

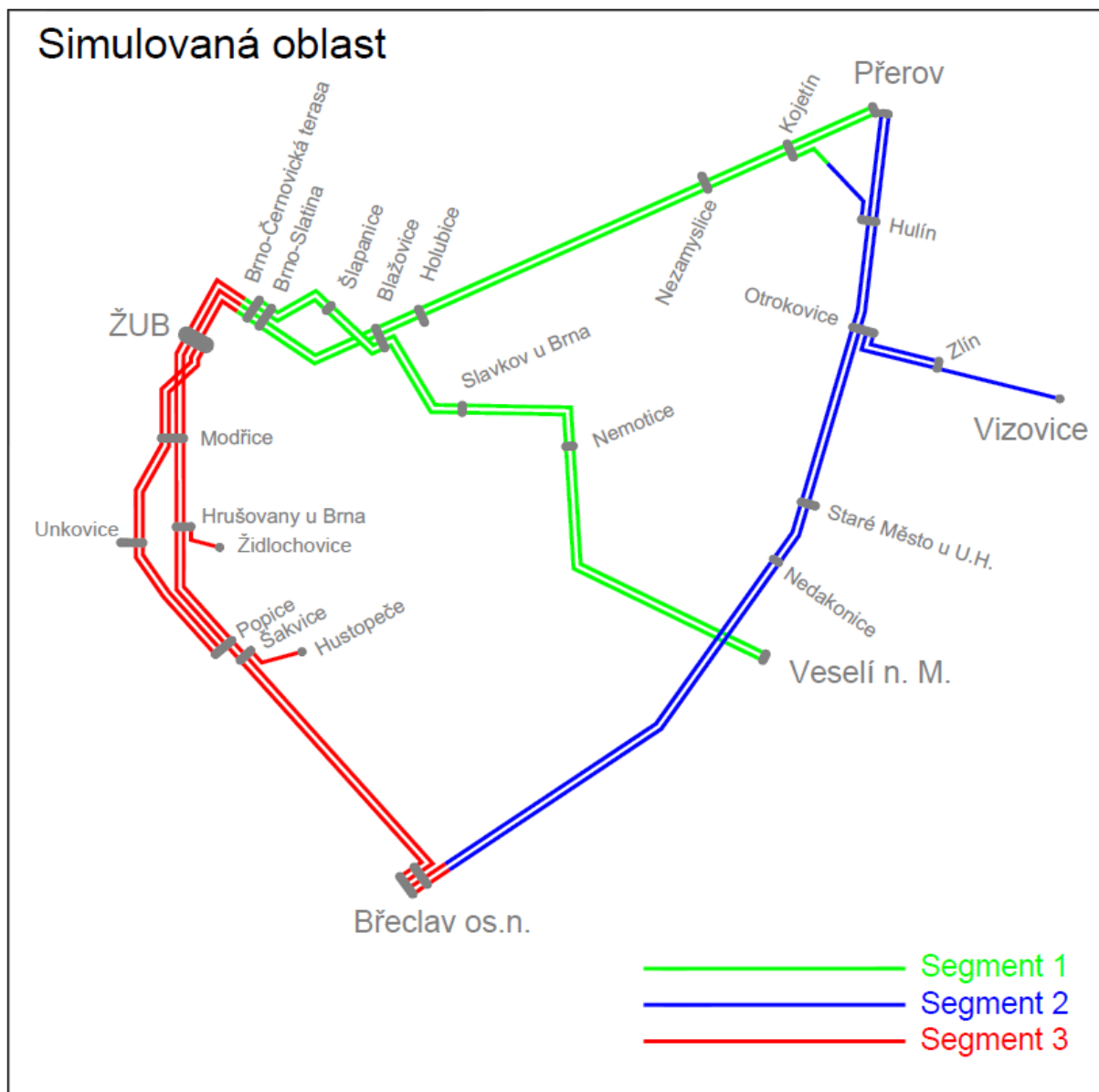
12 ENERGETICKÉ MODELOVÁNÍ

12.1 Obsah

12	ENERGETICKÉ MODELOVÁNÍ	1
12.1	Obsah.....	1
12.1	Úvod	2
12.2	Podklady	3
12.3	Požadavky na výpočet.....	3
12.4	Vstupní data	3
12.5	Metoda výpočtu	7
12.6	Varianty výpočtu	7
12.7	Výsledky.....	12
12.8	Možnosti dopravních omezení	20
12.9	Shrnutí výsledků simulace.....	20
12.10	Závěr	21
12.11	Přílohy.....	22

12.1 Úvod

Tato část dokumentace se zabývá výpočtem zatížení jednotlivých napájecích stanic pro různé varianty napájení. Je zde popsána metodika výpočtu a výsledky. Energetický model byl navržen v programu OpenPowerNet pro tuto oblast:



12.2 Podklady

- **Model infrastruktury** v programu OpenTrack viz. část 10 Dopravní modelování
- **Modelový jízdní řád** v programu OpenTrack viz. část 10 Dopravní modelování
- **Stávající rozmístění napájecích stanic**
- **Průřezy vodičů** byly převzaty ze stávajícího stavu nebo ze zpracovaných projektů

12.3 Požadavky na výpočet

Redundance

Na vstupní poradě bylo odsouhlaseno, že posouzení subsystému energie bude provedeno na základě simulace dvouhodinové dopravní špičky. Tuto dopravní špičku musí být subsystém energie schopný pokrýt i v případě výpadku jednoho zařízení v síti (například údržba jednoho transformátoru). Musí tedy platit redundance n-1.

Ve stavu n-2 se předpokládá omezení dopravy (mimořádné události, kdy například vypadnou obě přívodní linky 110kV). Pokud je tento stav plánovaný (např. odstávka celé napájecí stanice kvůli údržbě rozvodny 110kV), tak se tyto práce provedou mimo dopravní špičku nebo se doprava opět omezí.

Rekuperace

Na vstupní poradě bylo také dohodnuto, že se v simulaci bude počítat s tím, že rekuperace je povolena v celé síti bez ohledu na způsob připojení TNS k distribuční síti.

12.4 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.

Parametry sítě

- Napětí 25 kV
- Frekvence 50 Hz

Parametry transformátoru

- 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

Parametry trakčního vedení

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

Vodiče

Nosné lano

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 6,6] m
- ekvivalentní poloměr¹ 3,578 mm
- činný odpor 0,32 Ω/km

Trolej

- geometrická poloha [x ; y] [0 ; 5,6] m
- ekvivalentní poloměr 4,395 mm
- činný odpor 0,183 Ω/km

Pravá kolejnice

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

Levá kolejnice

- geometrická poloha [x ; y] [-0,7175 ; 0] m
- ekvivalentní poloměr 38,54 mm
- činný odpor 0,0416 Ω/km

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 0,1 S/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.

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 Ω/km (u nerekonstruovaných tratí tato hodnota obvykle bývá okolo 1 Ω/km)“.

Parametry hnacích vozidel

Výpočet potřebného výkonu pro jízdu vozidla počítá program OpenTrack. Níže jsou uvedeny pouze 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
- $\cos \varphi$ 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ano

Velaro

- Maximální výkon 8,8 MW
- Maximální tažná síla 290 kN
- Max. napětí při rekuperaci 29 kV
- $\cos \varphi$ 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ano

ICEx

- Maximální výkon 4,95 MW
- Maximální tažná síla 264 kN
- Max. napětí při rekuperaci 29 kV
- $\cos \varphi$ 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
- $\cos \varphi$ 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ne

650 RegioPanter

- Maximální výkon 1,36 MW
- Maximální tažná síla 200 kN
- Max. napětí při rekuperaci 29 kV
- $\cos \varphi$ 0,98
- Regulace výkonu dle TSI ENE ne

Tratě mimo simulaci

Na výkon trakčních napájecích stanic budou mít vliv také některé další tratě, které už nejsou součástí dopravního modelu v simulaci. Výkonové zatížení od těchto tratí bylo převzato z energetických výpočtů zpracovaných v předešlých projektech, které řešily tyto tratě nebo z měření SŽE.

U těchto tratí nebyla počítána absolutní (sekundová) špička, protože pravděpodobnost, že by se tato špička setkala s absolutní špičkou v okolní síti, je velmi malá a tato špička bude určitě nižší než špička spočítaná v simulaci. K celkovým výsledným průběhům výkonu tak byla na konci připočtena pouze střední hodnota hodinové špičky.

Brno – Zastávka u Brna

U této trati se v energetických výpočtech zpracovaných v rámci projektu *Elektrizace trati včetně PEÚ Brno – Zastávka u Brna* předpokládá špičkový hodinový výkon **2,3MW**.

Brno – Sokolnice – Křenovice

K této trati nebyly zpracovány samostatné energetické výpočty, ale ze studie ŽUB se dá na základě dopravního výkonu odhadnout podíl této trati na současné spotřebě energie v TNS Modřice. Pokud bychom tento podíl zvýšili o procentuální nárůst dopravy na této trati (také ze studie ŽUB), dostali bychom číslo **0,7MW** ve špičkové hodině.

Brno hl. n. – Brno-Maloměřice (Lesná)

Žst. Židenice a Žst. Maloměřice již leží mimo oblast simulace. Tyto stanice jsou ale nyní napájeny z TNS Modřice, která napájí oblast po SpS Maloměřice a SpS Husovice (zastávka Lesná). Po aplikování stejné metody výpočtu jako u předcházejícího úseku vychází hodinová špička **1,6MW**

Staré Město u Uh. Hradiště – Luhačovice

Studie proveditelnosti „Aktualizace studie proveditelnosti tratí Staré Město u Uherského Hradiště – Luhačovice/Bylnice/Veselí nad Moravou“ nebyla schválena. Z řešených variant studie byla nejvíce preferována (zejména Zlínským krajem a KOVED) varianta S2b – Staré Město u U. H. – Luhačovice / Bojkovice / Veselí n.M., tzn. elektrizace v úseku Starého Město u Uherského Hradiště – Kunovice – Újezdec u Luhačovic – Bojkovice město, Újezdec u Luhačovic – Luhačovice a Kunovice – Veselí nad Moravou. V tomto úseku se předpokládá napájení z nové TNS Uherský Brod. V této variantě je neutrální pole, od kterého je trakční vedení napájeno již z TNS Uh. Brod, umístěno kousek za žst. Staré Město. To znamená, že tato trať nebude mít ve variantě s neutrálními poli mezi TNS prakticky žádný vliv na napájecí stanice řešené v simulaci.

Ve variantě se souvislým napájením (tzv. jedna fáze) ale tato trať TNS v simulaci ovlivní. Ve výpočtu se předpokládá, že se hodinová špička rozloží mezi TNS Nedakonice a TNS Uh. Brod v poměru 1:2,5 (vyplývá ze vzdálenosti mezi TNS a z délky jednostranně napájeného úseku z Uh. Brodu do Luhačovic). V této variantě se tedy uvažuje s dodatečným zatížením TNS Nedakonice **0,9MW** (hodinová špička).

Hulín – Valašské Meziříčí

O elektrizace této trati se nyní pouze uvažuje a není zatím zpracována žádná projektová dokumentace, proto se s vlivem této trati na TNS zahrnuté v simulaci nepočítá. Nepředpokládá se ale, že by elektrizace této tratě výrazně ovlivnila výkon v TNS zahrnutých do simulace, pokud by zůstala vytíženost trati stejná jako nyní.

Nezamyslice – Prostějov – Olomouc

K této trati byla zpracována studie, na základě které byl proveden zjednodušený výpočet spotřeby elektrické energie za hodinu. Z výsledků vychází špičkový hodinový výkon na 2,5MW. Pokud bude v rámci této stavby umístěna střídavá TNS v Prostějově, tak by zřejmě napájela až po žst. Nezamyslice a ve variantě s neutrálními poli mezi TNS by tato trať neměla na TNS řešené v simulaci prakticky žádný vliv. Ve variantě se souvislým napájením (tzv. jedna fáze) ale tato trať

TNS v simulaci ovlivní. Předpokládá se, že by se mohl zvednout špičkový hodinový výkon v TNS Vyškov o **1MW**.

12.5 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 22,5kV) 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.

K výsledným hodnotám průběhu výkonu TNS bylo ke konci připočteno zatížení od tratí mimo simulaci, viz bod 4.5 Tratě mimo simulaci

12.6 Varianty výpočtu

V této studii se řeší několik možností napájení, které lze rozdělit do tří hlavních kategorií:

Nesymetrické a nesouvislé

Klasické nesymetrické připojení TNS k distribuční síti jako se dnes běžně používá s neutrálními poli u TNS a mezi TNS.

Symetrické a nesouvislé

Symetrické připojení TNS k distribuční síti pomocí například tzv. aktivního balancéru s neutrálními poli mezi TNS.

Symetrické a souvislé

Symetrické připojení TNS k distribuční síti pomocí například tzv. měničů. Trakční vedení je napájeno oboustranně.

První dvě varianty se liší pouze způsobem připojení TNS k distribuční síti. Jestli bude TNS připojena symetricky nebo nebude, nemá na způsob či metodu simulace vliv. Proto byly první dvě varianty sloučeny do jedné. Tato sloučená varianta se v této části studie jmenuje NP (s neutrálními poli). Třetí varianta, kde se uvažuje se symetrickým připojením a souvislým napájením, se v této části studie jmenuje 1F (jedna fáze).

Variantá NP

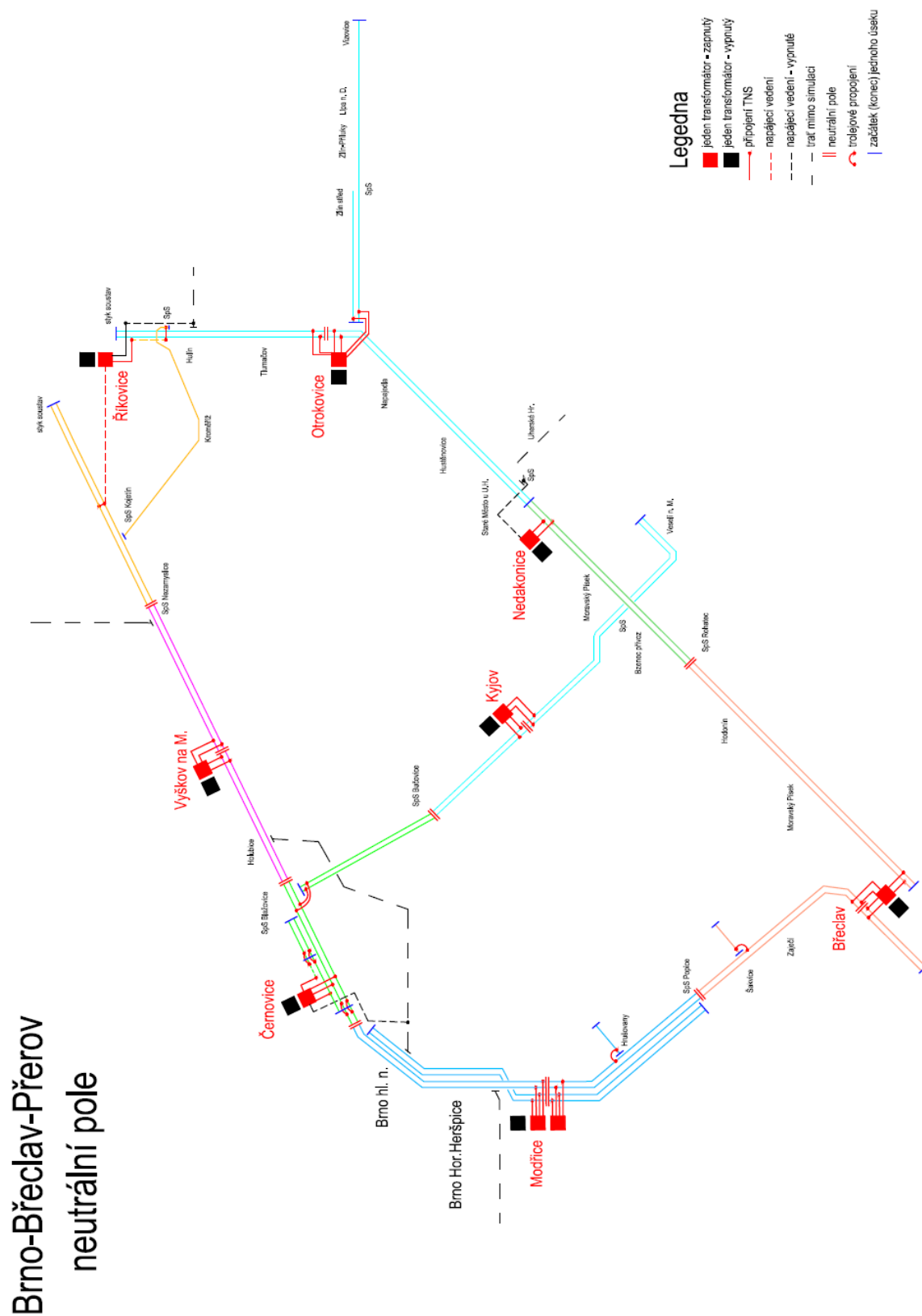
V této variantě se uvažuje s nesouvislým napájením trakčního vedení. Předpokládá se, že by v této variantě byly v každé TNS dva transformátory. Vzhledem k požadavku na redundanci n-1 je ale nutné, aby oba transformátory byly dimenzovány na plný výkon TNS.

V simulaci je tedy namodelován stav, kdy každá TNS jede pouze na jeden transformátor (kromě TNS Modřice, která má v modelu dva transformátory zapojeny do tzv. „V“) a napájí oblast, viz obrázek č. 1. V tomto modelu má každá TNS vnitřní redundanci a není tedy nutné navrhovat napájení na špičkový výkon pro případy, kdyby došlo k výpadku celé TNS. Výpadek celé TNS je tedy uvažován už jako stav n-2 (výpadek dvou transformátorů či dvou přírodních linek 110kV).

Na obrázku č. 1 je tedy vidět schematické zapojení jednotlivých TNS při stavu n-1. V modelu byla oproti původní představě upravena oblast napájení TNS Otrokovice a TNS Říkovice. Jelikož je v Říkovicích malý zkratový výkon, tak byl model upraven tak, aby TNS Říkovice napájeli menší oblast. TNS Otrokovice (kde je naopak vysoký zkratový výkon sítě) tak napájí trať z Nedakonice do Říkovice a z Otrokovic do Vizovic. Z předběžných výsledků vyplynulo, že pokud by TNS Říkovice napájela i trať z Říkovice do Otrokovic, tak by ji s ohledem na předpokládaný výkon nebylo možné nesymetricky připojit k distribuční síti. To samé platí i o TNS Nedakonice v případě, že by napájela až po Otrokovice.

Do tohoto modelu nebyl započítán ostatní odběr z trakčního vedení jako je např. napájení EPZ, EOZ či zab. zař. Také se v tomto modelu nepočítá s trakčním odběrem na tratích mimo simulaci dle obrázku č.1

Výkony jednotlivých TNS při tomto stavu slouží jako podklad pro posouzení nesymetrického odběru.



Obrázek č. 1

Varianta 1F

V této variantě se uvažuje se souvislým napájením (tzv. jedna fáze). Byl simulován základní stav, který odpovídá obrázku č.2. Barevně jsou zde rozlišeny tratě, které jsou propojeny po trakčním vedení nebo přes SpS. Je to pouze pro přehlednost. V celé síti je jinak stejná fáze.

Napájecí stanice má v tomto modelu stejnou charakteristiku jako v tom předcházejícím. I když se tedy předpokládá, že by v této variantě byla použita měničová technologie, tak parametry TNS jsou navenek shodné jako u klasického trakčního transformátoru. TNS se tedy chová tak, jak kdyby jela na jeden transformátor o parametrech, které jsou uvedeny v části 12.4 Vstupní data. Jedná se tedy o TNS, která je vybavena měničovou technologií a je softwarově řízena tak, že pod výkonem snižuje napětí na výstupu TNS, aby docházelo k lepšímu rozložení zátěže v dané oblasti. Jiné možné funkce měniče jako např. proudové omezení výkonu TNS, otáčení úhlu pro zabránění přetokům energie do distribuční sítě, či řízené chování a úprava napětí podle zatížení okolních TNS nebyly v modelu testovány.

