vlaků, lokomotiv a elektrických souprav včetně jízdního řádu.

Model napájení byl rozdělen následovně (detail v příloze B.11):  
Návrhová varianta 1



## Návrhová varianta 2



### 4.1 Parametry AC sítě

- Napětí 25 kV
- Frekvence 50 Hz

### 4.2 Parametry trakčních napájecích stanic

- Napětí nakrátko 16 %
- Ztráty nakrátko 96 kW
- Ztráty naprázdno 7,5 kW
- Proud naprázdno 0,1 A
- Jmenovitý výkon 16 MVA
- Primární napětí 115 kV
- Sekundární napětí 27 kV
- 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 poloměr <sup>1</sup>	3,578 mm
• činný odpor	0,32 Ω/km
• teplotní součinitel	0,004 °C <sup>-1</sup>
• uvažovaná teplota vodiče	80°C

#### **Trolej 100Cu**

• geometrická poloha [x ; y]	[0 ; 5,6] m
• ekvivalentní poloměr	4,395 mm
• činný odpor	0,183 Ω/km
• teplotní součinitel	0,00393 °C <sup>-1</sup>
• uvažovaná teplota vodiče	80°C

#### **Pravá kolejnice**

• geometrická poloha [x ; y]	[0,7175 ; 0] m
• ekvivalentní poloměr	38,54 mm
• činný odpor <sup>2</sup> při 20°C	0,416 Ω/km
• teplotní součinitel	0,004 °C <sup>-1</sup>
• uvažovaná teplota vodiče	60°C

#### **Levá kolejnice**

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

#### **Obcházecí vedení**

• geometrická poloha [x ; y]	[-4;6] m
• ekvivalentní poloměr <sup>3</sup>	4,685 mm
• činný odpor	0,15 Ω/km
• teplotní součinitel	0,004 °C <sup>-1</sup>
• uvažovaná teplota vodiče	80°C

#### **Osová vzdálenost dvou kolejí 4 m**

#### **země**

• geometrická poloha [x ; y]	[0 ; -715]m
• ekvivalentní poloměr	465 m
• činný odpor	0,0393 Ω/km

### Propojky

• Vzdálenost mezikolejnicových propojení jedné stopy	1 km
• Vzdálenost mezikolejových propojení na jedné trati	5 km

<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

<sup>3</sup> Ekvivalentní poloměr je takový poloměr, který by měl kulovitý vodič o plném průřezu se stejnými elektrickými parametry.

### Energetické výpočty

- |   |            |
|---|------------|
| • Propojení troleje a nosného lana        | 1 000 S/km |
| • Propojení kolejnice a země <sup>4</sup> | 0,01 S/km  |

#### 4.4 Parametry hnacích vozidel

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

##### EC

- Zdvojená univerzální elektrická jednotka
- Jízdní odpor R

##### EC

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

##### NEx

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

##### Pn

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

##### R

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

##### SC

- Jízdní odpor R
- Lokomotiva ICE 7

##### NEx

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

##### Os

- RegioPanter 640
- Jízdní odpor R

<sup>4</sup> Hodnota vychází z odborného odhadu na základě dané maximální svodové vodivosti 0,5 S/km (ČSN EN 50 122-2 ed.2) a na základě zjištění Ing. Jana Matouše publikovaného zde [http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy\\_matous\\_a.pdf](http://www.railvolution.net/czechraildays/2011/seminare/trendy_matous_a.pdf), kde uvádí přechodový odpor kolej – zem u nových tratí jako „mnohdy převyšující hodnotu 100 Ω/km (u nerekonstruovaných tratí tato hodnota obvykle bývá okolo 1 Ωkm)“.



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

**Vectron**

- Maximální výkon 6,4 MW
- Maximální tažná síla 300 kN
- Max. napětí při rekuperaci 29 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 29 kV
- Skutečný účinník 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ne

**ICE 7**

- Maximální výkon 4,95 MW
- Maximální tažná síla 264 kN
- Max. napětí při rekuperaci 29 kV
- Skutečný účinník 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ano

## 5 Metoda výpočtu

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

- I. OpenTrack na základě daného jízdního řádu rozmístí vlaky v oblasti.
- II. Dále spočítá na základě jejich jízdního odporu, hybnosti a trakční charakteristiky, jaký potřebují dodat výkon a tuto informaci (i s polohou vlaků) odešle programu OpenPowerNet.
- III. OpenPower následně iterační metodou spočítá, jakým způsobem se rozloží požadovaný výkon mezi jednotlivé napájecí stanice, spočítá ztráty v trakčním vedení a dostupný výkon pro jednotlivé vlaky.
- IV. OpenPowerNet odešle dostupný výkon pro jednotlivé vlaky (stejný jako požadovaný nebo menší způsobený např. poklesem napětí pod  $0,9U_{jm}$ ) programu OpenTrack.
- V. OpenTrack převezme dostupný výkon pro jednotlivé vlaky a spočítá ujetou vzdálenost za jednu sekundu. Po té znovu vypočítá potřebný výkon a celý proces se tak pro každou sekundu v jízdním řádu opakuje.