Dále byly v tomto modelu testovány výpadky jednotlivých prvků. Vzhledem k vysoké ceně měničové technologie a lepší přenosové schopnosti TV při souvislém napájení bylo potřeba také simulovat stavy výpadku celé TNS, protože je možné, že některé TNS nebudou mít vnitřní redundanci. Byly tedy simulovány stavy při výpadku jakékoliv TNS. Pro urychlení výpočty byly v některé simulaci testovány rovnou výpadky dvou TNS, které jsou od sebe dostatečně vzdálené. Kromě tedy základního stavu byly simulovány také tyto případy:

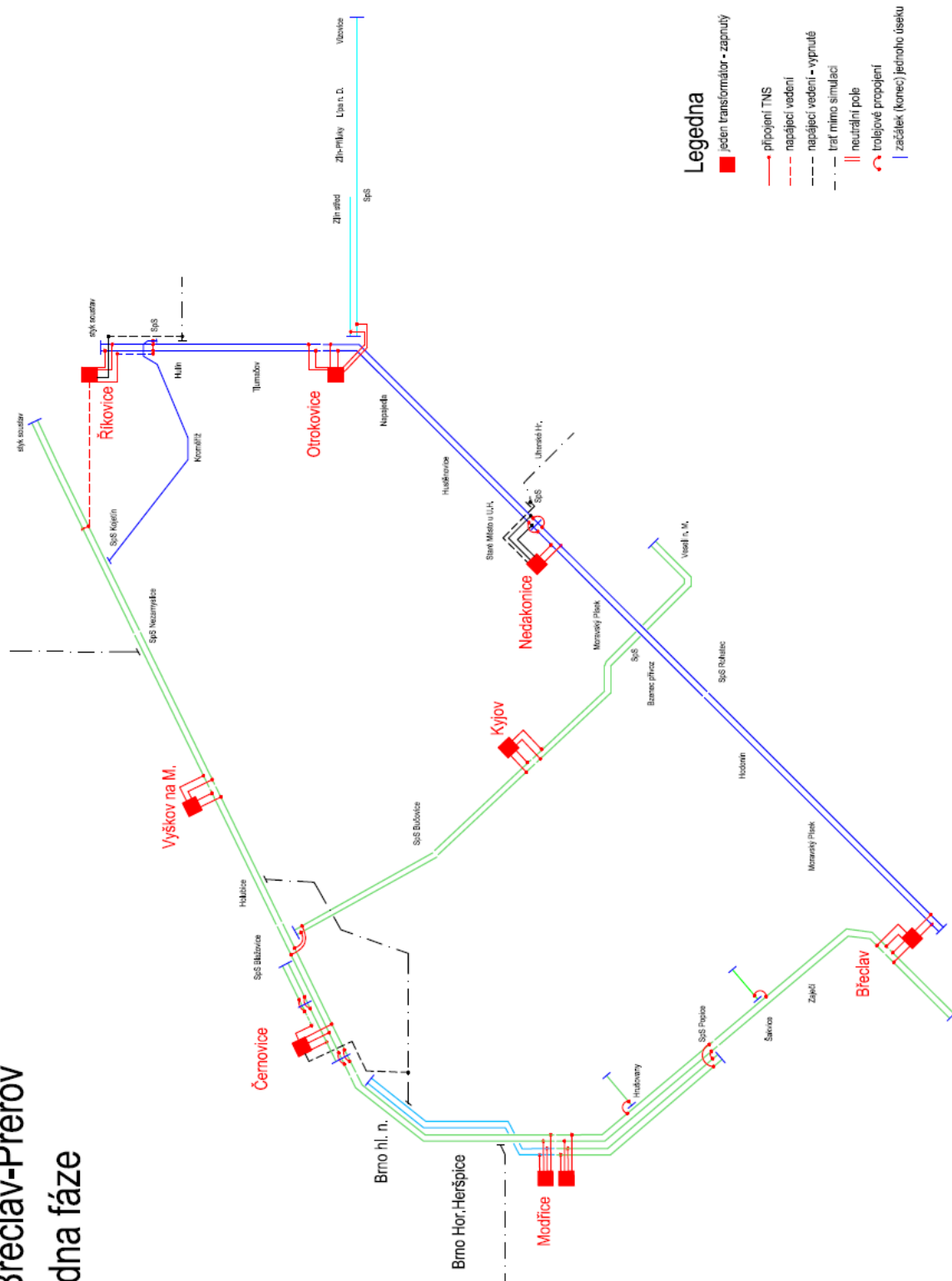
- Výpadek TNS Nedakonice
- Výpadek TNS Otrokovice a Modřice
- Výpadek TNS Říkovice a Břeclav
- Výpadek TNS Vyškov
- Výpadek TNS Černovice
- Výpadek TNS Kyjov

Abychom měli ale výčet stavů n-1 kompletní, byl ještě simulován stav, kdy bude napájecí vedení z TNS Říkovice pro trať Brno – Přerov mimo provoz:

- Výpadek napájecího vedení z TNS Říkovice

Brno-Břeclav-Přerov jedna fáze

Obrázek č. 2



12.7 Výsledky

Varianta NP

Podrobné výsledky výkonů jednotlivých TNS jsou uvedeny části 12.9 Přílohy. Souhrnně se ale dají tyto výsledky shrnout do následující tabulky, kde jsou uvedeny špičkové výkony v závislosti na směru toku energie (dodávka = rekuperace nebo odběr = příkon) a délce trvání dané špičky, přičemž například patnácti minutová špička byla spočítána jako střední výkon za dobu 15 minut.

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení ostatních tratí mimo simulaci a bez započtení netrakových odběrů (např. napájení EPZ, EOVS, zab. zař.)						
Změřená špička 15m	Název TNS		Varianta NP			
			1s	10m	15m	2h
	Černovice	příkon	36	18	16	13
		rekuperace	26	7	6	4
	Vyškov	příkon	43	23	22	17
		rekuperace	11	2	2	1
6,1	Říkovice	příkon	25	12	10	9
		rekuperace	22	3	3	2
6,9	Otrokovice	příkon	36	21	19	16
		rekuperace	6	0,6	0,5	0,3
DC 4,4 AC 10,4	Nedakonice	příkon	15	8	7	6
		rekuperace	8	2	2	1
14,4	Břeclav	příkon	37	20	19	15
		rekuperace	15	3	2	1
18,2	Modřice	příkon	51	30	27	20
		rekuperace	21	5	4	3
	Kyjov	příkon	23	10	9	6
		rekuperace	13	3	3	2
	Celkem	příkon	266	142	129	102
		rekuperace	122	25,6	22,5	14,3

Po započtení vlivu okolních tratí, které nebyly zahrnuty do simulace, bude tabulka vypadat následovně (změny jsou zvýrazněny žlutě):

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakových odběrů (např. napájení EPZ, EO, zab. zař.)							
Změřená špička 15m	Název TNS		Varianta NP				
			1s	10m	15m	2h	
	Černovice	příkon	37	19	17	14	+1
		rekuperační	26	7	6	4	
	Vyškov	příkon	43	23	22	17	
		rekuperační	11	2	2	1	
6,1	Říkovice	příkon	25	12	10	9	
		rekuperační	22	3	3	2	
6,9	Otrokovice	příkon	36	21	19	16	
		rekuperační	6	0,6	0,5	0,3	
DC 4,4	Nedakonice	příkon	15	8	7	6	
AC 10,4		rekuperační	8	2	2	1	
14,4	Břeclav	příkon	37	20	19	15	
		rekuperační	15	3	2	1	
18,2	Modřice	příkon	55	34	31	24	+4
		rekuperační	21	5	4	3	
	Kyjov	příkon	23	10	9	6	
		rekuperační	13	3	3	2	
	Celkem	příkon	271	147	134	107	
		rekuperační	122	25,6	22,5	14,3	

TNS Černovice

Výkon budoucí TNS Černovice vychází asi na úrovni dnešní TNS Modřice. Vyšší výkon je zde očekáván hlavně z toho důvodu, že bude TNS Černovice napájet čtyřkolejnou trať do Blažovic, kde se budou rozjíždět vlaky až na 200km/h a bude zde také jezdit nejvýkonnější vlak v celé simulaci (dvě jednotky Velaro 2x8,8MW).

TNS Vyškov

Prakticky totožná situace jako TNS Černovice akorát nenapájí čtyři koleje na jednu stranu, ale dvě a dvě koleje na obě strany.

TNS Říkovice

Výkonově odpovídá dnešní TNS Nedakonice, což je dáno tím, že v simulaci napájí pouze část tratě Brno – Přerov a jednokolejnou trať Kojetín – Hulín.

TNS Nedakonice

V simulaci vychází její zatížení méně, než kolik bylo změřeno její skutečné maximum. To je dáno tím, změřené maximum zřejmě odpovídá stavu, kdy byla prováděna údržba v TNS Břeclav a TNS Nedakonice tak napájela až po žst. Břeclav. V simulaci ale byl modelován stav napájení z TNS Nedakonice pouze po SpS Rohatec, viz obrázek č.1.

TNS Břeclav

Ze simulace vychází nárůst zatížení oproti stávajícímu stavu 32%, což je dáno předpokládaným nárůstem dopravy, zvýšením rychlosti v úseku Břeclav – Popice na 200km/h a nasazením zdvojené jednotky Velaro o výkonu až 17,6MW.

TNS Mořice

Skoro až dvounásobný nárůst výkonu je dán hlavně novou vysokorychlostní tratí Brno – Vranovice s maximální rychlostí 350km/h.

TNS Kyjov

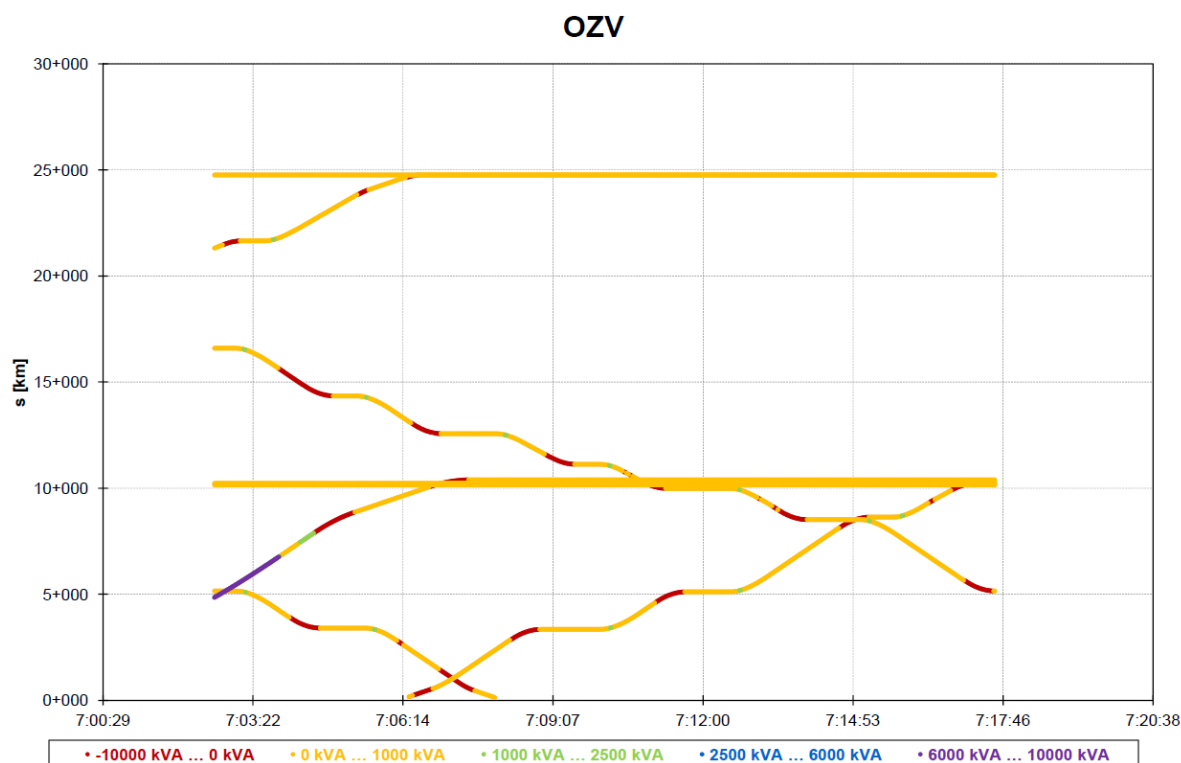
Výkonově vychází asi jako současná TNS Nedakonice. Přestože TNS Kyjov napájí delší část tratě, tak v úseku Blažovice – Veselí n. M. se počítá s převážně osobní dopravou.

TNS Otrokovice

Skoro až trojnásobný nárůst výkonu v této TNS oproti současnému stavu má hned několik důvodů:

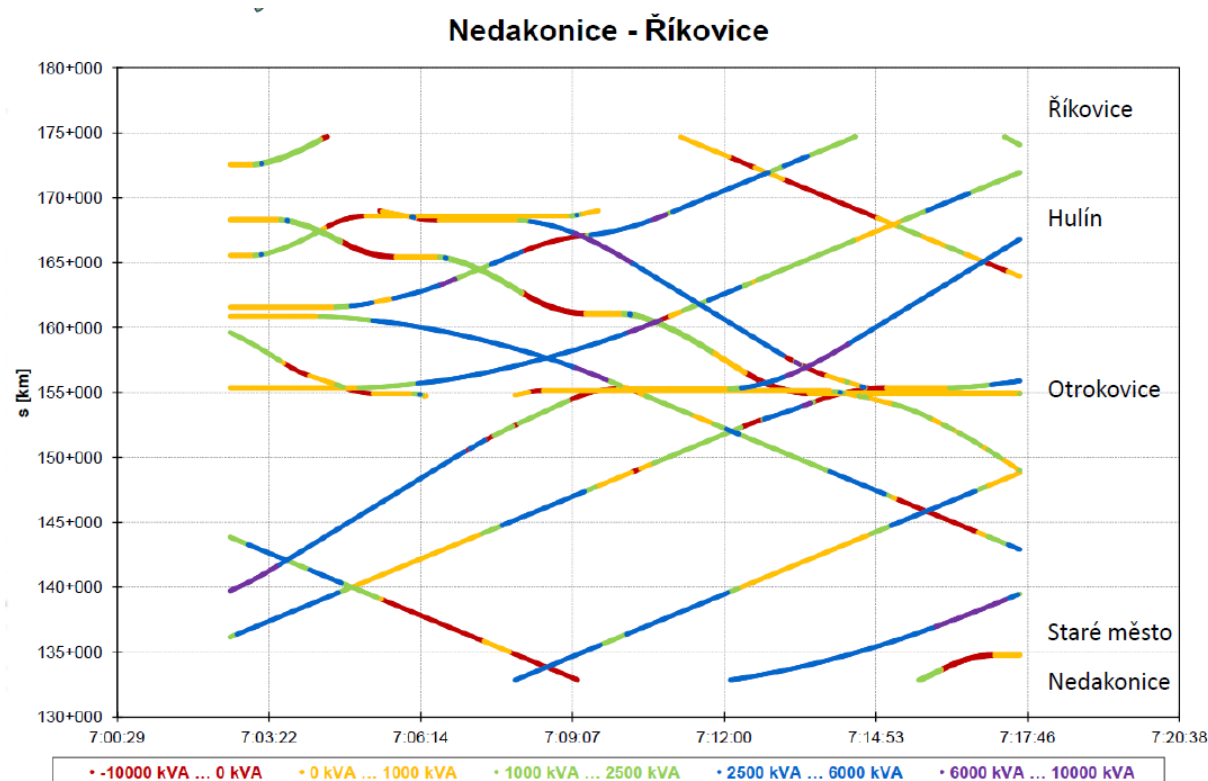
- Zvýšení dopravního zatížení po elektrizaci trati do Zlína a Vizovic.
- TNS Otrokovice v simulaci samostatně napájí oblast, u které se dříve předpokládalo, že bude napájena ze čtyř měníren (Nedakonice, Otrokovice, Říkovice a Lípa).
- Celkový nárůst dopravy mezi Břeclaví a Přerovem
- Předpokládané zvýšení průměrné hmotnosti nákladních vlaků
- Častější nasazování výkonnějších lokomotiv

Na obrázku číslo 3 je vidět grafikon v úseku Otrokovice (km 0,0) – Zlín (km 10) – Vizovice (km 24), kde jsou vidět všechny vlaky tvořící patnácti minutovou špičku TNS Otrokovice. Barevně jsou rozlišeny výkony hnacích vozidel.



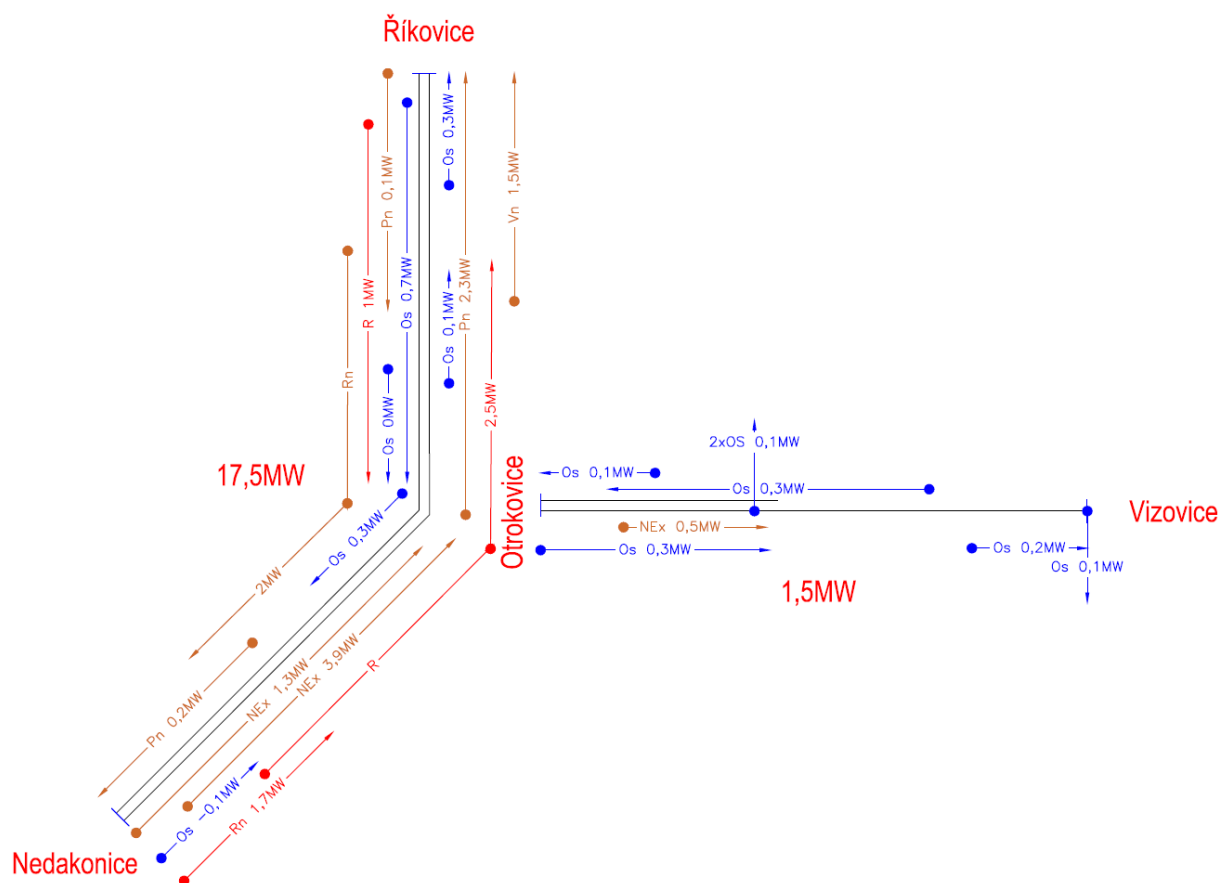
Obrázek č. 3

Na obrázku číslo 4 je podobný grafikon, ale tentokrát v úseku Nedakonice – Otrokovice – Říkovice.



Obrázek č. 4

Pro detailní prozkoumání této špičky slouží obrázek č. 5, kde jsou vidět vlaky, které tuto patnáctiminutovou špičku vyvolají. Šipka ukazuje zhruba úsek, kterým vlak za daných patnáct minut projel. Popis pak značí kategorii vlaku a jeho střední výkon za 15 minut. Šipky kolmé ke koleji ukazují vlaky, které stojí na místě, ale mají nějakou spotřebu energie.



Obrázek č. 5

Celkově výsledky simulace tohoto modelu odpovídají zadanému dopravnímu zatížení. Pokud by ale v budoucnosti nebyla úspěšně vyřešena zpětná dodávka energie do sítě, tak by výsledné špičkové výkony byly ještě vyšší, protože by byla zakázána rekuperace u hnacích vozidel.

Vyšší špičky lze také očekávat, pokud by byla TNS připojena tzv do „V“ a oba dva transformátory by byly v provozu a napájení by bylo odděleno v trakčním vedení neutrálním polem také u TNS. Tento stav nebyl ale modelován.

Varianta 1F

Dopravní zatížení v této variantě bylo naprosto stejné jaké ve variantě předcházející. Výkony jednotlivých hnacích vozidel byly v čase také stejné kromě vysokorychlostní trati Brno – Vranovice, kde došlo kvůli úbytkům napětí ke zpoždění dvou linek (Velaro). Kvůli tomu celkový součet spotřebované energie není úplně stejný v obou variantách.

Podrobné výsledky výkonů jednotlivých TNS jsou uvedeny části 12.9 Přílohy. Souhrnně se ale dají tyto výsledky shrnout do následující tabulky, kde jsou uvedeny špičkové výkony v závislosti na směru toku energie (dodávka = rekuperace nebo odběr = příkon) a délce trvání dané špičky, přičemž například patnácti minutová špička byla spočítána jako střední výkon za dobu 15 minut.

Protože v této variantě se nezkoumala způsobená nesymetrie v síti, tak byl sloupeček s deseti minutovým výkonem nahrazen patnácti sekundovým výkonem pro lepší představu o dimenzování TNS.

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení ostatních tratí mimo simulaci a bez započtení netrakčních odběrů (např. napájení EPZ, EOv, zab. zař.)						
Změřená špička 15m	Název TNS		Varianta 1F			
			1s	15s	15m	2h
	Černovice	příkon	20	18	12	10
		rekuperační	3	2	0,3	0,1
	Vyškov	příkon	19	17	13	11
		rekuperační	0	0	0	0
6,1	Říkovice	příkon	20	19	11	10
		rekuperační	0,7	0,4	0	0
6,9	Otrokovice	příkon	19	18	11	9
		rekuperační	0	0	0	0
DC 4,4 AC 10,4	Nedakonice	příkon	19	18	10	9
		rekuperační	0,8	0,5	0	0
14,4	Břeclav	příkon	24	23	14	11
		rekuperační	4	2	0,5	0,2
18,2	Modřice	příkon	41	39	23	19
		rekuperační	4	2	0,3	0,1
	Kyjov	příkon	20	17	9	7
		rekuperační	5	3	0,7	0,3
	Celkem	příkon	182	169	103	86
		rekuperační	17,5	9,9	1,8	0,7

Z tabulky výše je při porovnání s tabulkou pro variantu NP vidět pokles absolutních výkonových špiček u všech TNS (kromě TNS Nedakonice). To je způsobeno tím, že se špičky více rozdělí mezi jednotlivé TNS. Na druhou stranu to ale u TNS Nedakonice způsobilo nárůst, protože ve variantě 1F napájí větší oblast.

Při porovnání dvouhodinové špičky je vidět, že se celkový výkon rovnoměrněji rozdělil mezi jednotlivé TNS.

Po započtení vlivu okolních tratí, které nebyly zahrnuty do simulace, bude tabulka vypadat následovně (změny jsou zvýrazněny žlutě):

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakčních odběrů (např. napájení EPZ, EOv, zab. zař.)							
Změřená špička 15m	Název TNS		Varianta 1F				
			1s	15s	15m	2h	
	Černovice	příkon	21	19	13	11	+1
		rekuperační	3	2	0,3	0,1	
	Vyškov	příkon	20	18	14	12	+1
		rekuperační	0	0	0	0	
6,1	Říkovice	příkon	20	19	11	10	
		rekuperační	0,7	0,4	0	0	

6,9	Otrokovice	příkon rekuperační	19 0	18 0	11 0	9 0	
DC 4,4 AC 10,4	Nedakonice	příkon rekuperační	20 0,8	19 0,5	11 0	10 0	+1
14,4	Břeclav	příkon rekuperační	24 4	23 2	14 0,5	11 0,2	
18,2	Modřice	příkon rekuperační	45 4	43 2	27 0,3	23 0,1	+4
	Kyjov	příkon rekuperační	20 5	17 3	9 0,7	7 0,3	
	Celkem	příkon rekuperační	189 17,5	176 9,9	110 1,8	93 0,7	

Varianta 1F při stavu n-1 (výpadek TNS)

Následující tabulky ukazují zatížení napájecích stanic při výpadku vždy sousední TNS.

TNS Černovice

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakovních odběrů (např. napájení EPZ, EO, zab. zař.)										
Změřená špička 15m	Název TNS		Varianta 1F				Výpadek TNS Kyjov			
			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
	Černovice	příkon	21	19	13	11	22	21	14	12
		rekuperační	3	2	0,3	0,1	3	2	0,3	0
			Výpadek TNS Vyškov				Výpadek TNS Modřice			
			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
		příkon	24	23	15	13	38	36	23	19
		rekuperační	2	1	0	0	3	1	0	0

TNS Vyškov

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakovních odběrů (např. napájení EPZ, EO, zab. zař.)										
Změřená špička 15m	Název TNS		Varianta 1F				Výpadek TNS Říkovice			
			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
	Vyškov	příkon	20	18	14	12	25	23	17	15
		rekuperační	0	0	0	0	0	0	0	0
			Výpadek TNS Černovice				Výpadek potahu z TNS Říkovice			
			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
		příkon	37	34	23	20	26	24	15	13
		rekuperační	5	3	0	0				

Výsledky výkonů při výpadku TNS Černovice, které jsou zde uvedeny, jsou převzaty z jiné simulace, kde nebyl ještě model kompletní a obsahoval pouze trať Brno-Přerov, Kojetín-Hulín, Nedakonice-Říkovice a Otrokovice-Vizovice.

Při uvažovaném výpadku napájecího vedení (potahu) z TNS Říkovice a pouze jednostranného napájení z TNS Vyškov došlo vlivem úbytků napětí v troleji ke snížení výkonu a rychlosti jednotek Velaro v úseku. Proto byl namodelován stav, kde je trať Brno-Přerov propojena s TNS Říkovice přes jednokolejnou trať Kojetín-Hulín. Tomu odpovídají také výsledky v tabulce. Další možností při výpadku napájecího vedení z TNS Říkovice by bylo držet konstantní výstupní napětí v TNS Vyškov na 27kV. Tento případ ale nebyl testován.

TNS Říkovice

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakových odběrů (např. napájení EPZ, EOVS, zab. zař.)										
Změřená špička	Název TNS		Varianta 1F				Výpadek TNS Vyškov			
15m			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
6,1	Říkovice	příkon	20	19	11	10	23	23	14	12
		rekuperační	0,7	0,4	0	0	0	0	0	0
			Výpadek TNS Otrokovice							
			1s	15s	15m	2h				
		příkon	27	26	16	14				
		rekuperační	0	0	0	0				

TNS Otrokovice

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakových odběrů (např. napájení EPZ, EOVS, zab. zař.)										
Změřená špička	Název TNS		Varianta 1F				Výpadek TNS Říkovice			
15m			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
6,9	Otrokovice	příkon	19	18	11	9	28	27	17	15
		rekuperační	0	0	0	0				

TNS Nedakonice

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakových odběrů (např. napájení EPZ, EOVS, zab. zař.)										
Změřená špička	Název TNS		Varianta 1F				Výpadek TNS Kyjov			
15m			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
DC 4,4 AC 10,4	Nedakonice	příkon	20	19	11	10	21	20	13	11
		rekuperační	0,8	0,5	0	0	0	0	0	0
			Výpadek TNS Otrokovice				Výpadek TNS Břeclav			
			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
		příkon	29	27	17	14	29	28	17	15
		rekuperační	0	0	0	0	1	0,5	0	0

TNS Břeclav

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakových odběrů (např. napájení EPZ, EOVS, zab. zař.)										
Změřená špička	Název TNS		Varianta 1F				Výpadek TNS Modřice			
15m			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
14,4	Břeclav	příkon	24	23	14	11	33	32	20	16
		rekuperační	4	2	0.5	0.2	1.5	0.6	0	0

TNS Modřice

Výsledné špičkové výkony v MW bez započtení netrakových odběrů (např. napájení EPZ, EOVS, zab. zař.)										
Změřená špička	Název TNS		Varianta 1F				Výpadek TNS Břeclav			
15m			1s	15s	15m	2h	1s	15s	15m	2h
18,2	Modřice	příkon	45	43	27	23	54	51	34	28
		rekuperační	4	2	0.3	0.1	1	0.3	0	0

Z výsledků vyplývá, že výpadek jedné TNS neovlivní jenom sousední napájecí stanice. Zatímco špičkové výkony budou nejvyšší u sousedních TNS, tak střední výkon (2h) se zvedne i u ostatních TNS v síti.

12.8 Možnosti dopravních omezení

Vzhledem k vysokým cenám napájecích stanic je nutné také zvážit, jaké jsou možnosti na straně dopravního omezení. Pokusit se tedy zjistit, jaké maximální dopravní zatížení je možné v daném úseku provést, kdyby byl subsystém energie limitován maximálním výkonem v TNS. Vzhledem k výsledkům posouzení způsobované nesymetrie v distribuční síti by tento stav zcela jistě nastal v době, kdy se předpokládá řešená dopravní špička (po realizaci staveb uvedených v úvodu).

Tento problém nebyl v rámci studie simulován, ale je možné z výsledků odvodit možná opatření na hlavních tazích.

Břeclav – Přerov

Vzhledem k tomu, že celý průběh čtvrt hodinového maxima TNS Břeclav a TNS Nedakonice po celou dobu simulace prakticky neklesl pod maximálně povolenou hodnotu, tak lze předpokládat, že na této trati by nestačilo ani zakázat nákladní dopravu ve špičce osobní přepravy. Musel by se minimálně upravit uvažovaný grafikon osobní dopravy (větší rozestupy nebo nižší rychlost či hmotnost) a lépe navrhnout dopravní spojení tak, aby nesymetrické zatížení TNS Nedakonice a TNS Břeclav nepřekročilo povolenou mez.

U TNS Otrokovice a Říkovice by se zřejmě dalo dostat do povolených hodnot odsunem nákladní dopravy a mírnou úpravu jízdního řádu osobní dopravy. Pořád ale bude limitující úsek Nedakonice – Břeclav.

Břeclav – Brno

Na tomto úseku je to prakticky stejné jako v předcházejícím případě. Průběh čtvrt hodinového maxima u TNS Modřice se jen místy dostane pod maximální povolenou hranici. Největší špičky zde dělají vysokorychlostní soupravy. Pro dodržení povolené nesymetrie by se musela snížit rychlost těchto vlaků, což by možná vedlo ke zmařené investici.

Brno – Přerov

Opět prakticky stejný případ. Průběhy čtvrt hodinových maxim u TNS Černovice a obzvláště u TNS Vyškov jsou hodně nad povolenou hranici. Dodržet zde dovolené limity by znamenalo velké dopravní omezení, což na této důležité trati, kde se s nákladní dopravou skoro nepočítá a jejíž grafikon má vazbu na další spoje po celé Moravě nebo ČR, by znamenalo velké komplikace a zhoršení ekonomické návratnosti celé stavby.

Jakékoliv opatření vedoucí k většímu omezení definované dopravní špičky je ale proti původní představě zadavatele, aby subsystém energie nebyl limitující a dokázal pokrýt stejný rozsah dopravy jako zabezpečovací zařízení a zhorší ekonomickou návratnost všech připravovaných staveb.

12.9 Shrnutí výsledků simulace

Výsledky simulace slouží pro porovnání různých technologií napájecích stanic ve výhledovém stavu dopravy. Během postupů výstavby však nastanou určité různé mezistavy, jež vyvolají další potřeby na napájení, které v této studii řešeny nejsou, ale mohou mít vliv na dimenzování TNS. Stejně tak mohou mít vliv na napájení tratě, které v modelu řešeny nebyly, a může se stát, že se potom v celkovém měřítku ukážou některé napájecí stanice jako nadbytečné. Již nyní došlo k úpravě původních záměrů a díky přechodu na střídavou trakci v úseku Nedakonice – Říkovice se nebude muset budovat napájecí stanice v Lípě a Nezamyslicích.

V simulaci byly ve variantě 1F provedeny výpočty i pro výpadek celé TNS. To je pro případ, že by TNS neměla vnitřní zálohu (dva měniče). V takovém případě by bylo nutné dimenzovat okolní TNS i pro případ výpadku TNS bez vnitřní zálohy. V opačném případě (TNS má dva měniče) stačí okolní TNS dimenzovat podle výkonů uvedených pro základní stav napájení. Vnitřní redundance závisí na více faktorech, jako jsou např. dostupný výkon v síti, prostor, provozní požadavky, ale také cena nebo postupy výstavby. Projektant může nějaké hospodárné a technicky realizovatelné řešení doporučit, provozní zálohu však stanovuje vlastník, viz bod 5.4 normy ČSN 33 3505 ed.2.

12.10 Závěr

Výsledky simulací ukazují, že pokud se podaří realizovat plánované stavby, tak dojde k výraznému nárůstu zatížení i u stávajících TNS. Z výsledků je také vidět, jakým způsobem lze díky spojitému napájení snížit špičkový výkon, který už nyní může způsobovat v některých TNS problémy. Z průměrného poměru mezi špičkami vychází, že už dnes se může špičkově objevit až 30MW v TNS Břeclav nebo TNS Modřice.

Simulace tedy jasně prokázala, že pokud má subsystém energie pokrýt požadavky definované SŽDC, bude potřeba jej výrazně posílit. V opačném případě by se musela omezit doprava zavedením například elektrických mezidobí, přesunem nákladní dopravy do večerních hodin nebo snížením rychlosti či maximálního výkonu (zrychlení) v úseku.

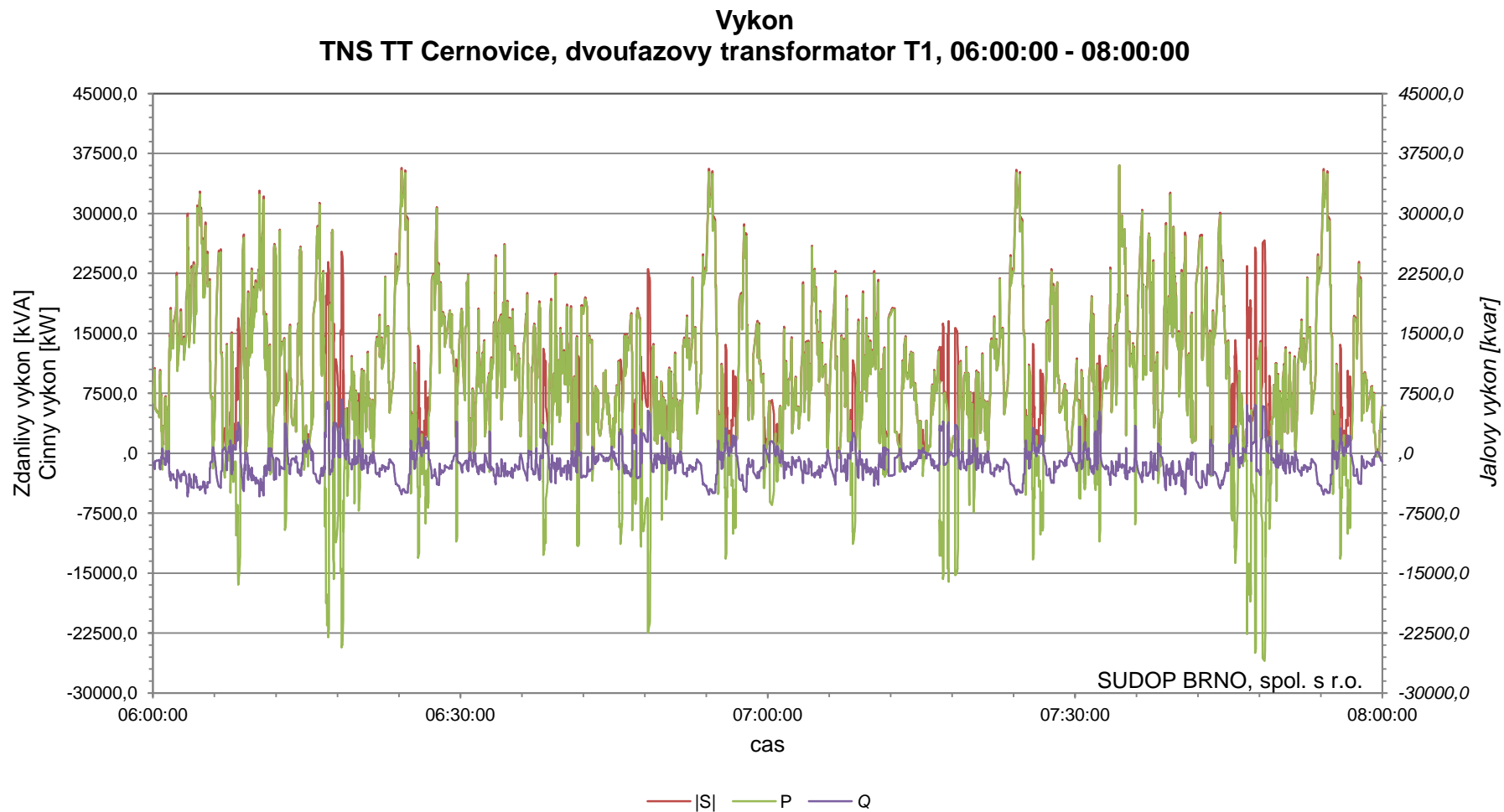
Zpracoval:

Jiří Podhradský

12.11 Přílohy

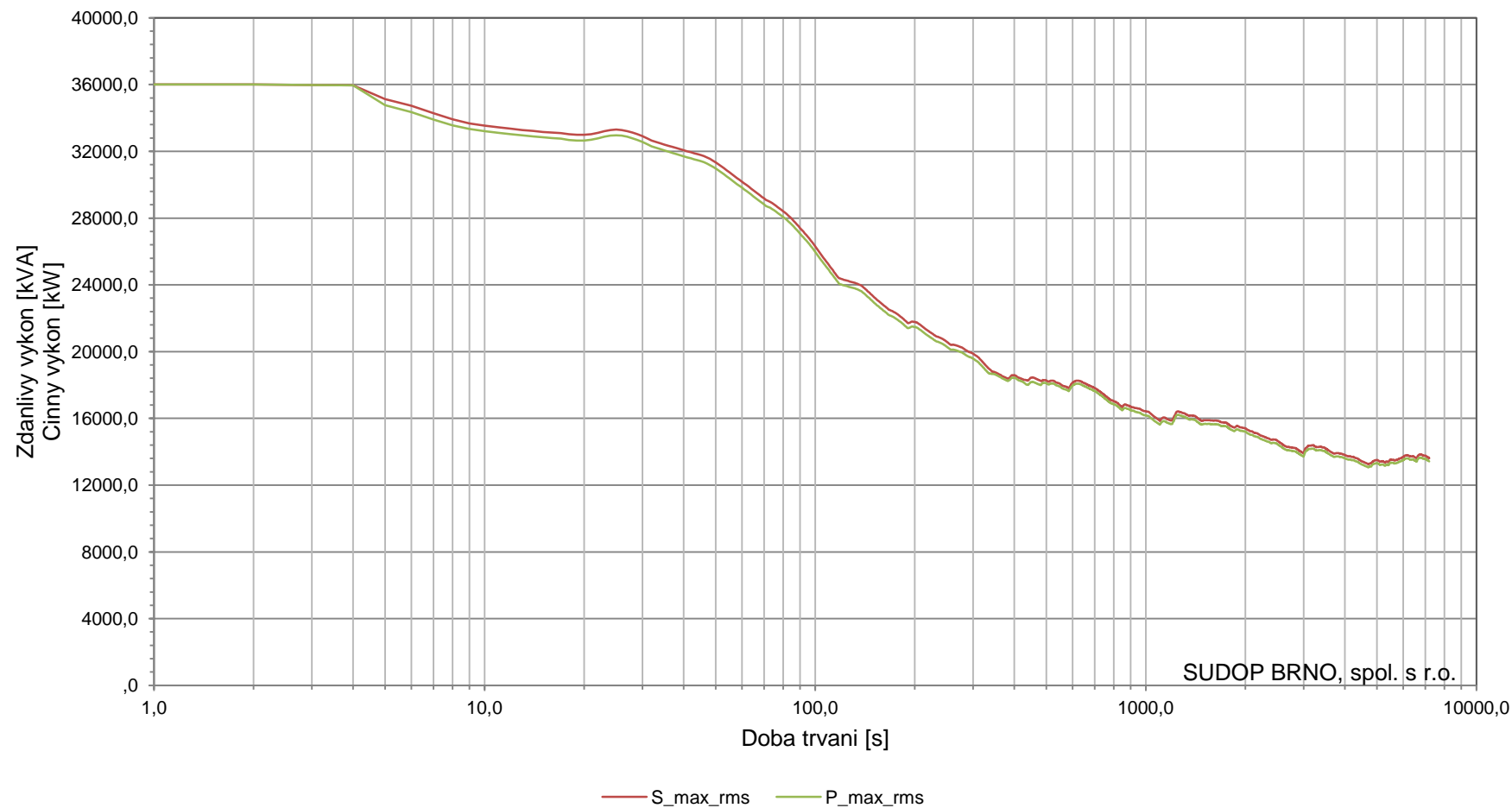
Varianta NP – výkon TNS Černovice	23
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Černovice	24
Varianta NP – výkon TNS Vyškov	25
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Vyškov	26
Varianta NP – výkon TNS Říkovice	27
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Říkovice	28
Varianta NP – výkon TNS Otrokovice	29
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Otrokovice	30
Varianta NP – výkon TNS Nedakonice	31
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Nedakonice	32
Varianta NP – výkon TNS Břeclav	33
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Břeclav	34
Varianta NP – výkon prvního transformátoru TNS Modřice	35
Varianta NP – výkonové zatížení prvního transformátoru TNS Modřice	36
Varianta NP – výkon druhého transformátoru TNS Modřice	37
Varianta NP – výkonové zatížení druhého transformátoru TNS Modřice	38
Varianta NP – výkon TNS Modřice celkem	39
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Modřice celkem	40
Varianta NP – výkon TNS Kyjov	41
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Kyjov	42
Varianta 1F – výkon TNS Černovice	43
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Černovice	44
Varianta 1F – výkon TNS Vyškov	45
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Vyškov	46
Varianta 1F – výkon TNS Říkovice	47
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Říkovice	48
Varianta 1F – výkon TNS Otrokovice	49
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Otrokovice	50
Varianta 1F – výkon TNS Nedakonice	51
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Nedakonice	52
Varianta 1F – výkon TNS Břeclav	53
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Břeclav	54
Varianta 1F – výkon TNS Modřice	55
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Modřice	56
Varianta 1F – výkon TNS Kyjov	57
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Kyjov	58