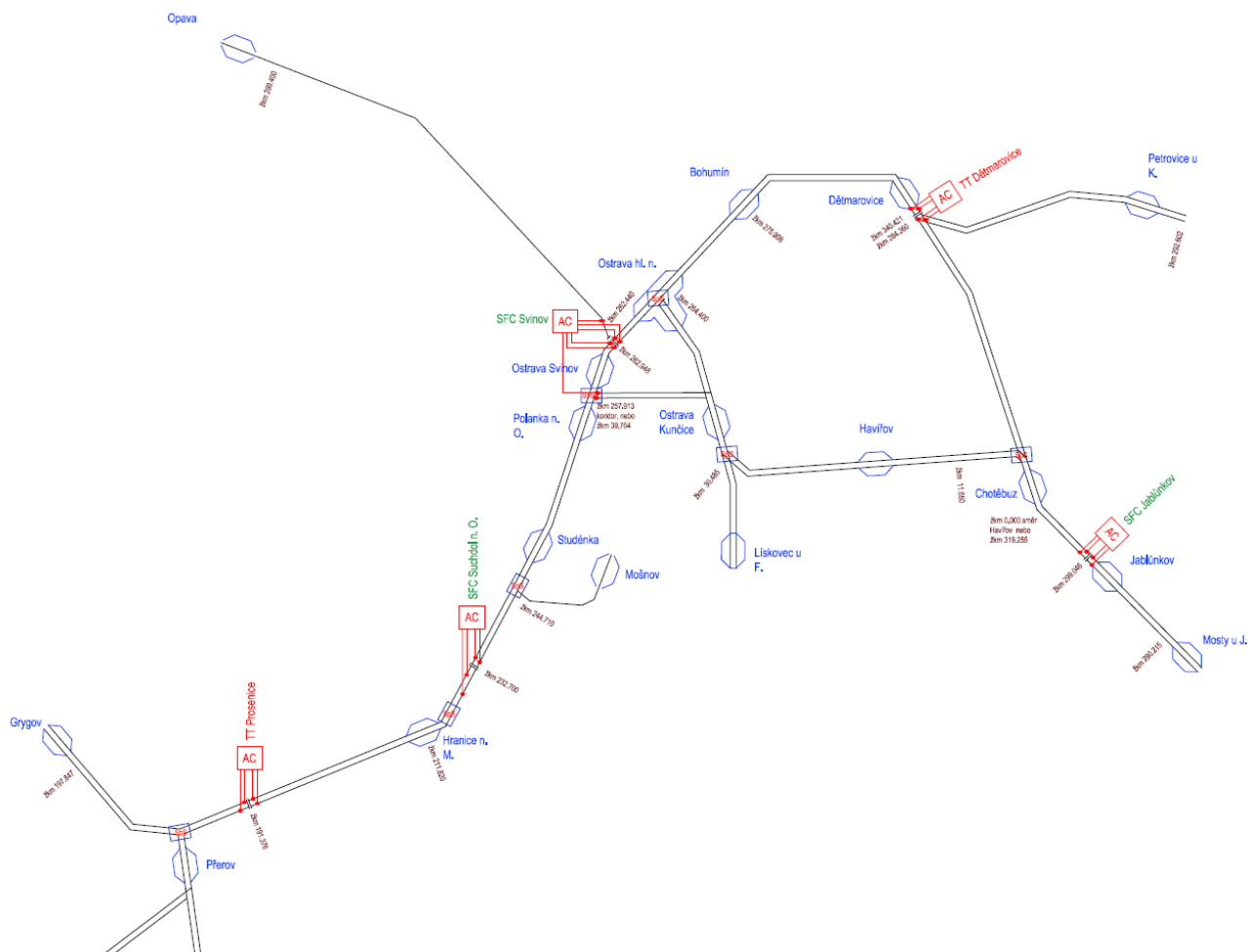
## 6 Výsledky

Varianta 1 uvažuje již střídané napájení v celé řešené oblasti. Je navržena tak, aby vyhověla výhledovému dopravnímu zatížení a to jak z hlediska kvality, tak i spolehlivosti. Subsystem energie zde není pro výhledový grafikon omezující, umožňuje nákladním dopravcům využít všechny potenciální volné trasy a osobní doprava jezdí dle simulace i s důležitou rezervou pro zajištění potřebné stability grafikonu.

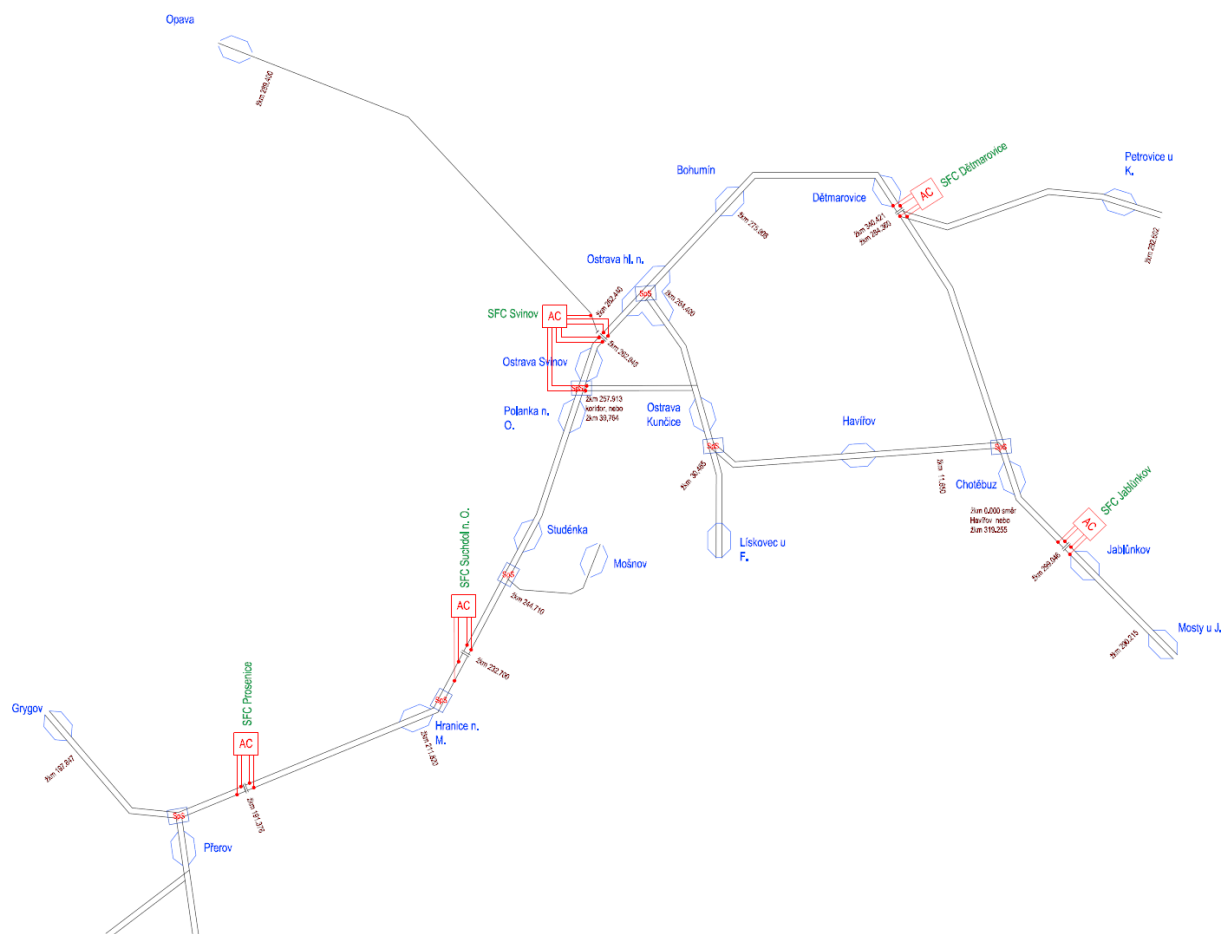
Varianta 2 se liší od té předchozí pouze v použité technologii některých napájecích stanic (Dětmarovice a Prosenice). Je zde uvažováno s použitím technologie statických měničů v každé napájecí stanici. Z hlediska kvality napájení se jedná o srovnatelnou projektovou variantu jako je varianta č. 1.