Varianta NP – výkon TNS Černovice

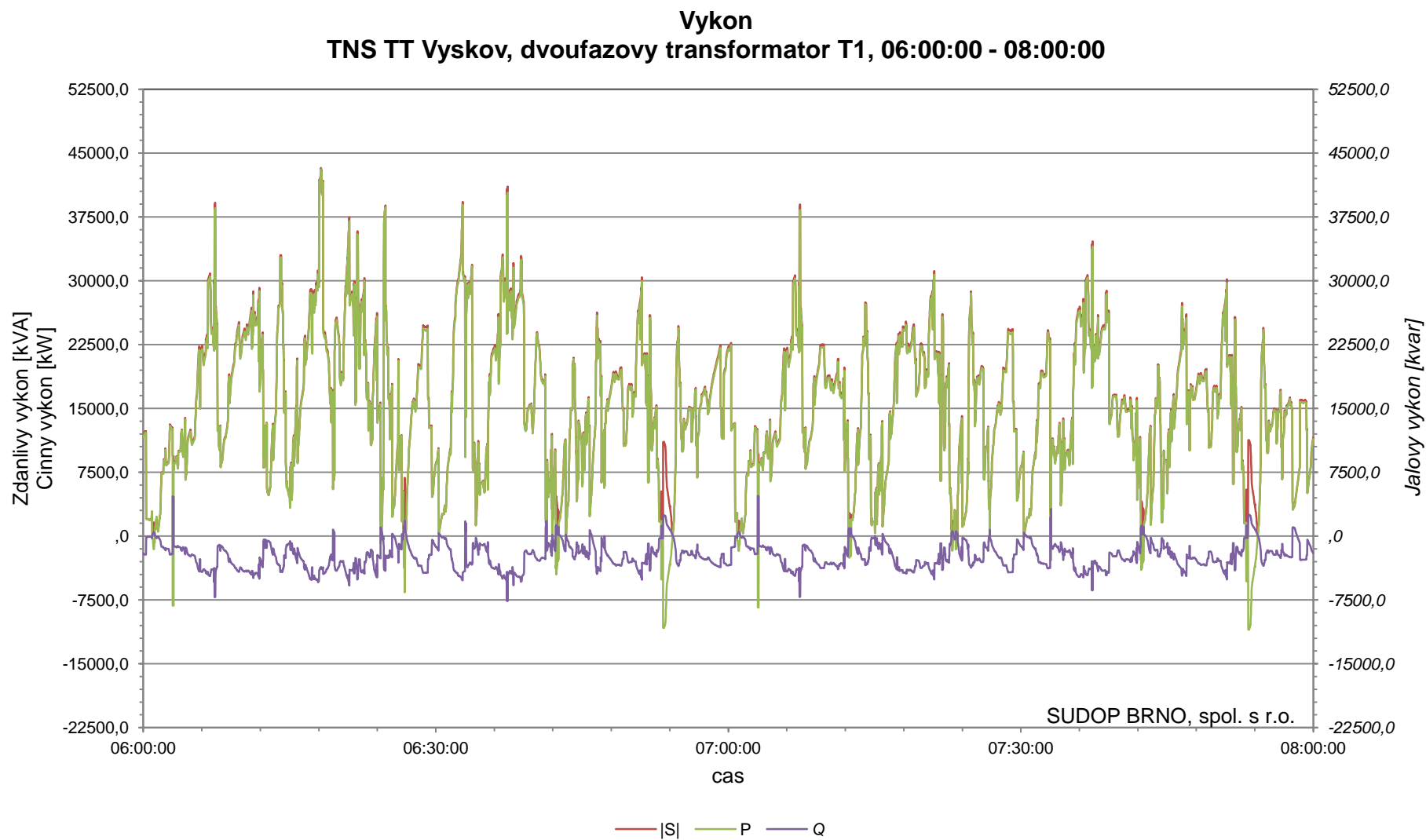


Varianta NP – výkonové zatížení TNS Černovice

vykonove zatizeni
TNS TT Cernovice, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00

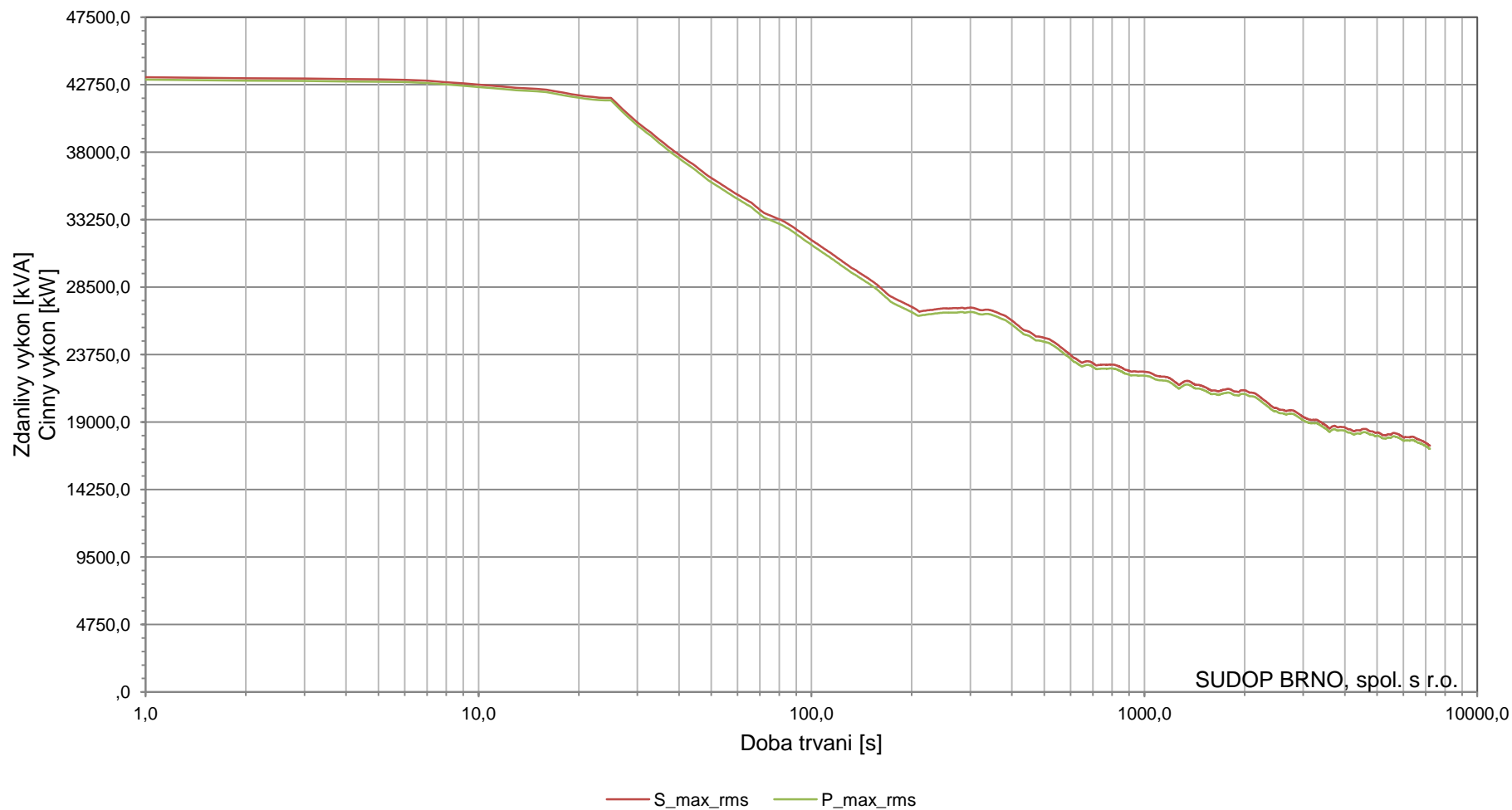


Varianta NP – výkon TNS Vyškov



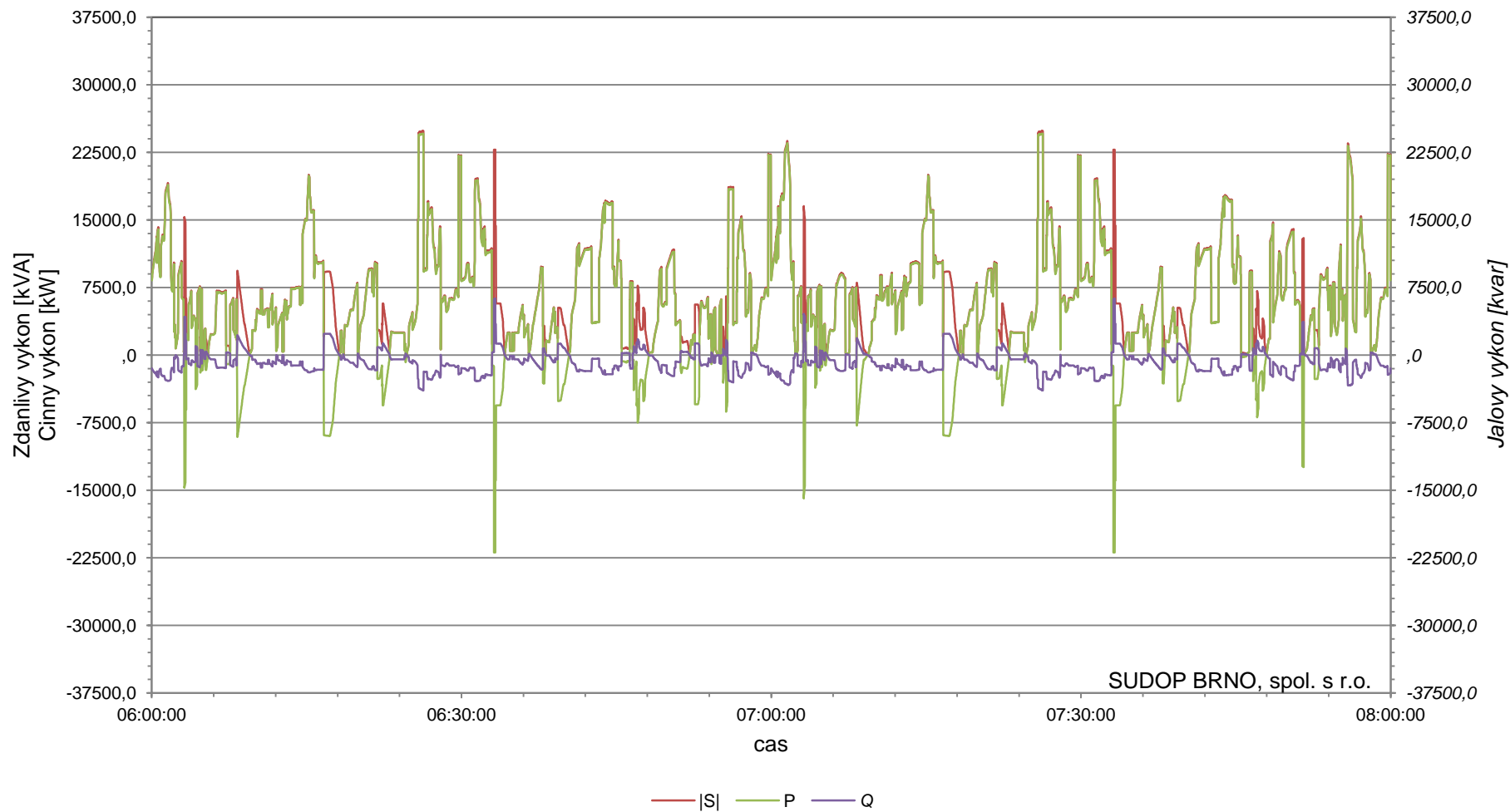
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Vyškov

vykonove zatizeni TNS TT Vyškov, dvoufázový transformátor T1, 06:00:00 - 08:00:00



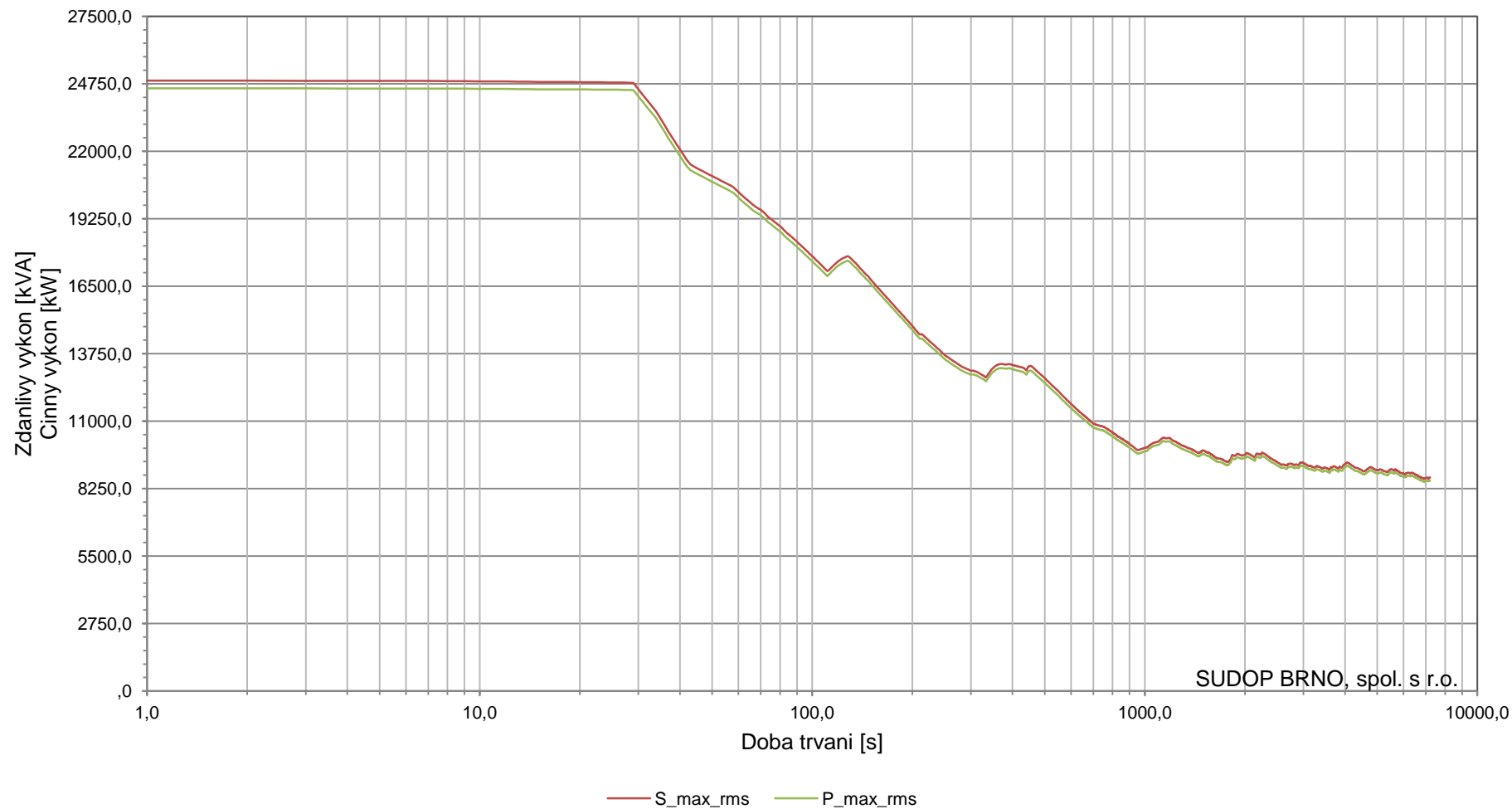
Varianta NP – výkon TNS Říkovice

Vykon
TNS TT Říkovice, dvoufázový transformátor T1, 06:00:00 - 08:00:00

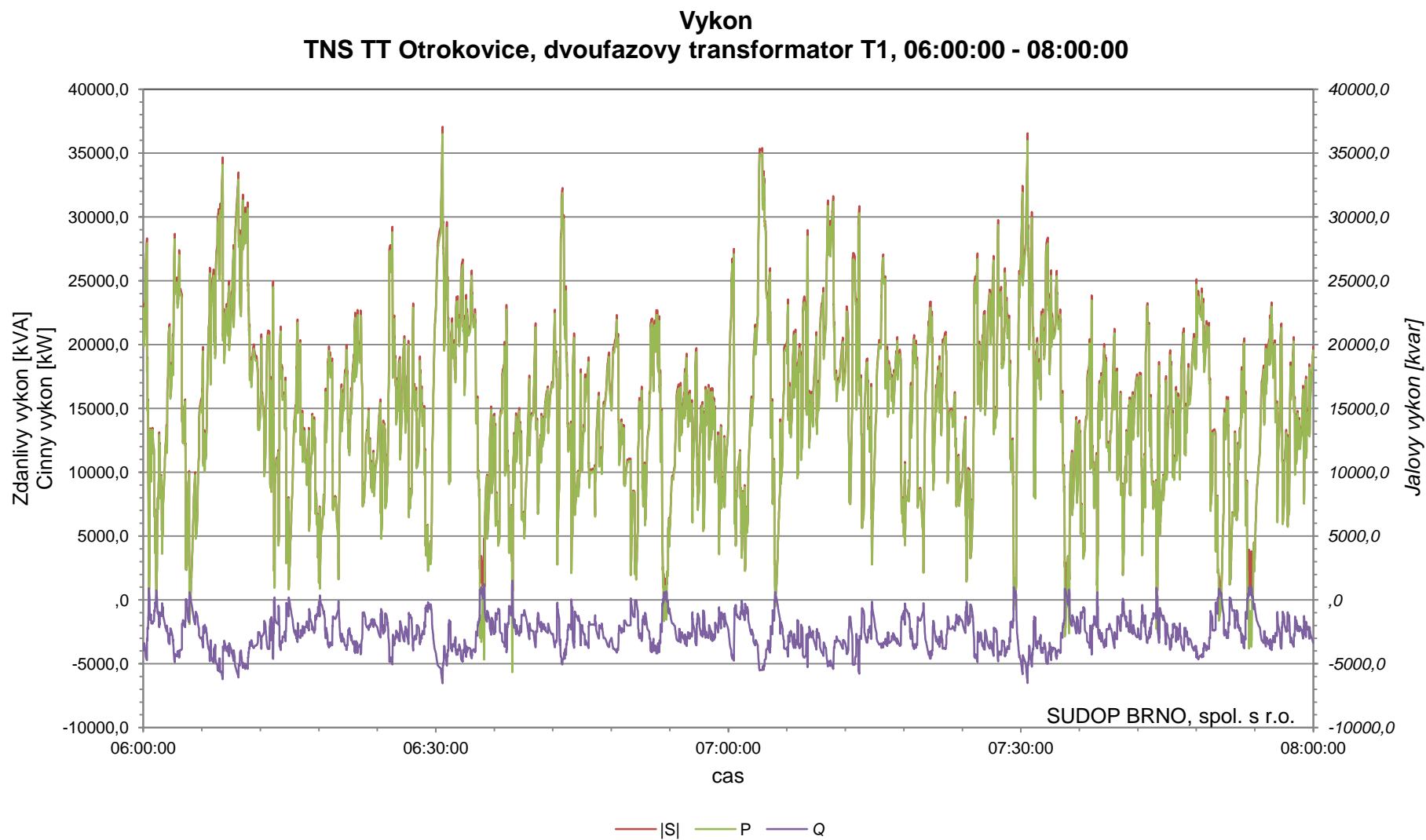


Varianta NP – výkonové zatížení TNS Říkovice

vykonove zatizeni TNS TT Rikovice, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00

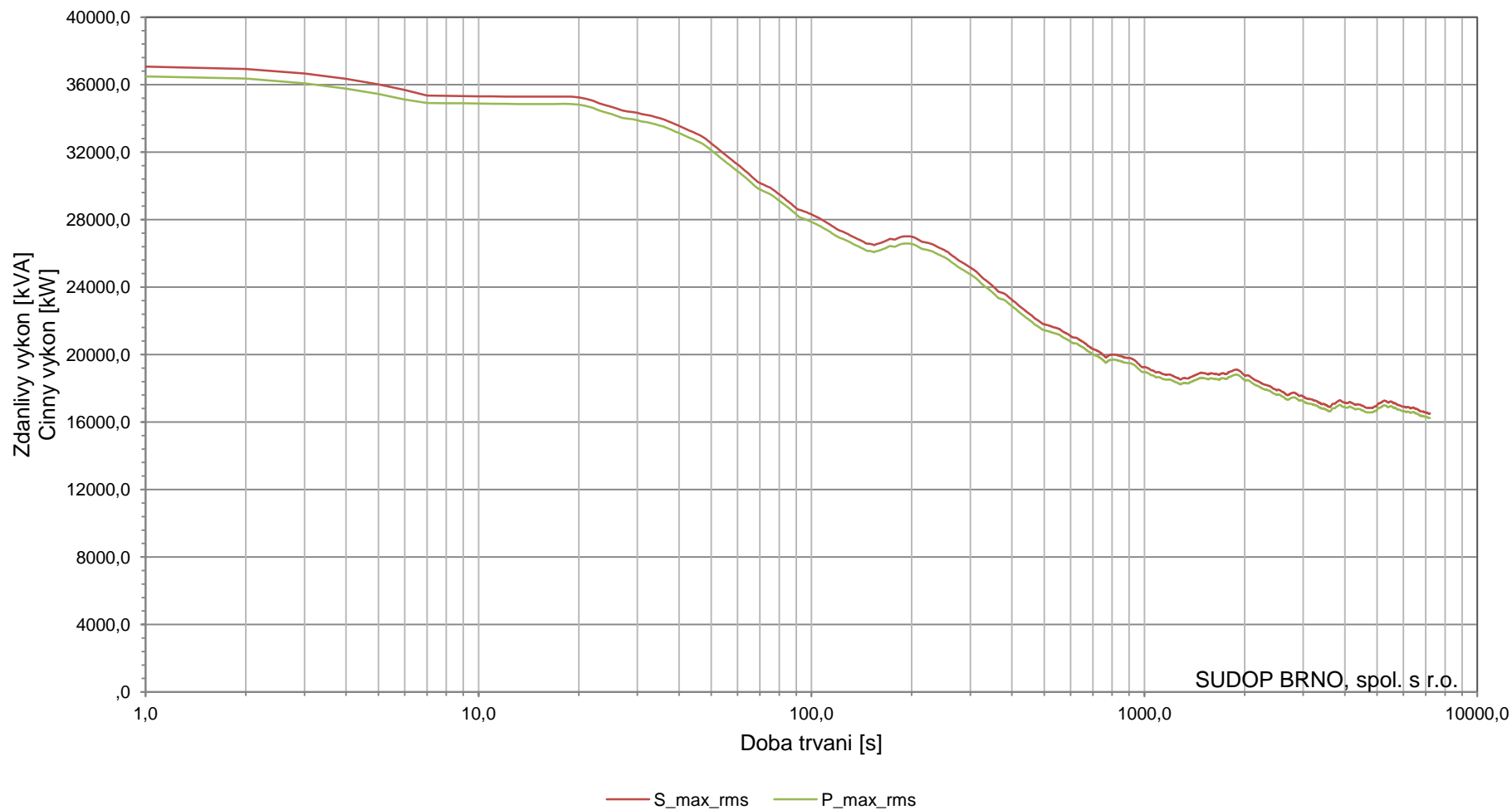


Varianta NP – výkon TNS Otrokovice

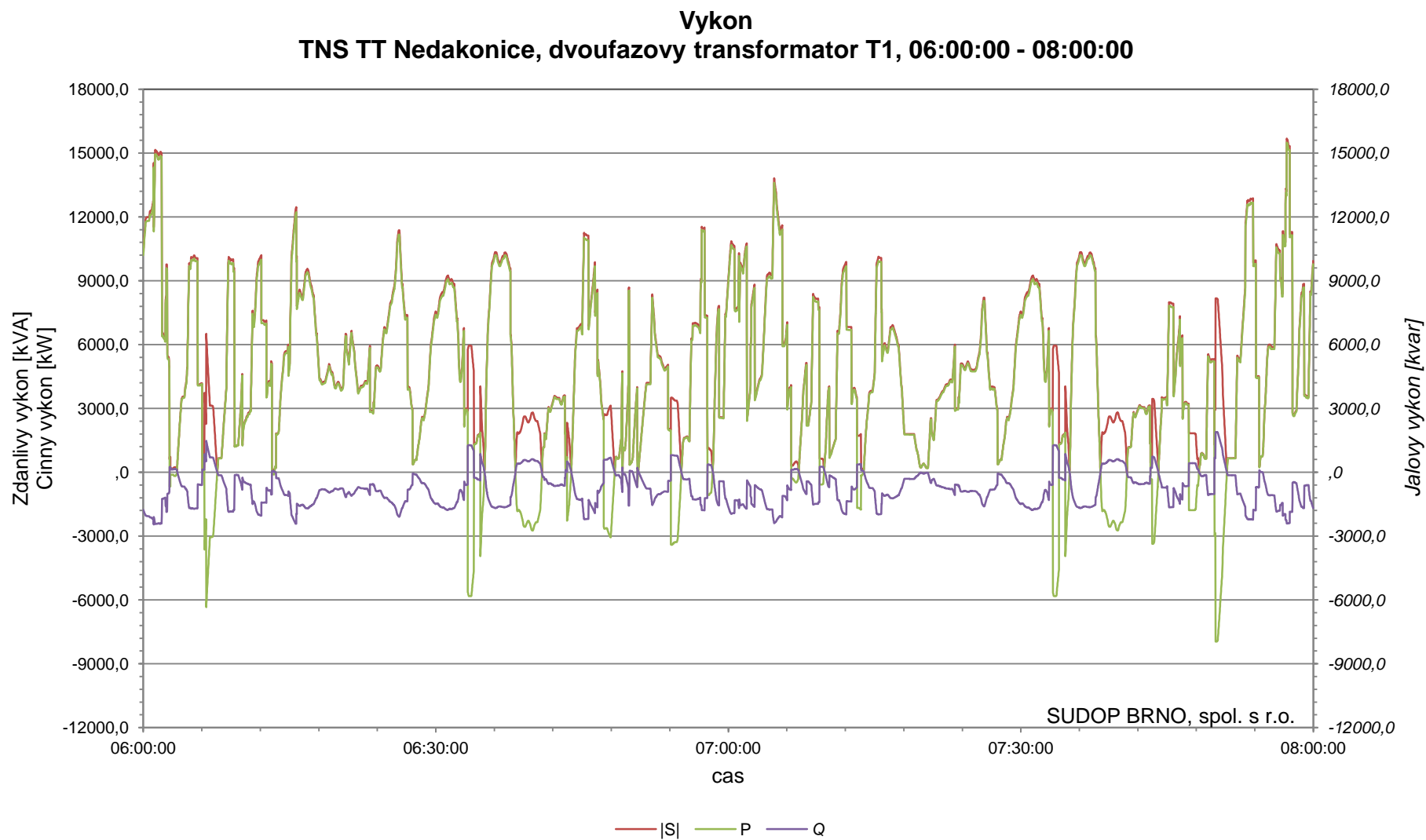


Varianta NP – výkonové zatížení TNS Otrokovice

vykonove zatizeni
TNS TT Otrokovice, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00

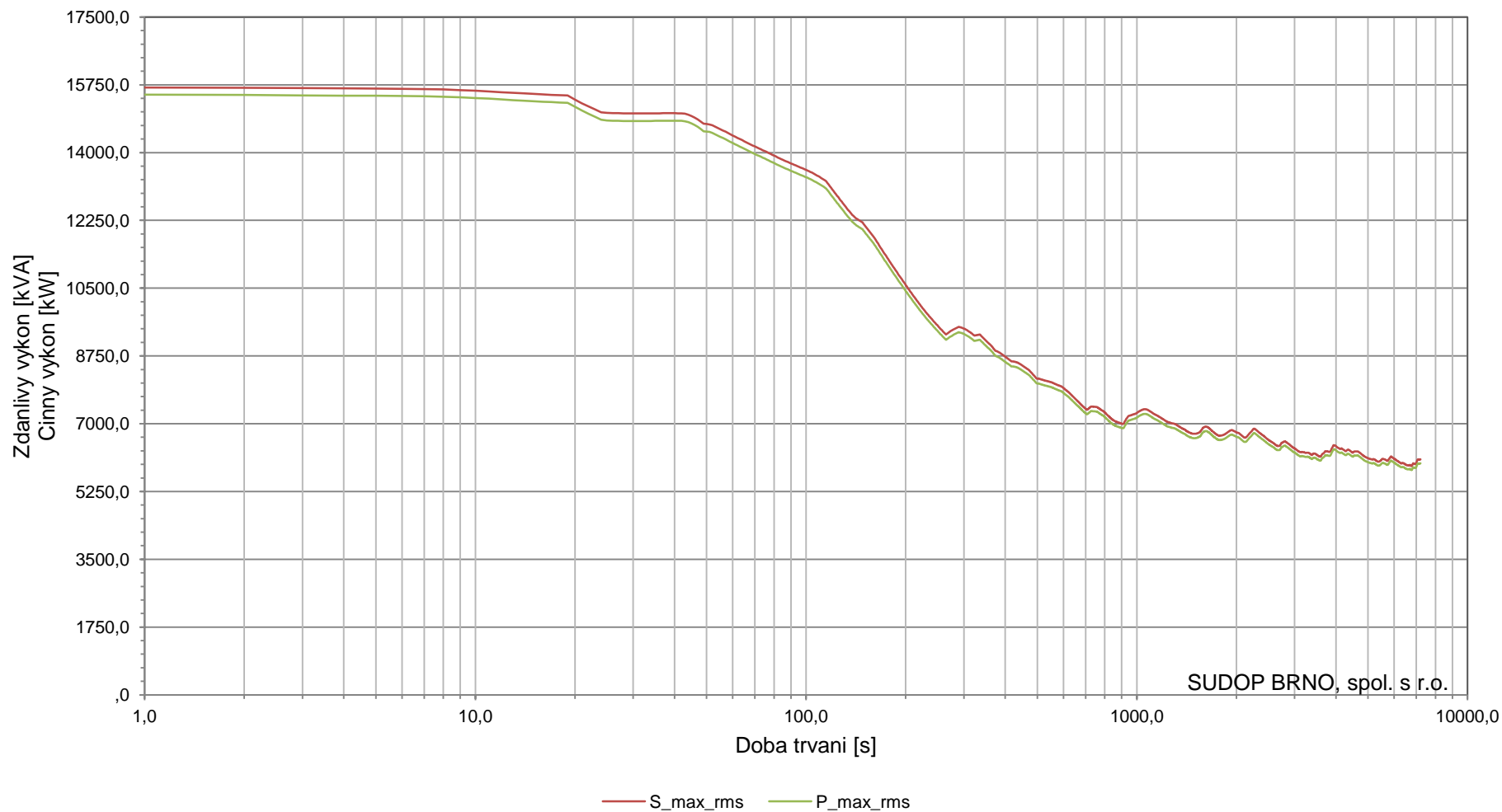


Varianta NP – výkon TNS Nedakonice



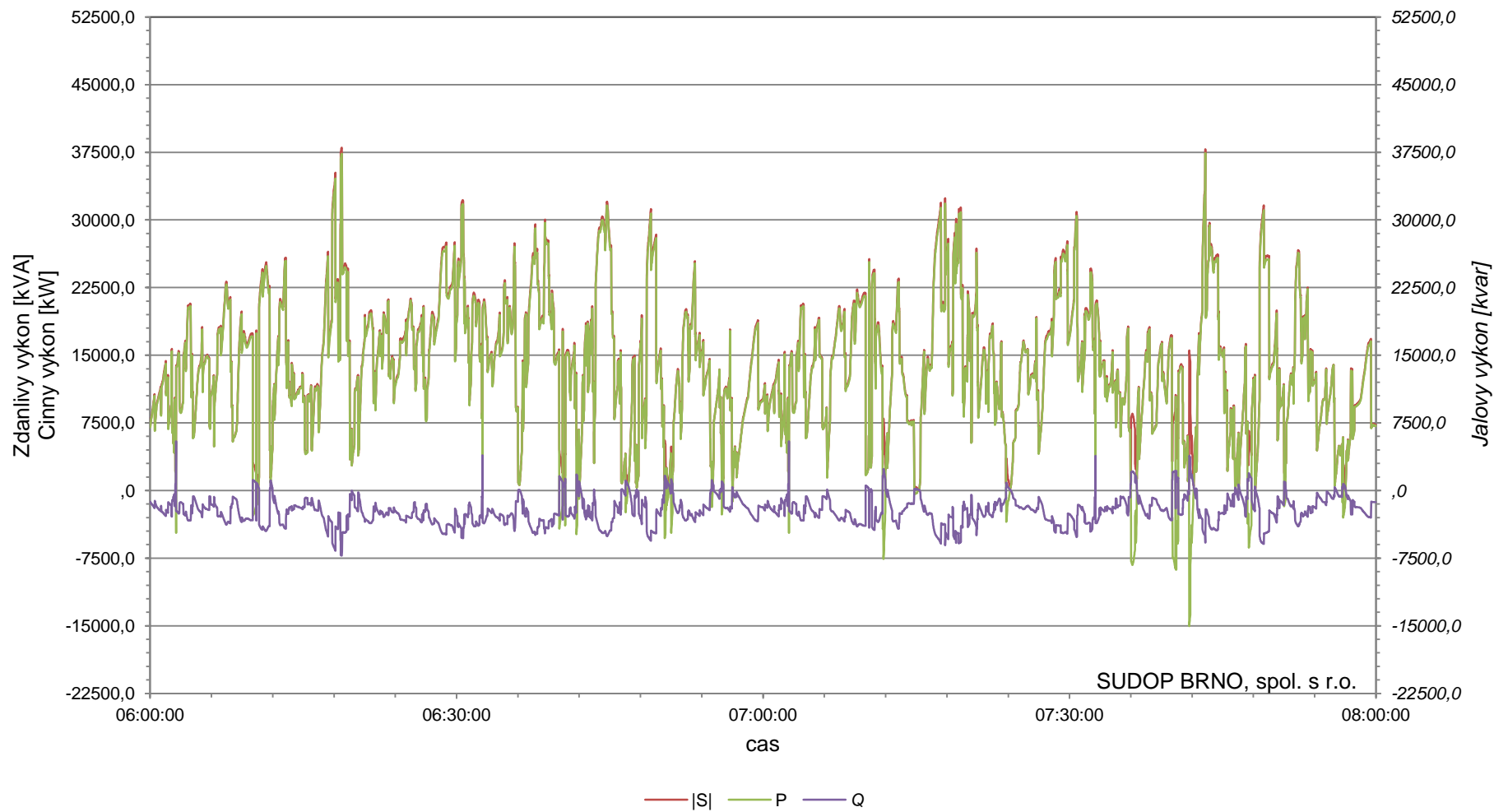
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Nedakonice

vykonove zatizeni
TNS TT Nedakonice, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00



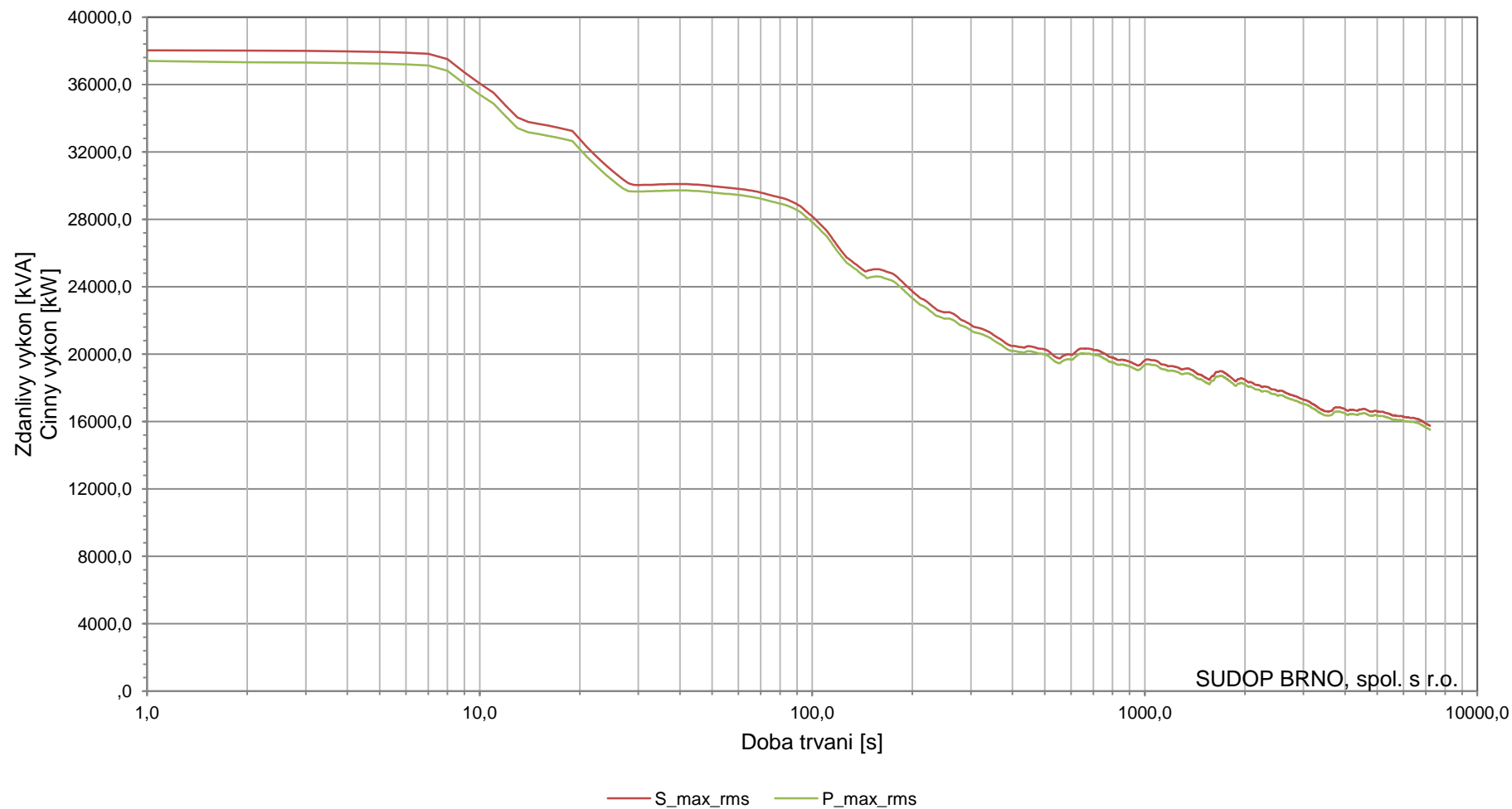
Varianta NP – výkon TNS Břeclav

Vykon
TNS TT Breclav, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00



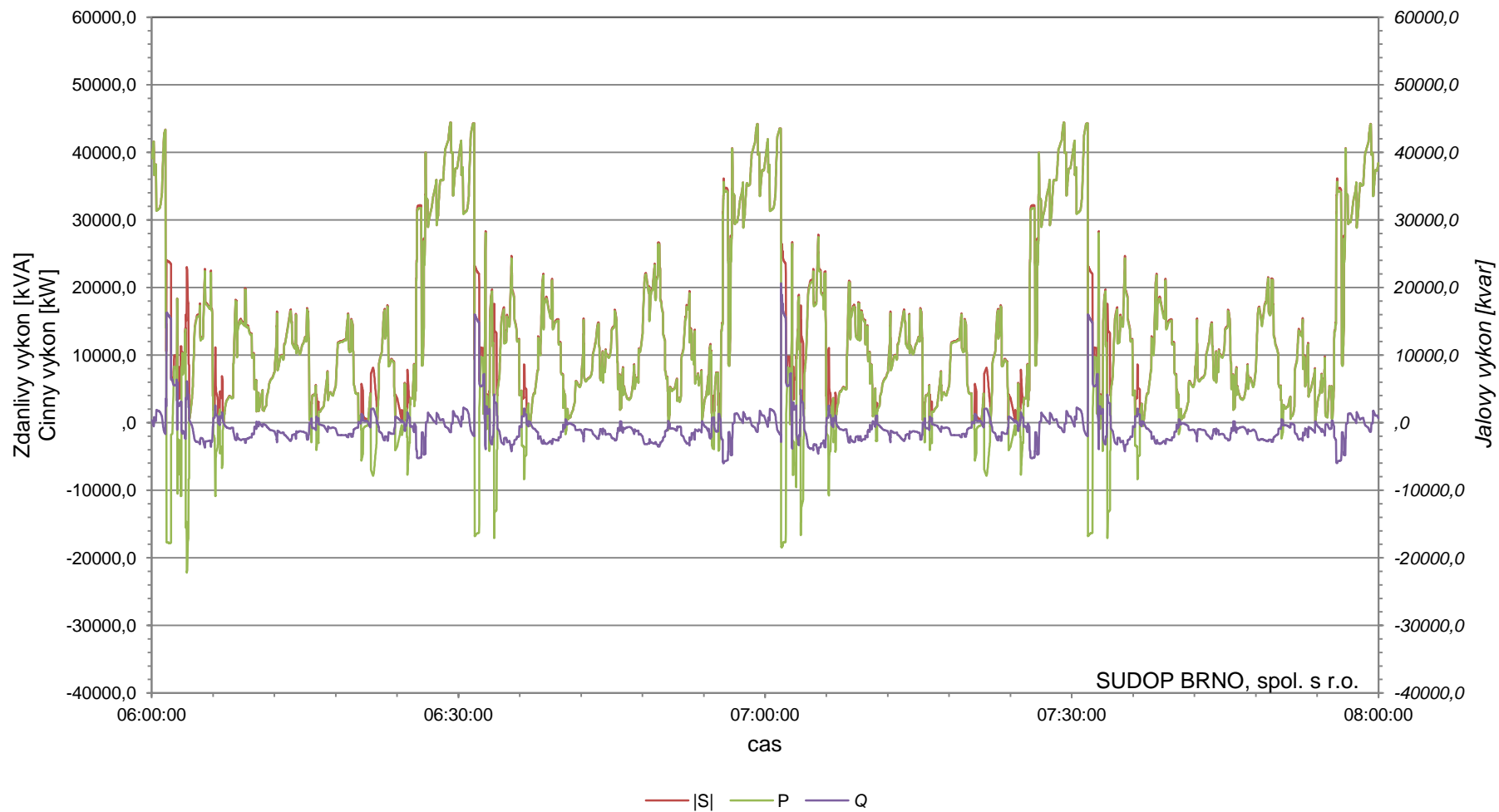
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Břeclav

vykonove zatizeni TNS TT Breclav, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00