Použití technologie statických měničů u všech napájecích stanic je řešení nákladnější a dražší na údržbu, kvalita napájení je ale naopak vyšší.

### Návrhová varianta 1



## Návrhová varianta 2



Model by rozdělen na dvě samostatné oblasti. Trakční vedení je v každé oblasti propojeno pro zajištění lepší rekuperace. Místo rozdělení je v SpS Polanka nad Odrou. Úsek Přerov – Polanka n. O. je tedy napájen z TNS Prosenice a TNS Suchdol. Zbýlá oblast je potom napájena z TNS Svinov, Dětmárovice a Jablunkov.

TNS	P <sub>1s</sub>	P <sub>15min</sub>	0,7 % S <sub>k</sub>
	MW	MW	MVA
Prosenice	35,5	20	17
Suchdol n. O.	35,3	20,2	5
Svinov	23,9	11,9	10
Dětmárovice	21,8	12,1	17
Jablunkov	26,8	14,7	6

Z výsledků vyplývá potřebný výkon jednotlivých napájecích trakčních stanic, který je nutný pro zajištění stability grafikonu a spolehlivosti napájení. **Kromě TNS Dětmárovice byl zjištěn nedostatečný dostupný příkon u všech TNS.** Podrobné průběhy výkonu v příloze (7.1-7.5).

## 6.1 Dimenzování TNS

Z výše uvedených výsledků byl stanoven potřebný instalovaný výkon daných napájecích trakčních stanic. Na základě nedostatečné dovolené nesymetrie sítě jsou v TNS Suchdol n. O., Svinov a Jablůnkov navrženy statické frekvenční měniče. V TNS Prosenice je ve variantě 1 navržena klasická dvojice trakčních transformátorů, přestože je dle simulace překročen dovolený nesymetrický odběr ze sítě distributara el. energie o 3MW. Předpokládá se, že v další fázi projektové dokumentace budou výpočty zpřesněny. Pokud by byl i potom dostupný výkon nedostatečný, tak se předpokládá v této variantě využití aktivních balancérů pro symetrizaci pouze přebytkového výkonu.

TT..... trakční transformátor

SFC..... statický frekvenční měnič

### Varianta 1

TT Prosenice – 2x 16 MVA s třídou přetížitelnosti 6

SFC Suchdol n. O. – 2x 30 MVA

SFC Svinov – 2x 30 MVA

TT Dětmárovice – 2x 16 MVA s třídou přetížitelnosti 6

SFC Jablůnkov – 2x 30 MVA

Z důvodu zlepšení kvality napájení jsou všechny napájecí stanice v projektové variantě 2 řešeny technologií statických frekvenčních měničů.