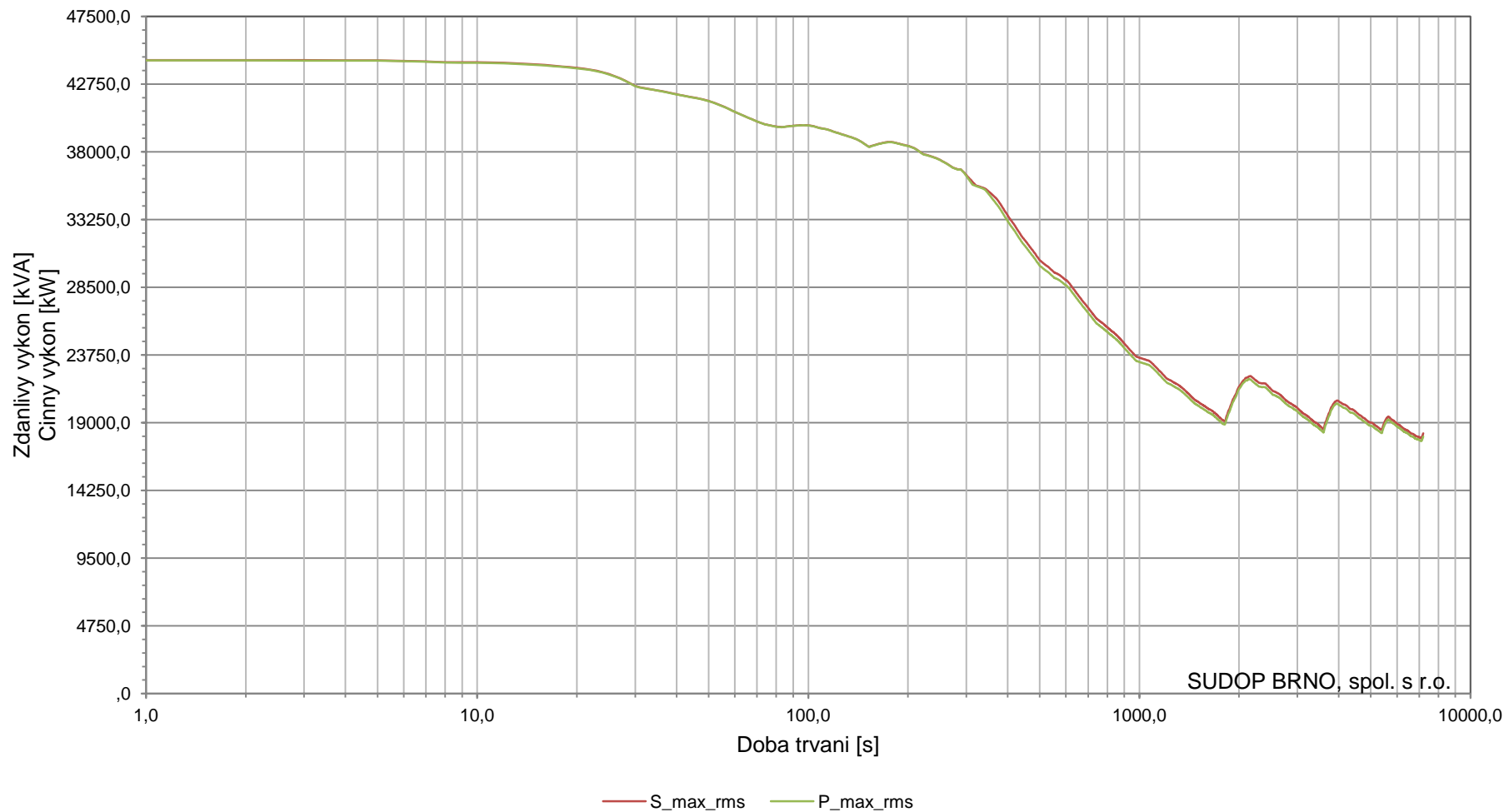
Varianta NP – výkon prvního transformátoru TNS Modřice

Výkon
TNS TT Modřice, dvoufázový transformátor T1, 06:00:00 - 08:00:00

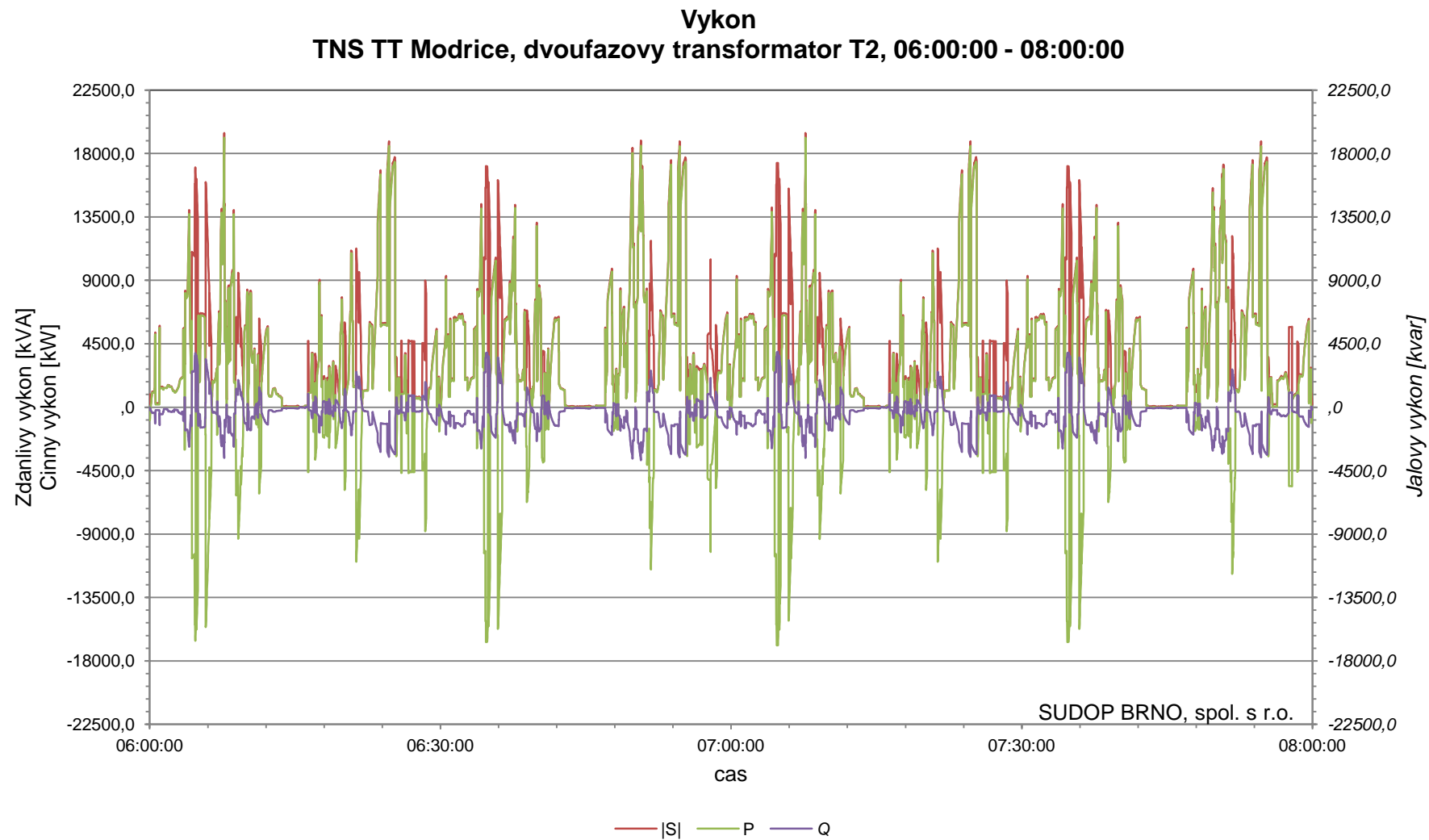


Varianta NP – výkonové zatížení prvního transformátoru TNS Modřice

vykonove zatizeni
TNS TT Modrice, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00

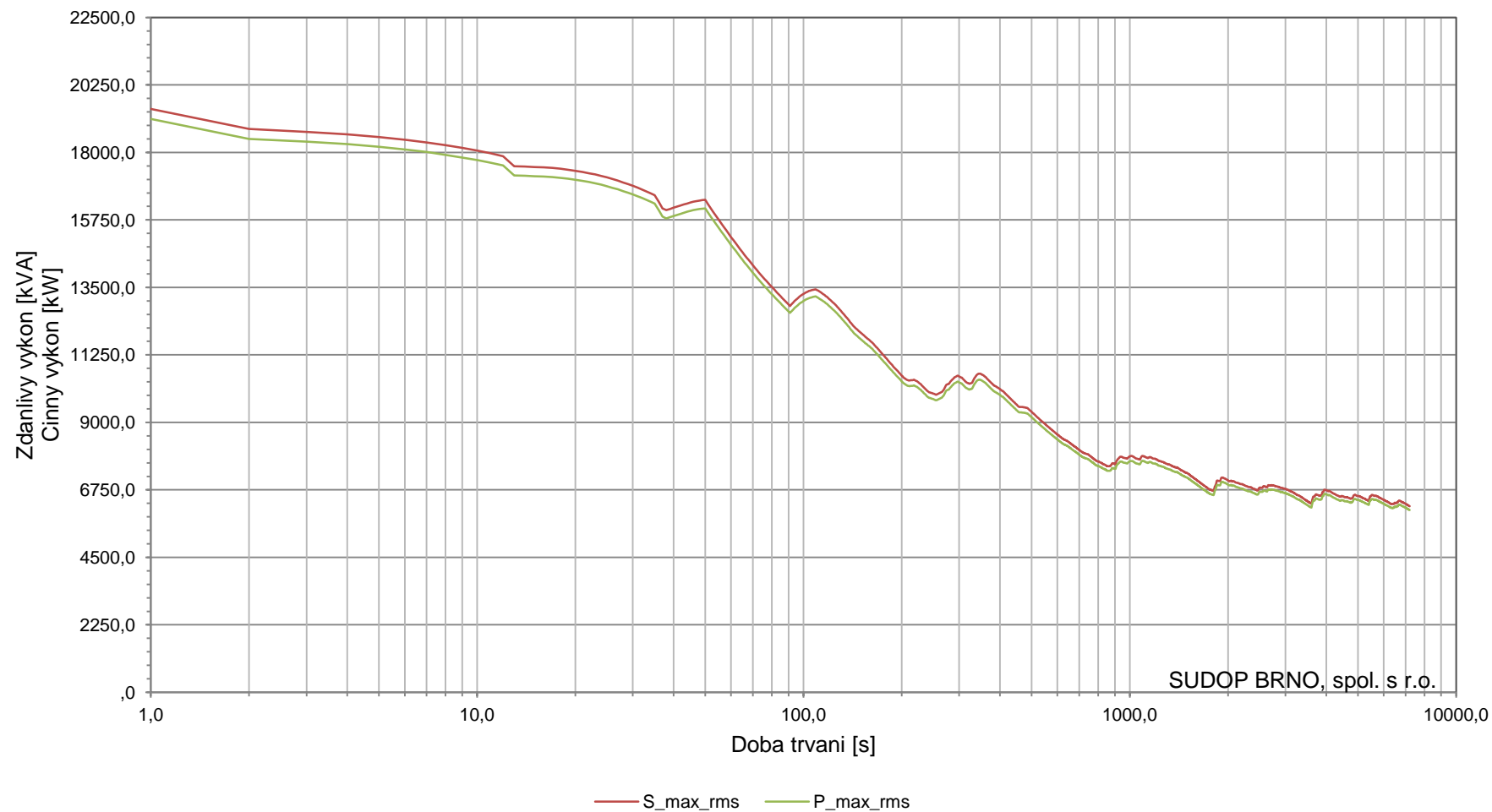


Varianta NP – výkon druhého transformátoru TNS Modřice



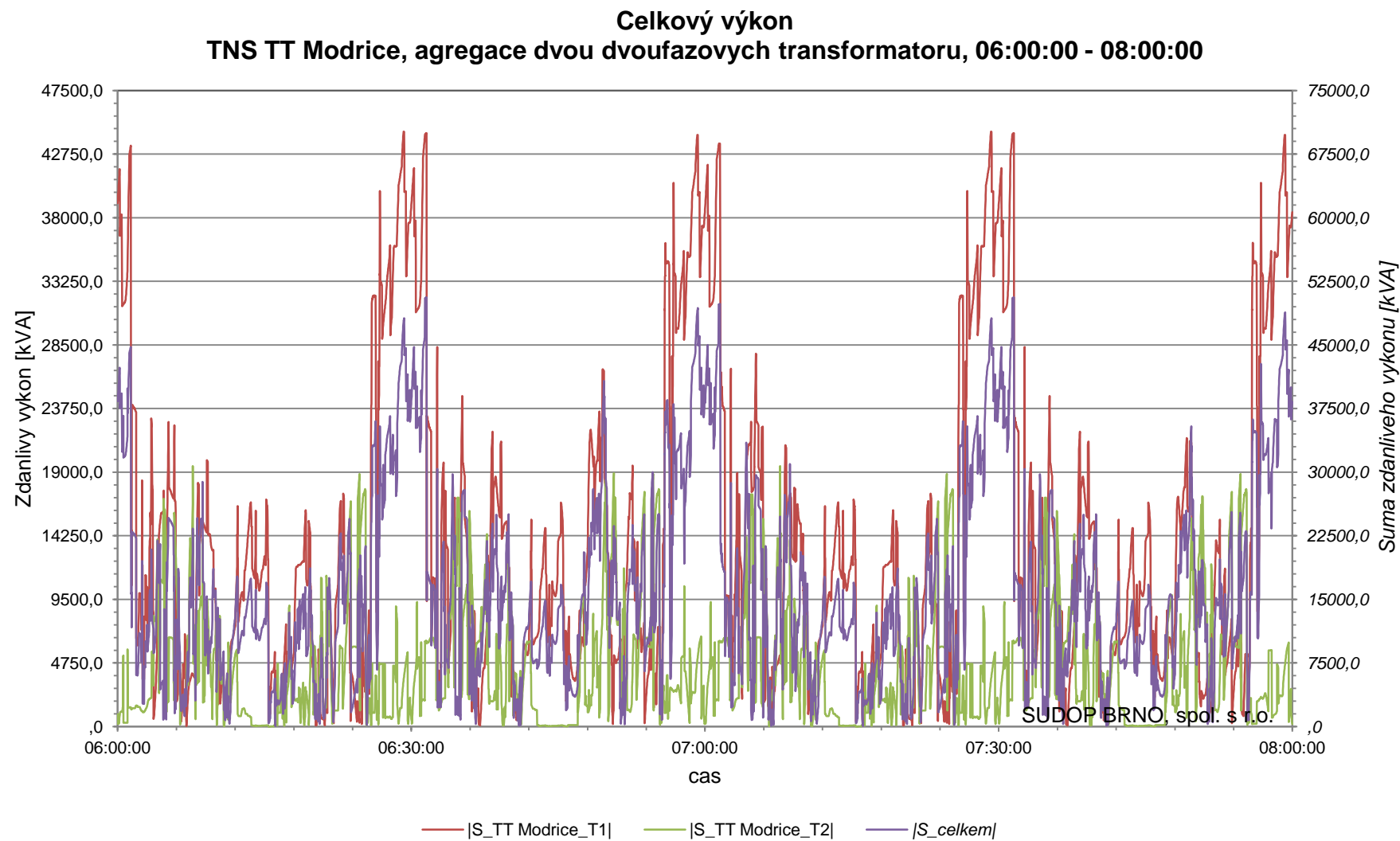
Varianta NP – výkonové zatížení druhého transformátoru TNS Modřice

vykonove zatizeni
TNS TT Modrice, dvoufazovy transformator T2, 06:00:00 - 08:00:00

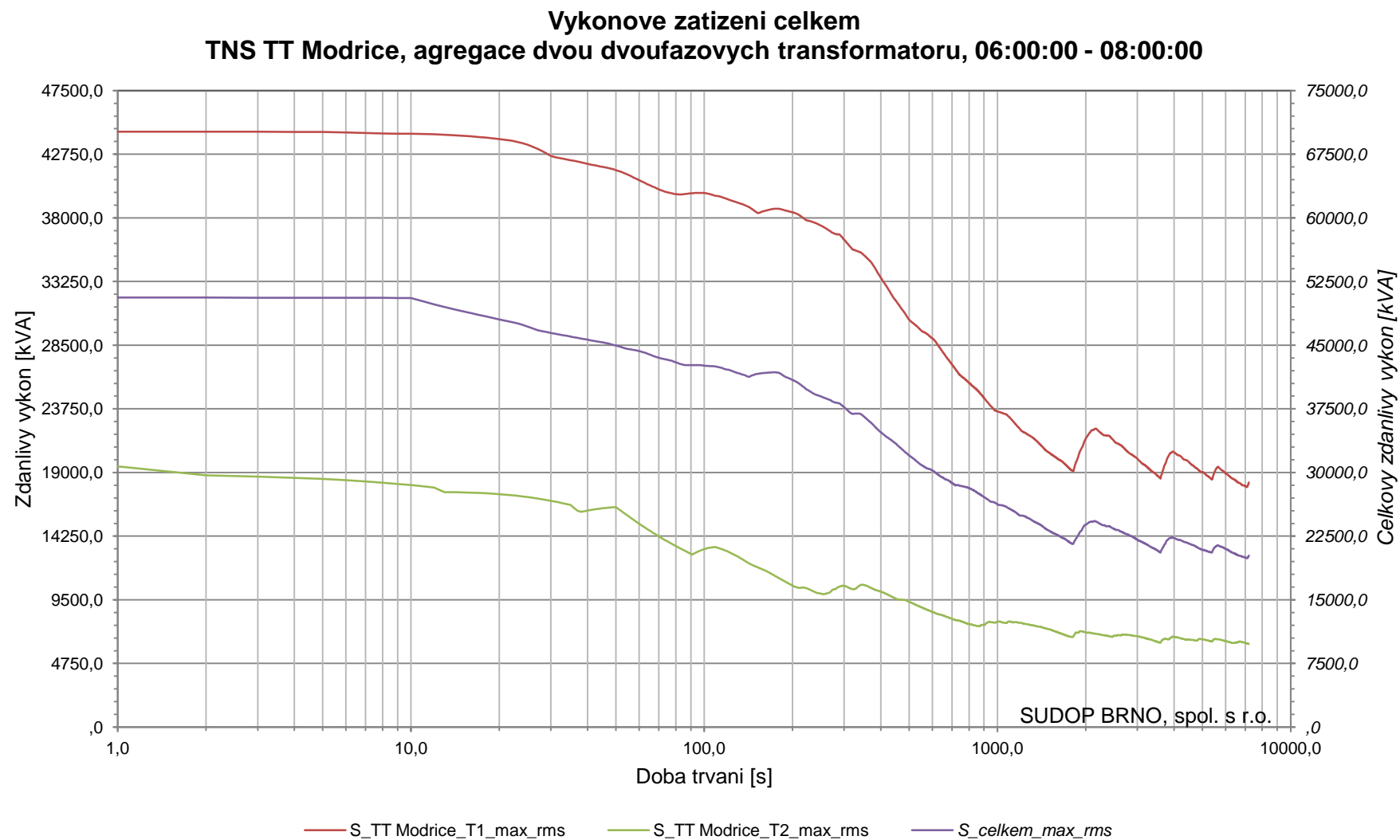


SUDOP BRNO, spol. s r.o.

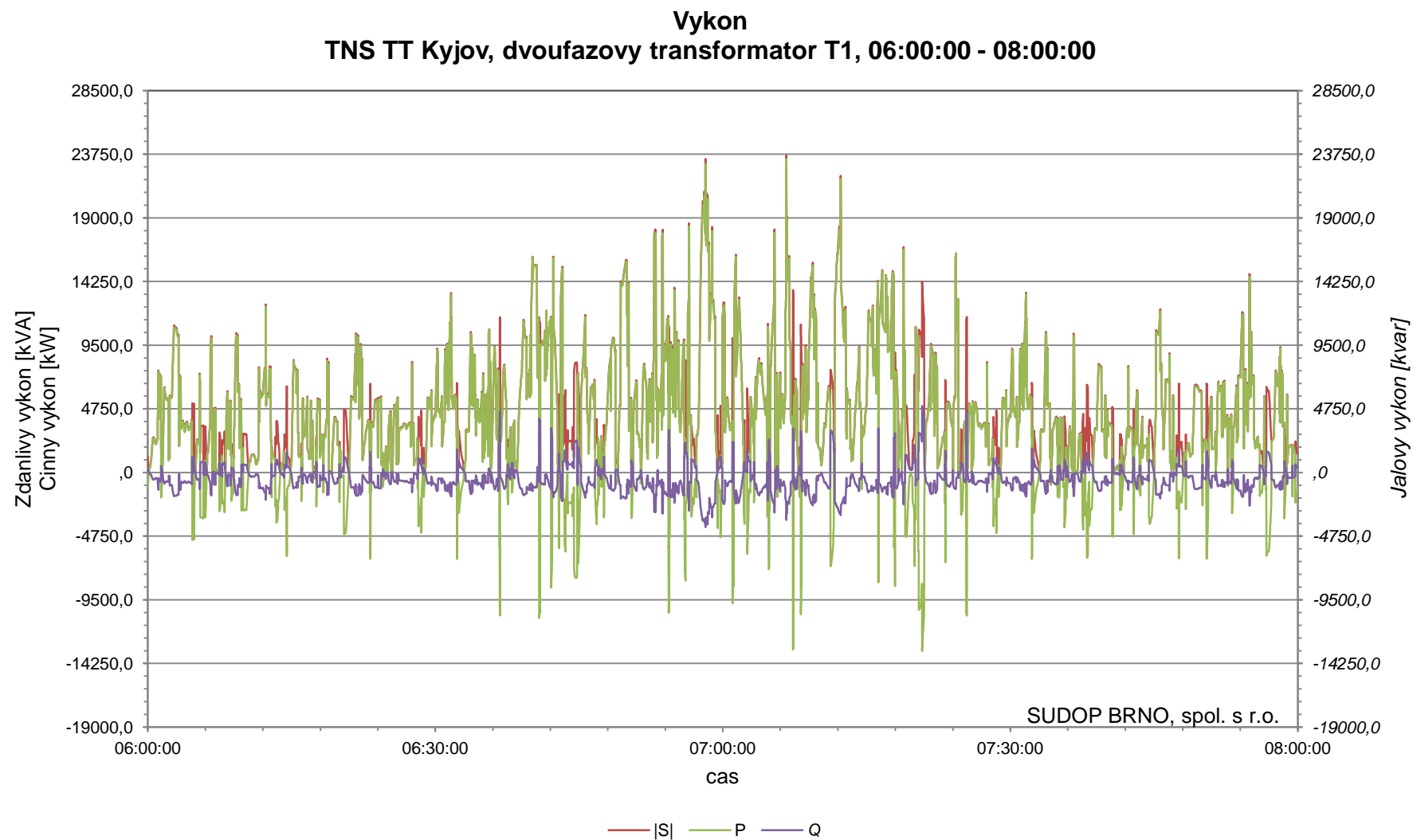
Varianta NP – výkon TNS Modřice celkem



Varianta NP – výkonové zatížení TNS Modřice celkem

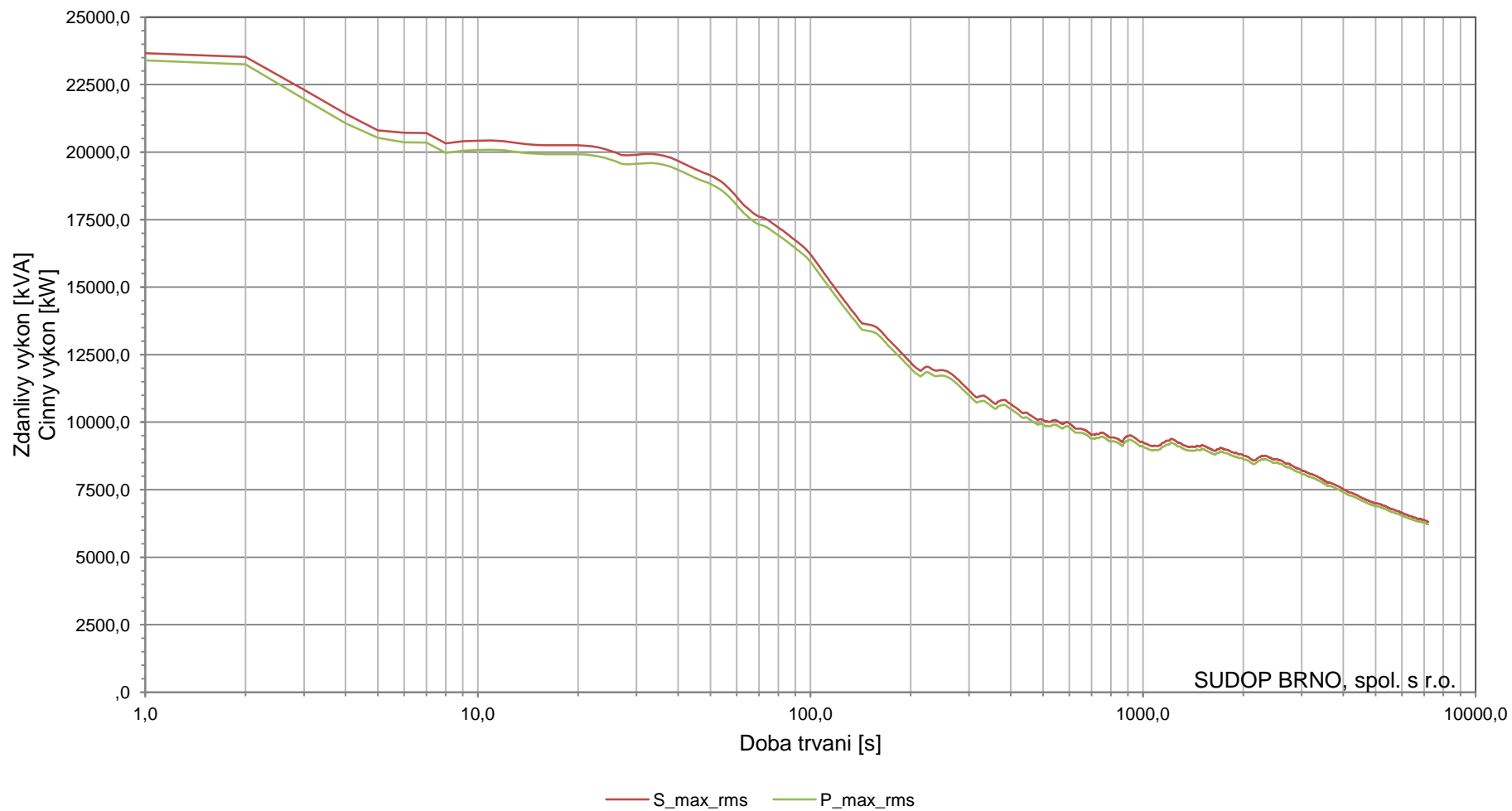


Varianta NP – výkon TNS Kyjov



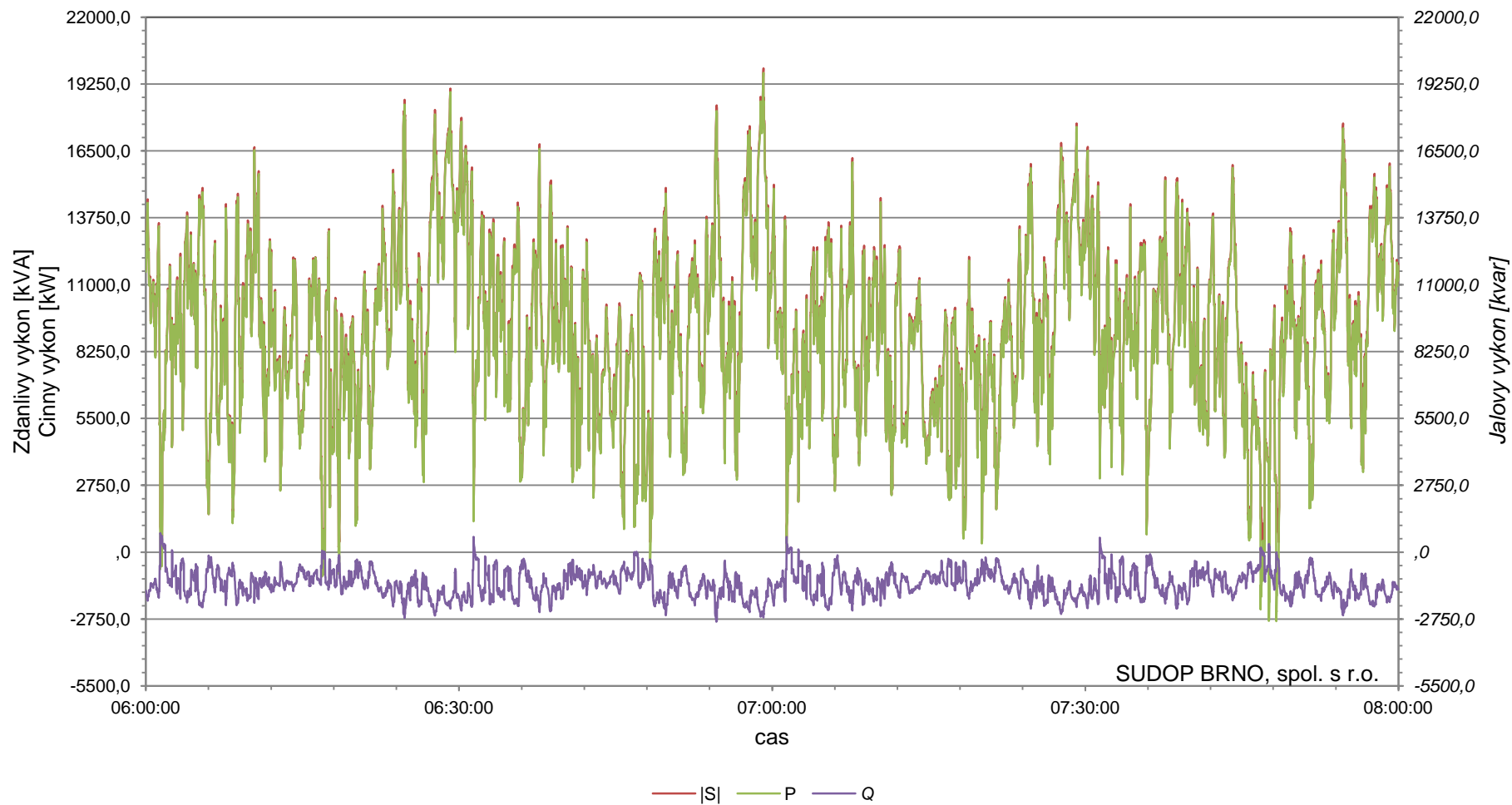
Varianta NP – výkonové zatížení TNS Kyjov

vykonove zatizeni TNS TT Kyjov, dvoufazovy transformator T1, 06:00:00 - 08:00:00



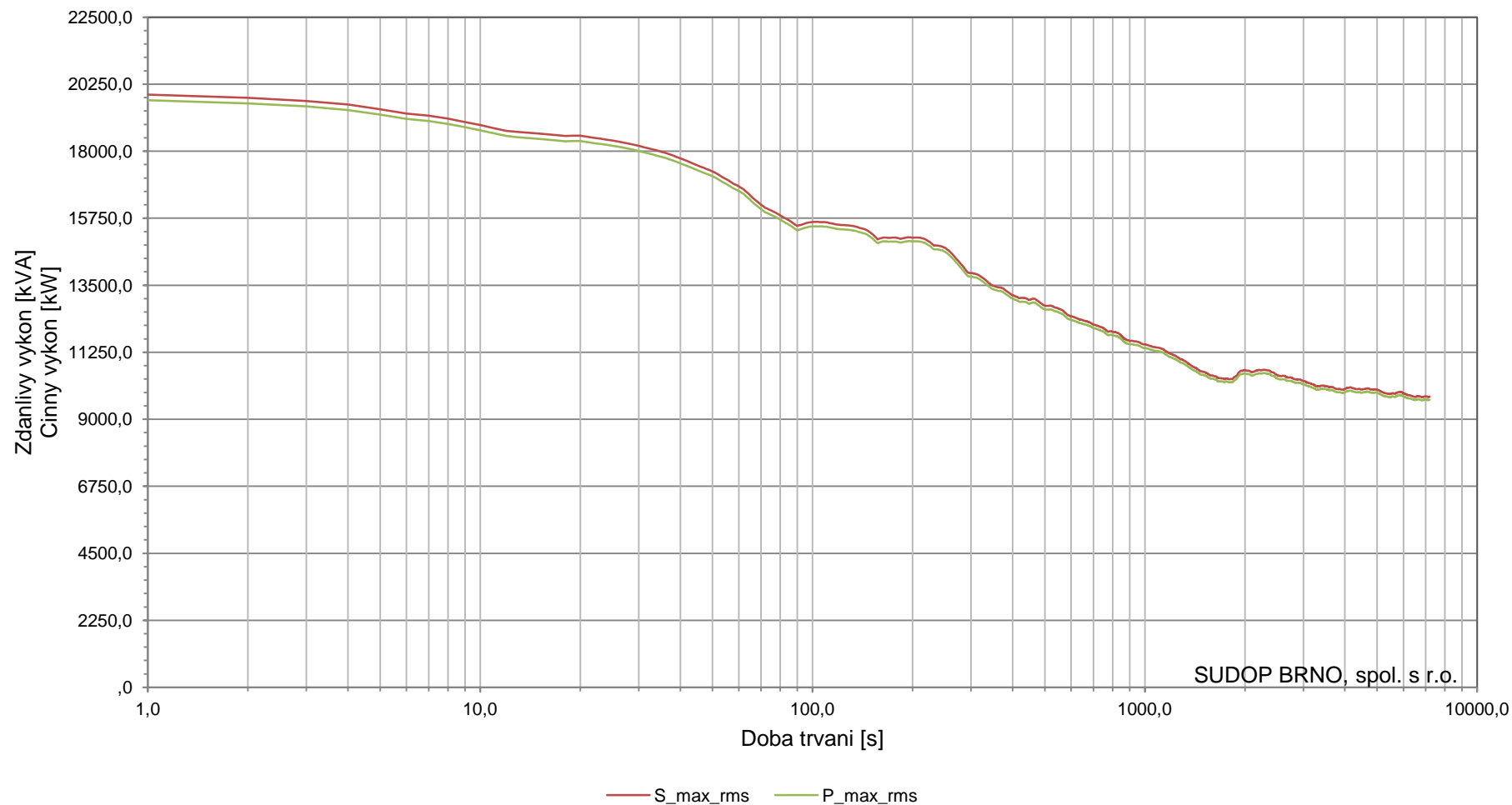
Varianta 1F – výkon TNS Černovice

Vykon
TNS TT Cernovice, 06:00:00 - 08:00:00



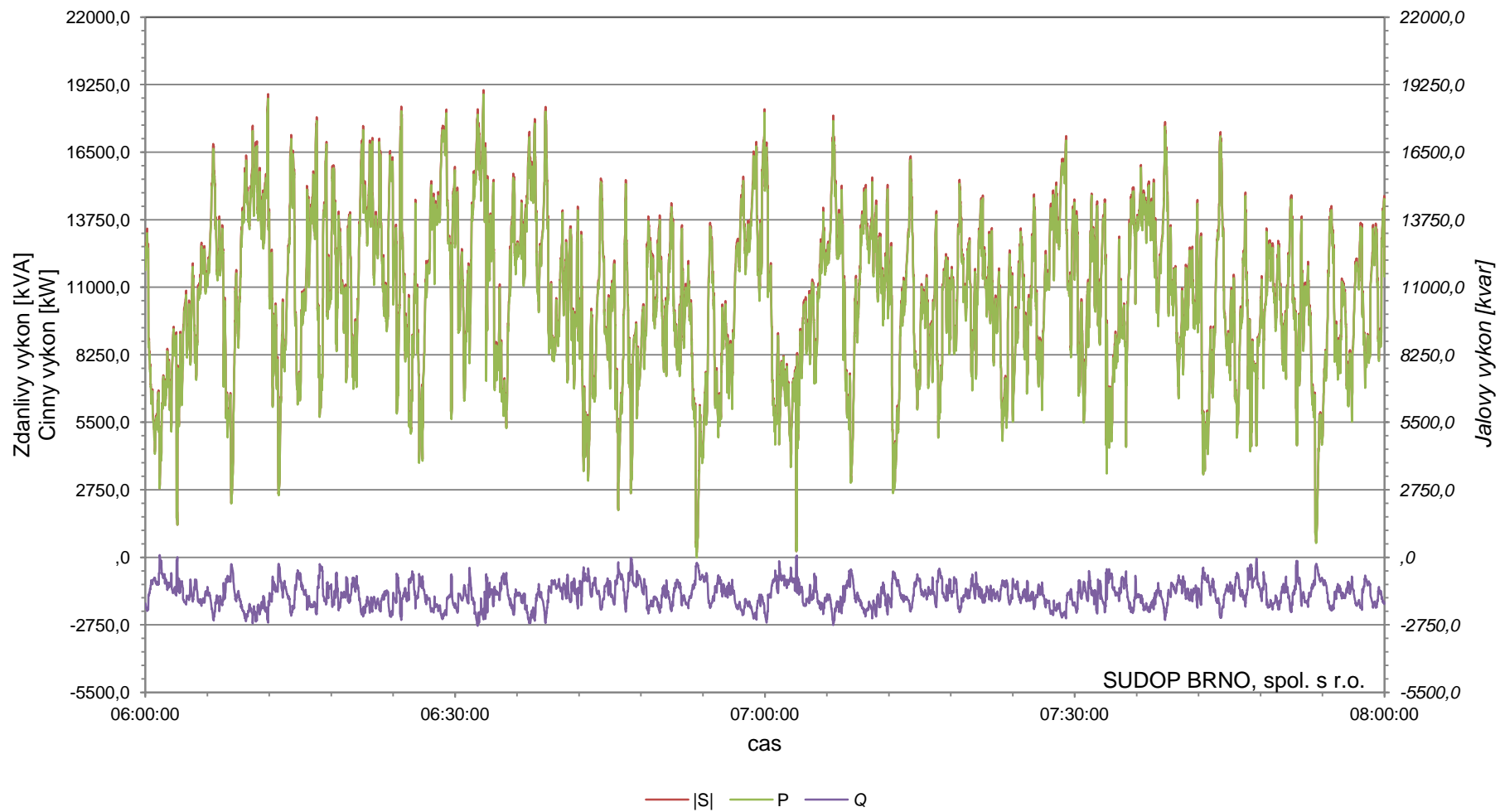
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Černovice

vykonove zatizeni
TNS TT Cernovice, 06:00:00 - 08:00:00



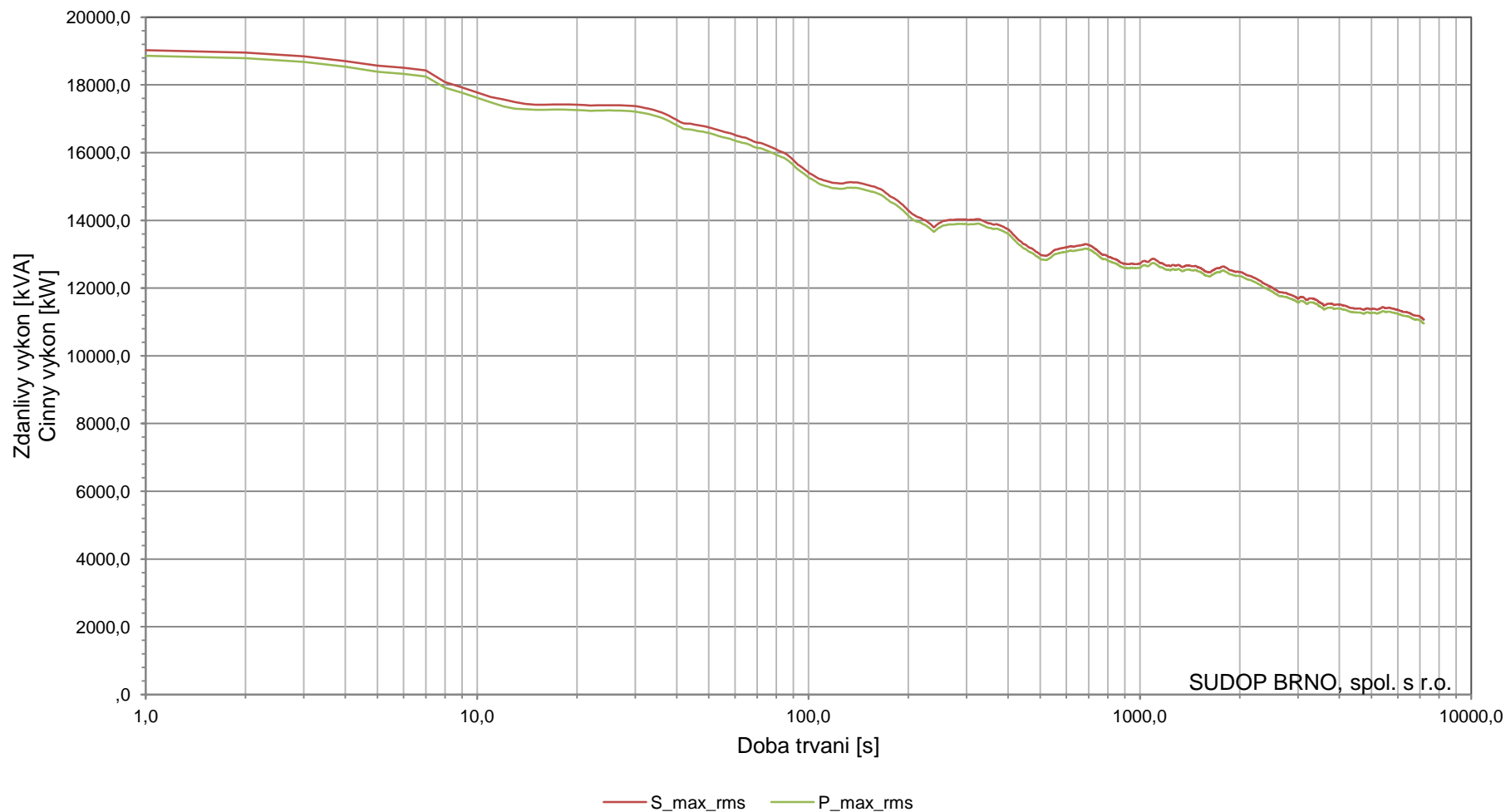
Varianta 1F – výkon TNS Vyškov

Vykon TNS TT Vyškov, 06:00:00 - 08:00:00



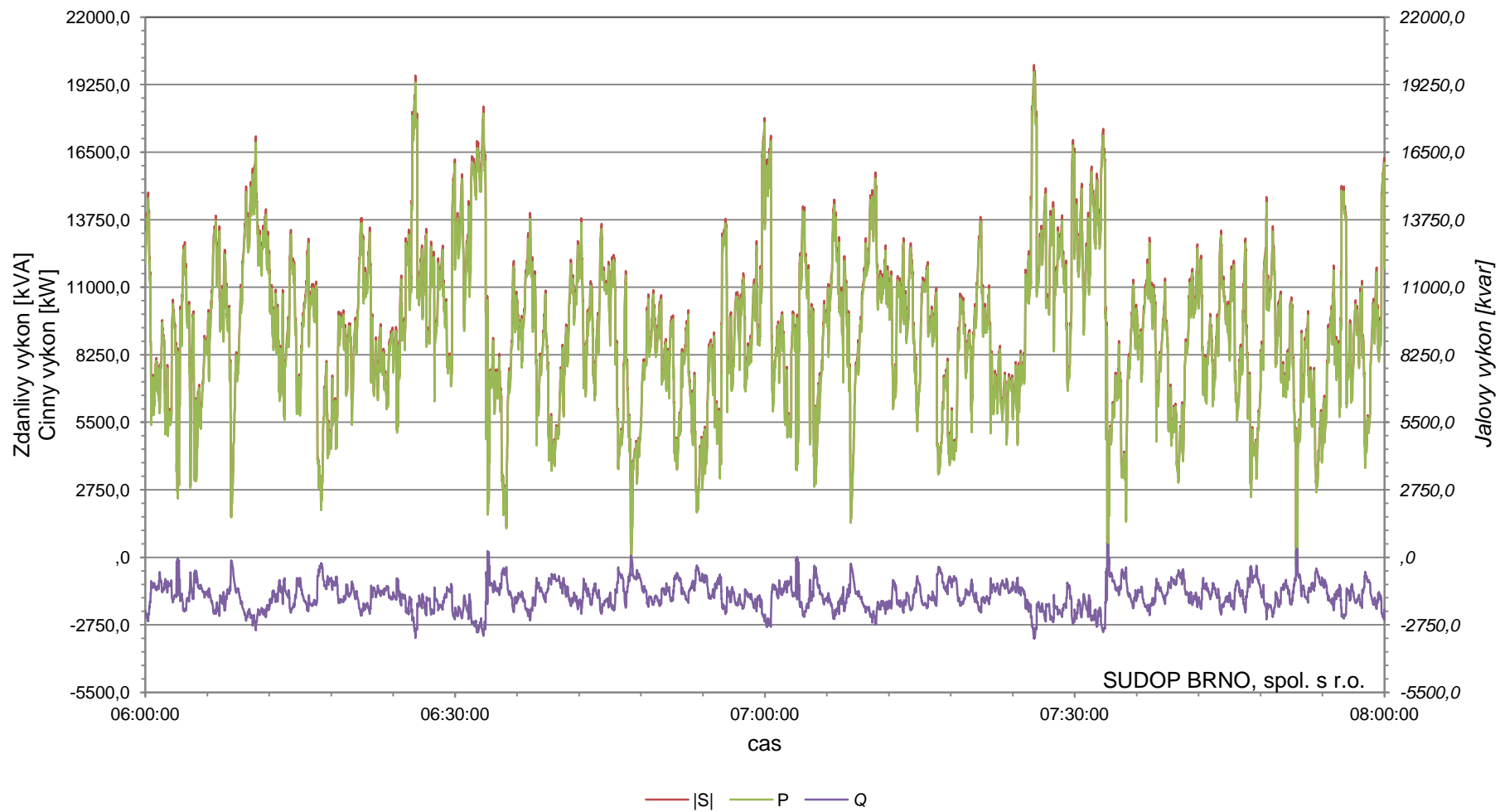
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Vyškov