### Varianta 2

SFC Prosenice – 2x 30 MVA

SFC Suchdol n. O. – 2x 30 MVA

SFC Svinov – 2x 30 MVA

SFC Dětmárovice – 2x 30 MVA

SFC Jablůnkov – 2x 30 MVA

## 6.2 Spotřeba elektrické energie

Celková průměrná roční spotřeba elektrické energie pro řešenou oblast ve variantě 1 a 2 byla spočtena z naměřených výkonových dat z let 2012 – 2018 s uvažováním navýšení dopravy v jednotlivých napájených úsecích a změny proudové soustavy na AC 25 kV 50 Hz, stím bylo uvažováno také snížením ztrát díky změně proudové soustavy a započítání rekuperace. **Stanovená hodnota je 289 685 MW/rok.**

## 7 Závěr

Projektové varianty nejsou omezující z hlediska spolehlivosti napájení trakční soustavy a stability grafikonu.

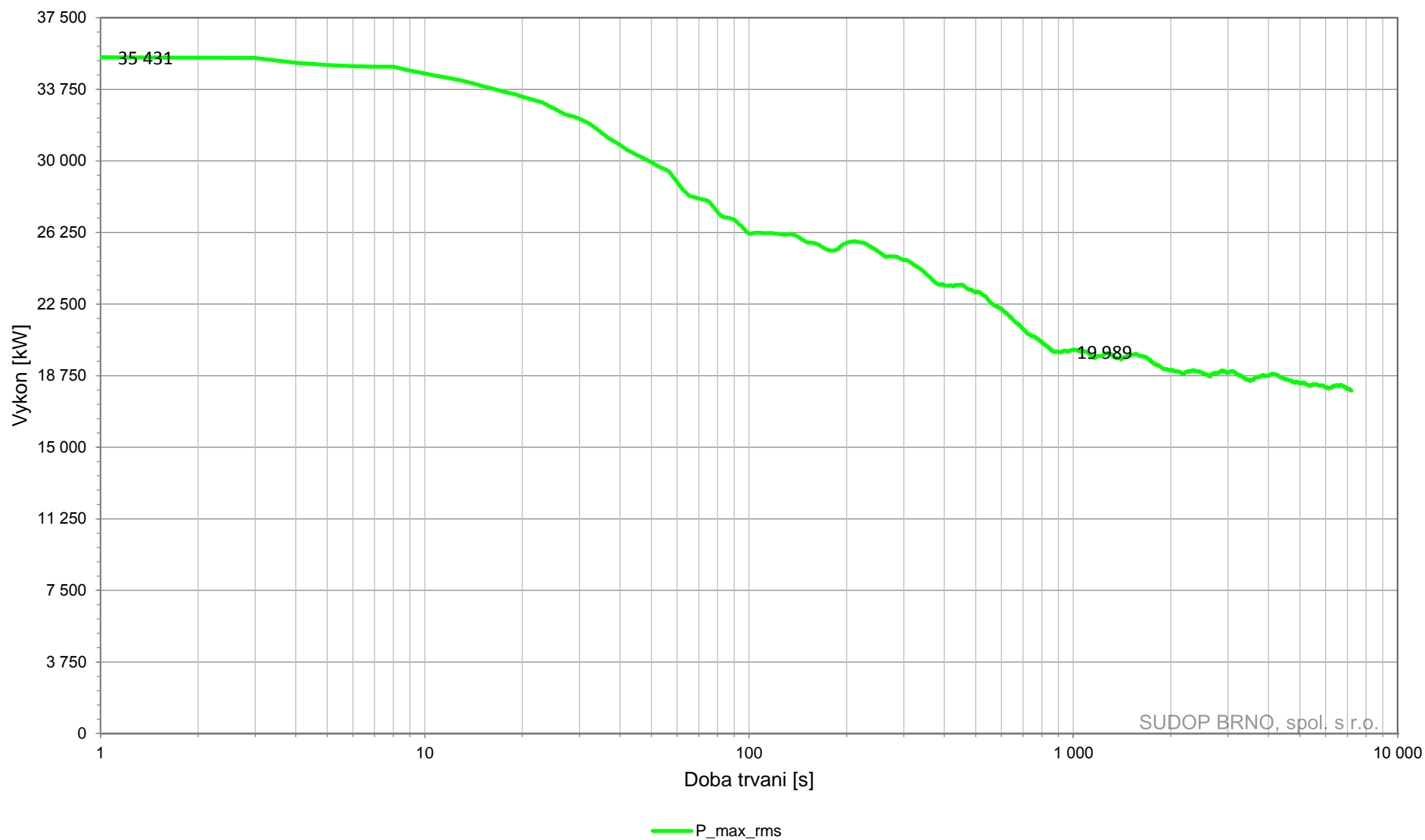
Kontroloval:

Jiří Podhradský

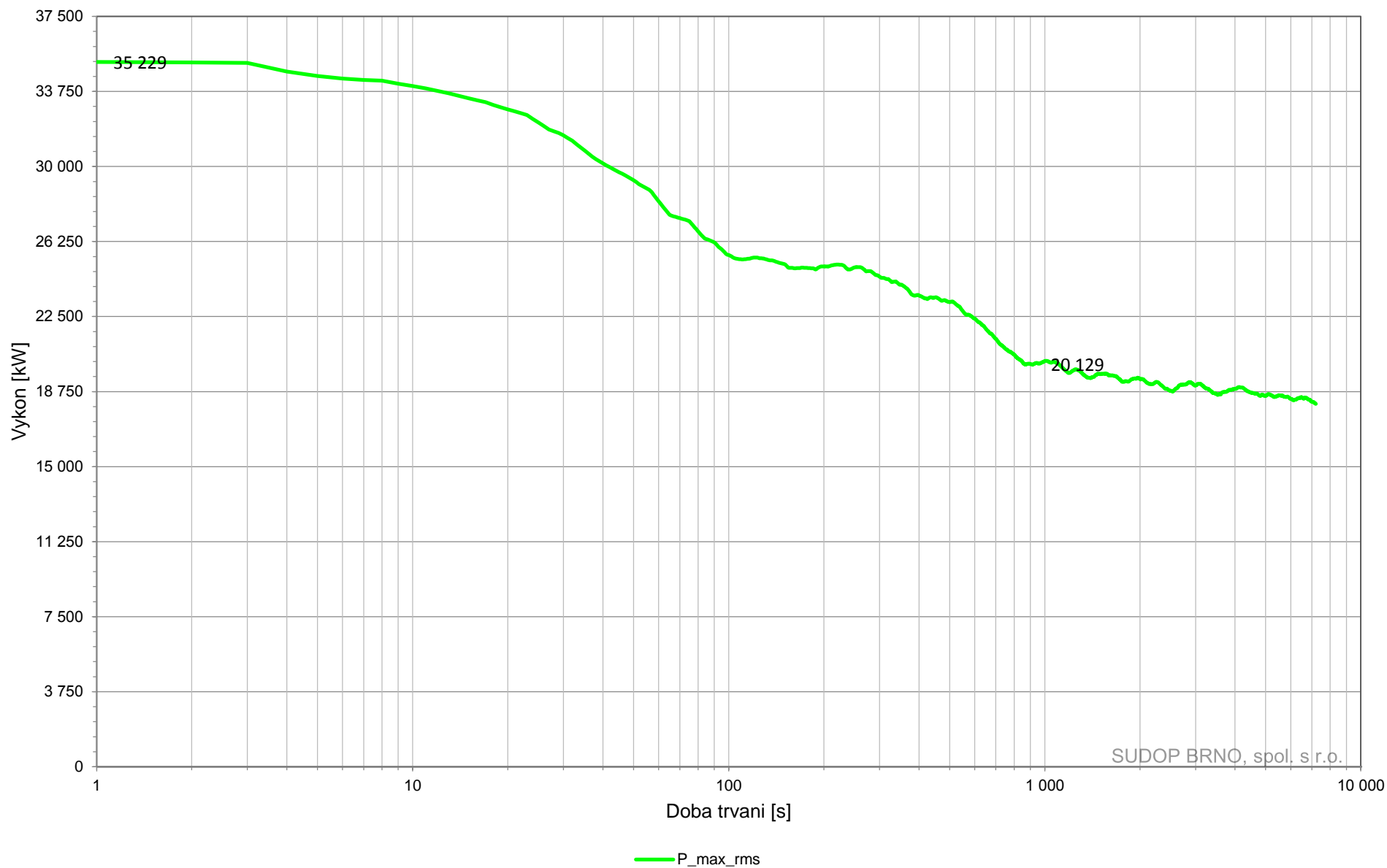
Zpracoval:

Ondřej Svoboda

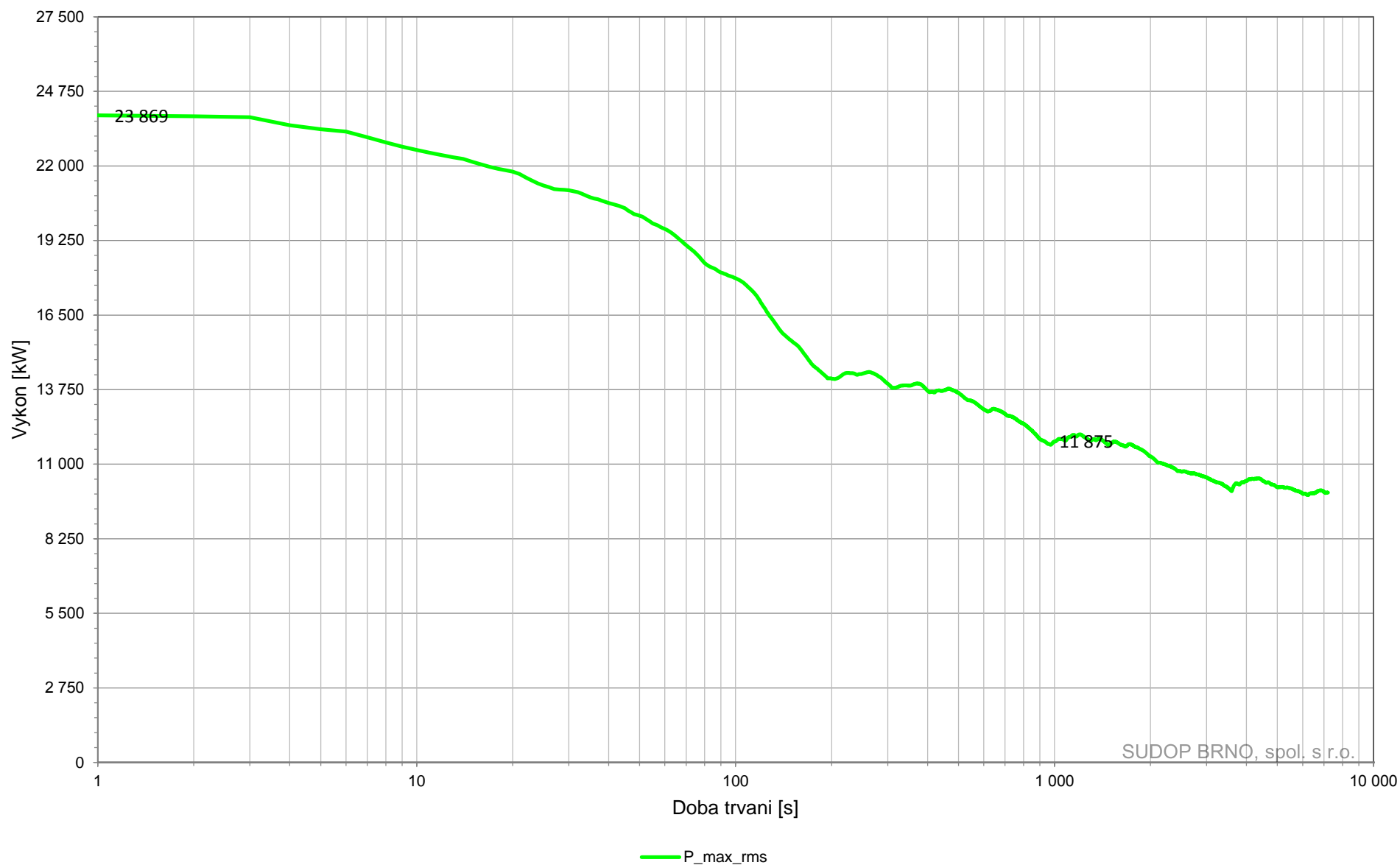
## 7.1 Výkonové zatížení TNS Prosenice



## 7.2 Výkonové zatížení TNS Suchdol n. O.

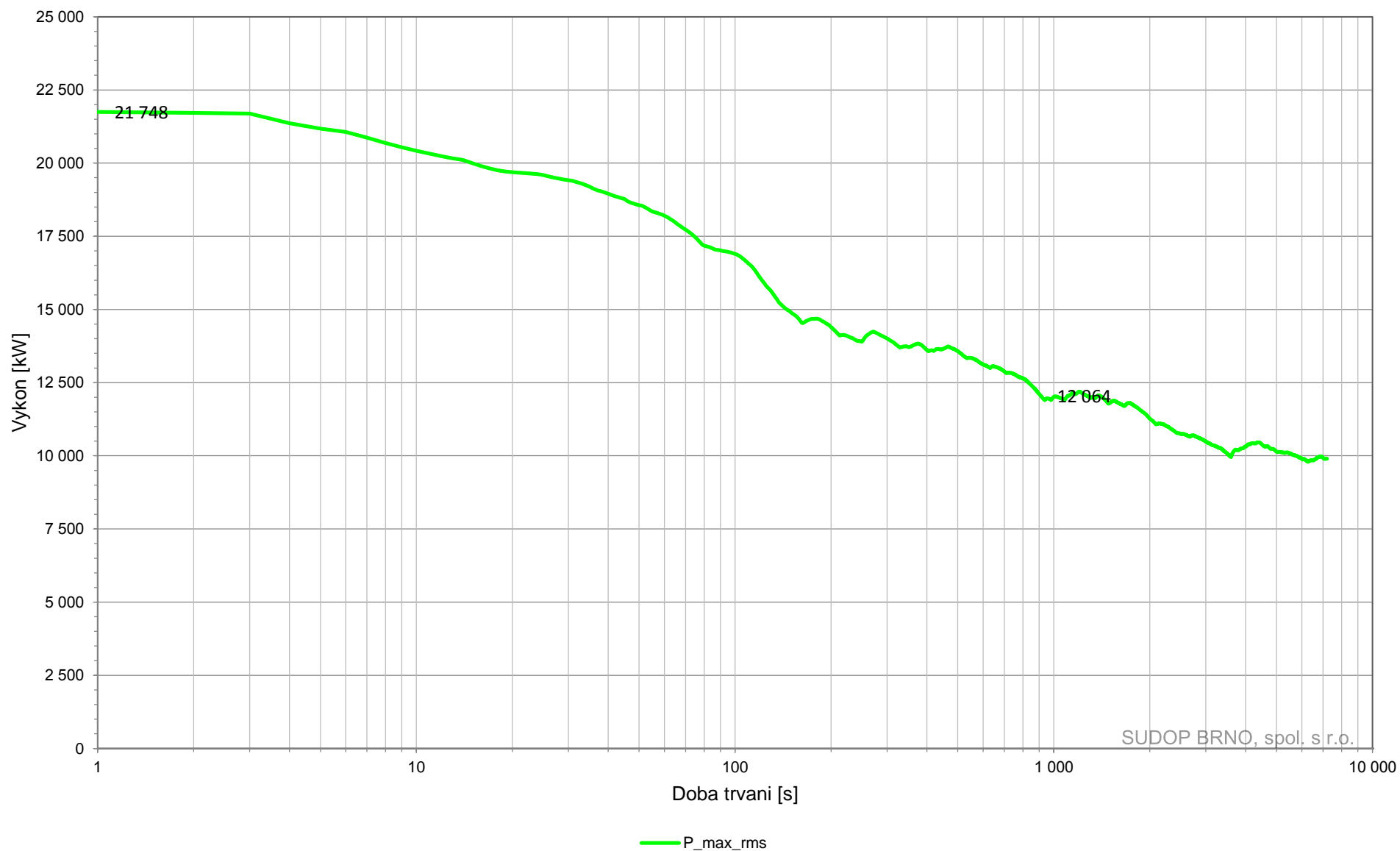


### 7.3 Výkonové zatížení TNS Svinov





#### 7.4 Výkonové zatížení TNS Dětmárovice



## 7.5 Výkonové zatížení TNS Jablůnkov