vykonove zatizeni
TNS TT Vyškov, 06:00:00 - 08:00:00



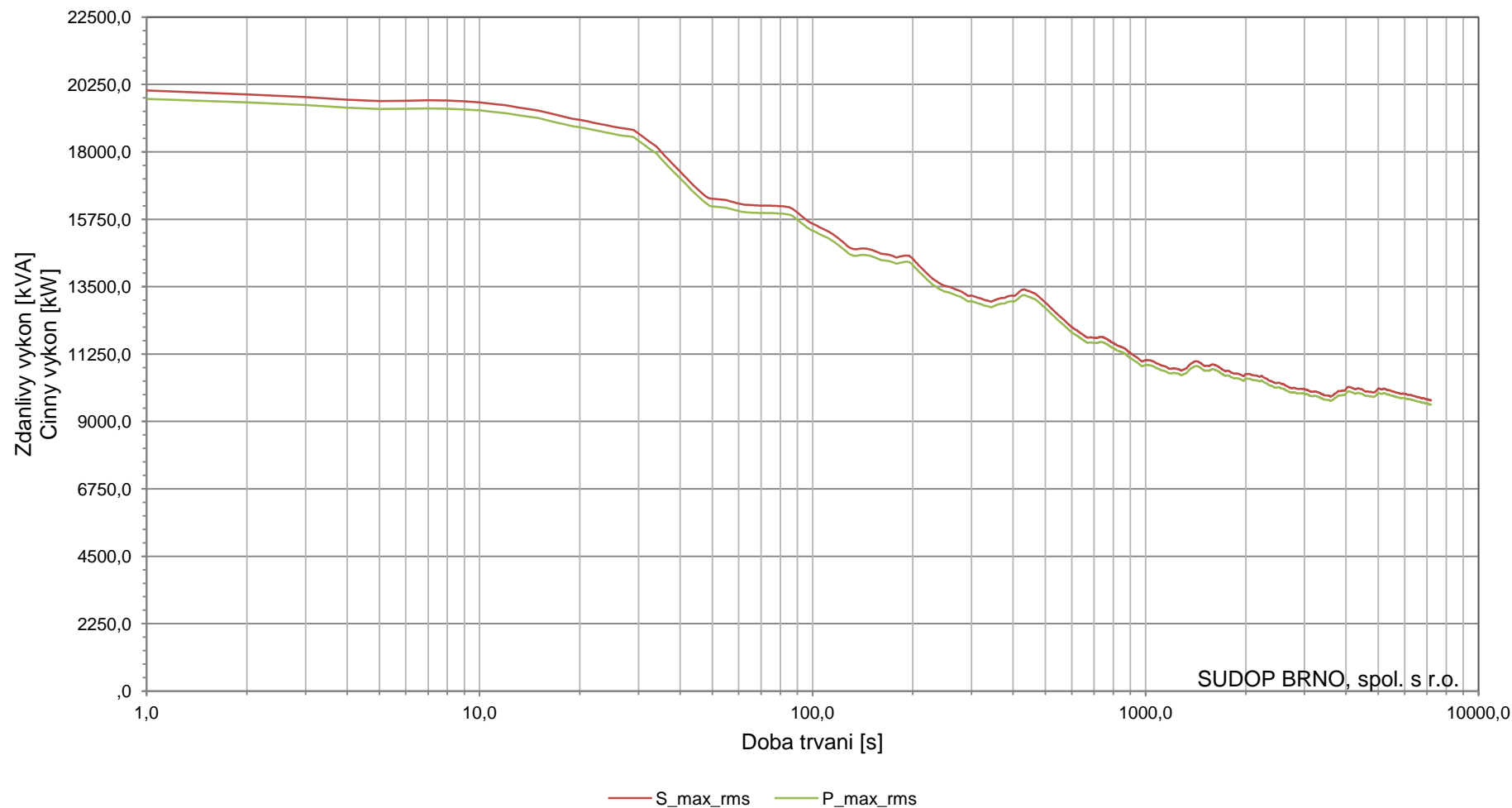
Varianta 1F – výkon TNS Říkovice

Výkon
TNS TT Říkovice, 06:00:00 - 08:00:00



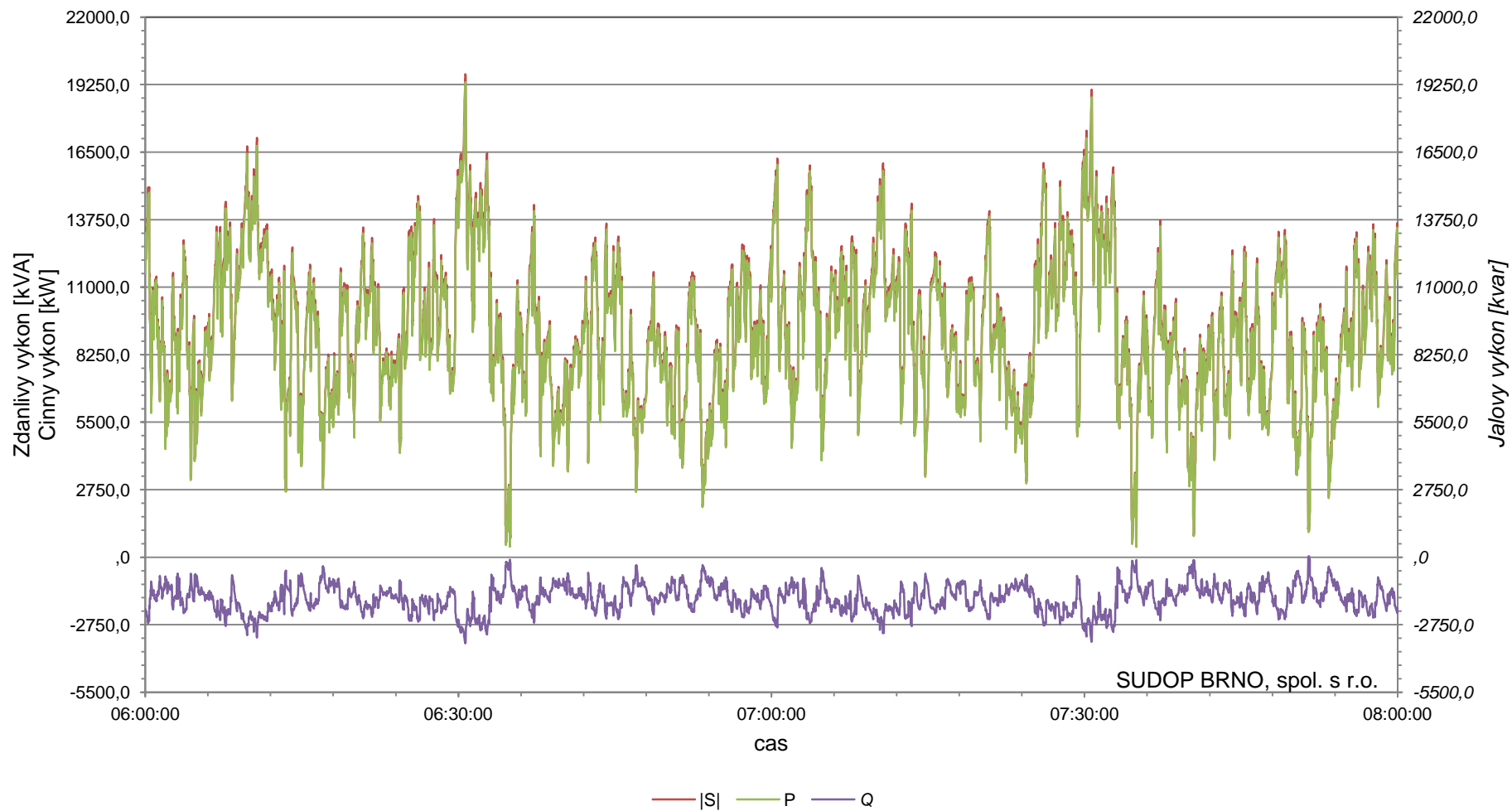
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Říkovice

vykonove zatizeni
TNS TT Rikovice, 06:00:00 - 08:00:00



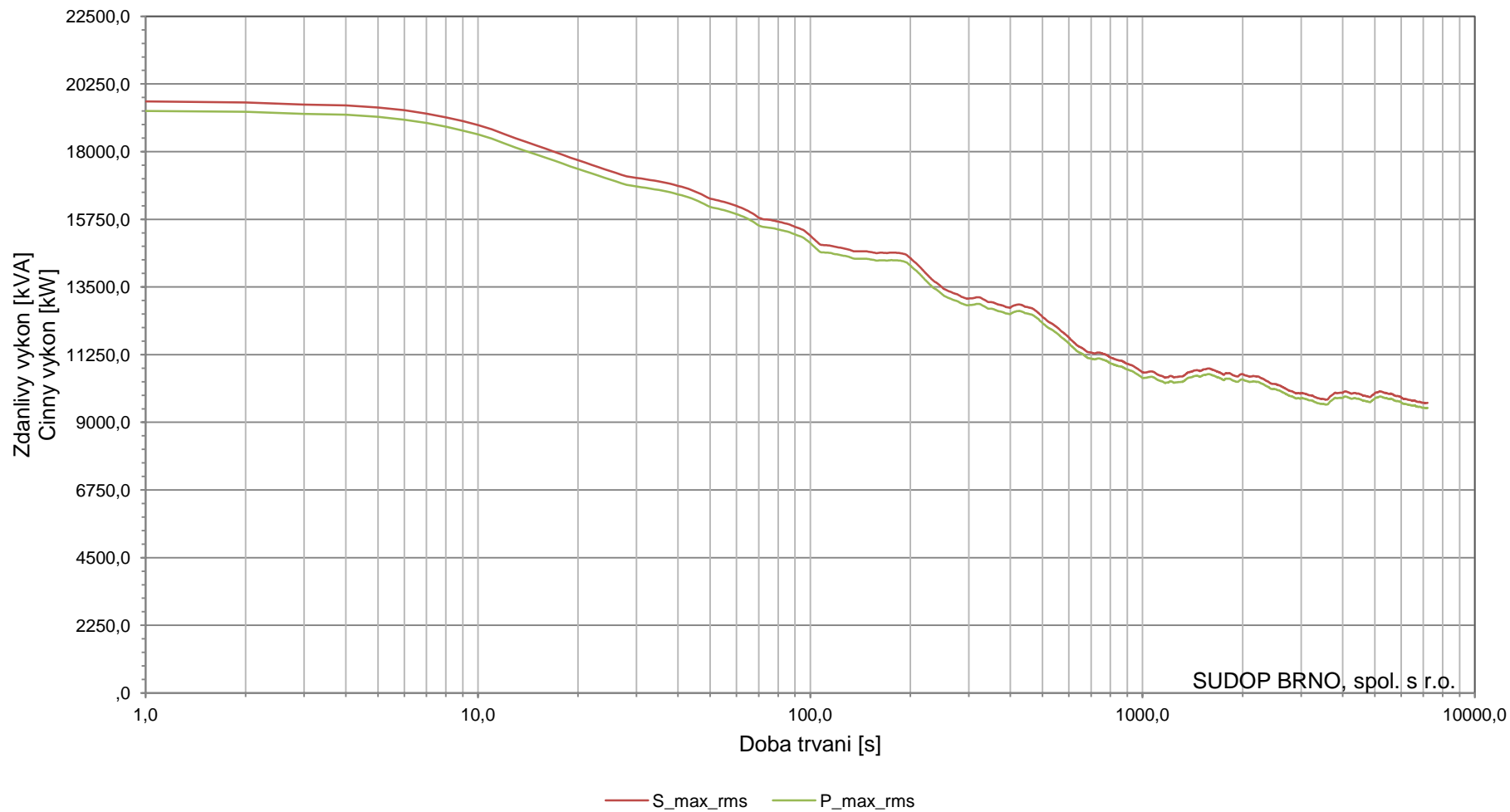
Varianta 1F – výkon TNS Otrokovice

Výkon
TNS TT Otrokovice, 06:00:00 - 08:00:00



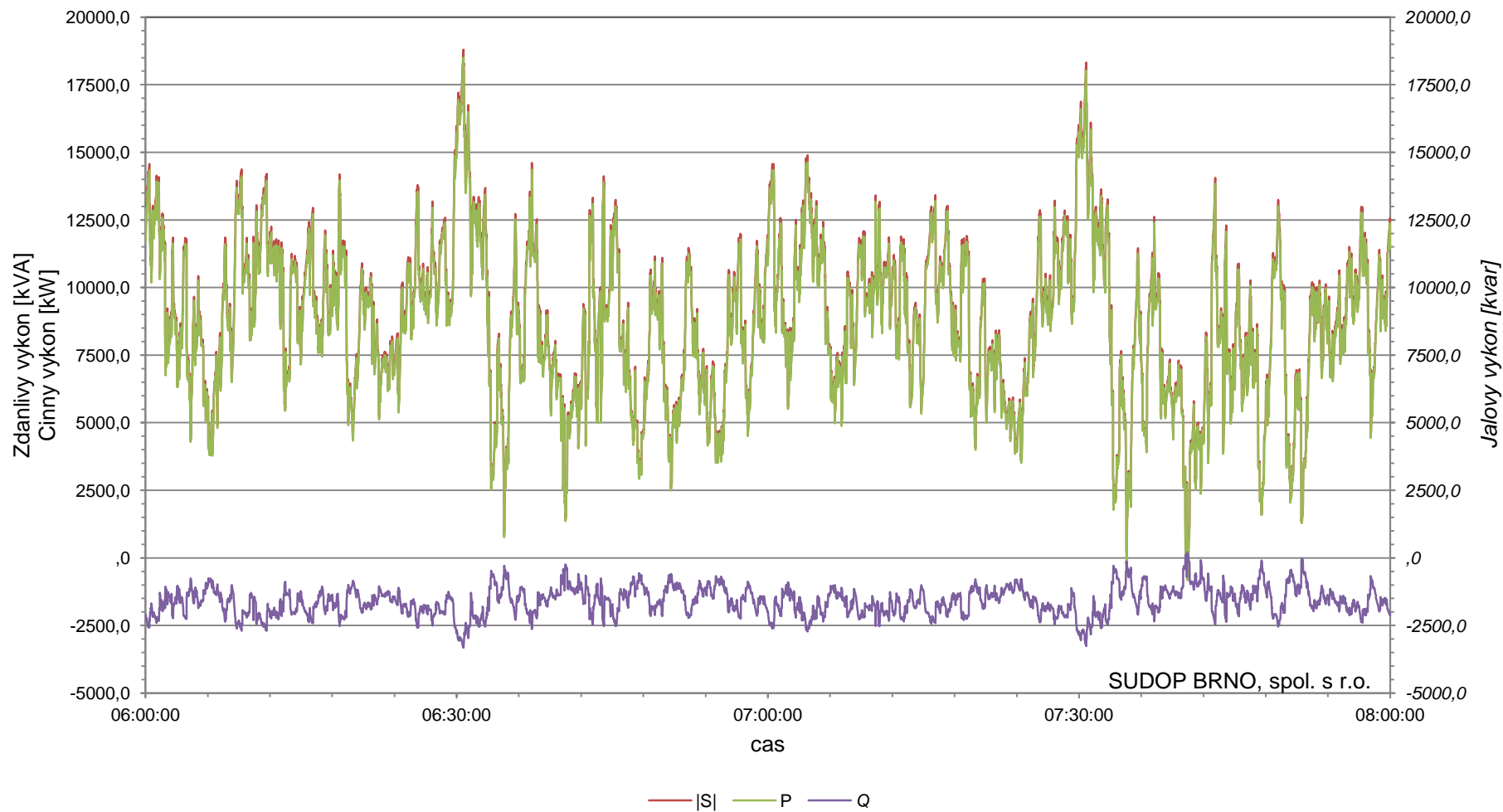
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Otrokovice

vykonove zatizeni TNS TT Otrokovice, 06:00:00 - 08:00:00



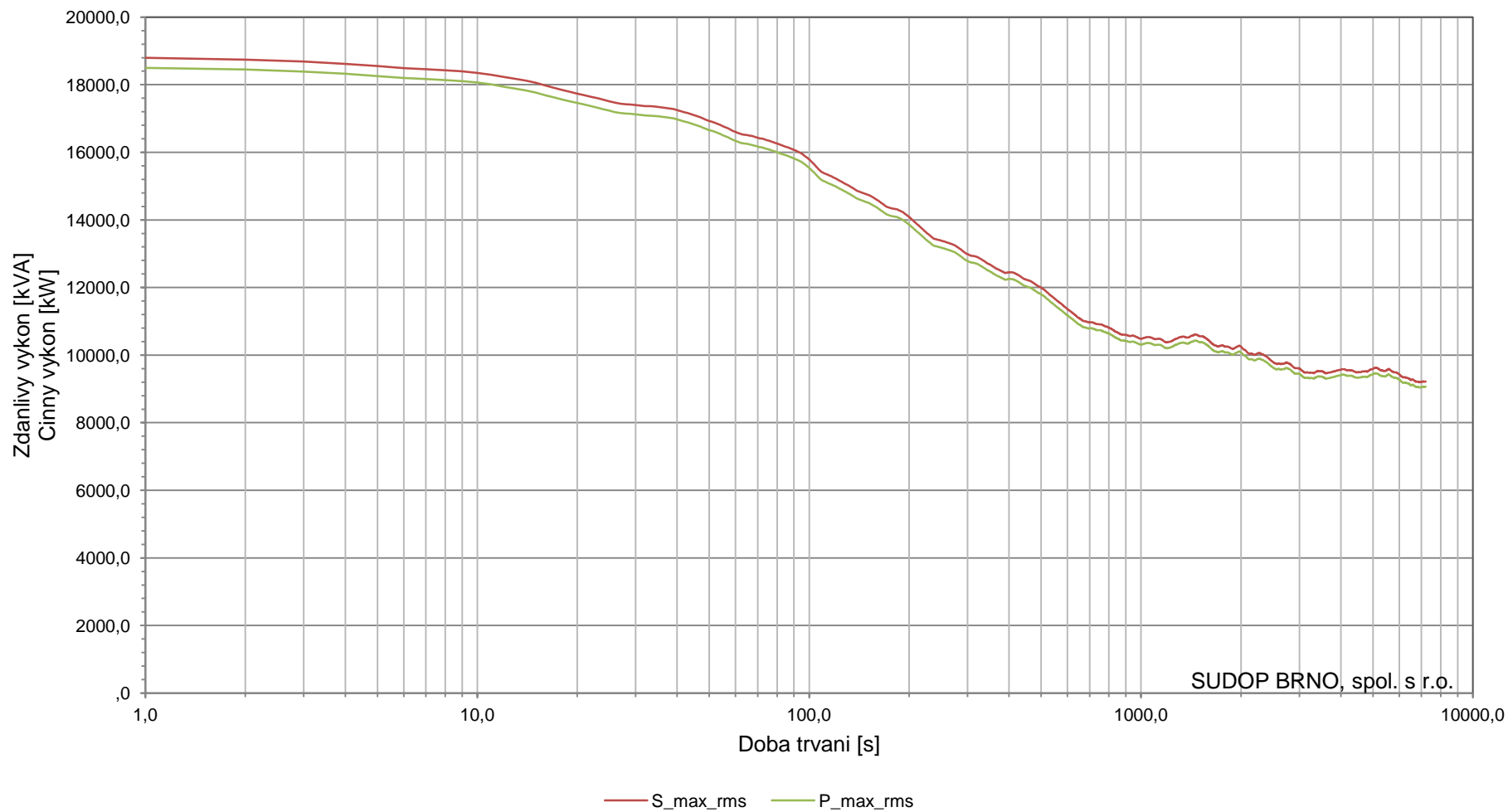
Varianta 1F – výkon TNS Nedakonice

Vykon
TNS TT Nedakonice, 06:00:00 - 08:00:00



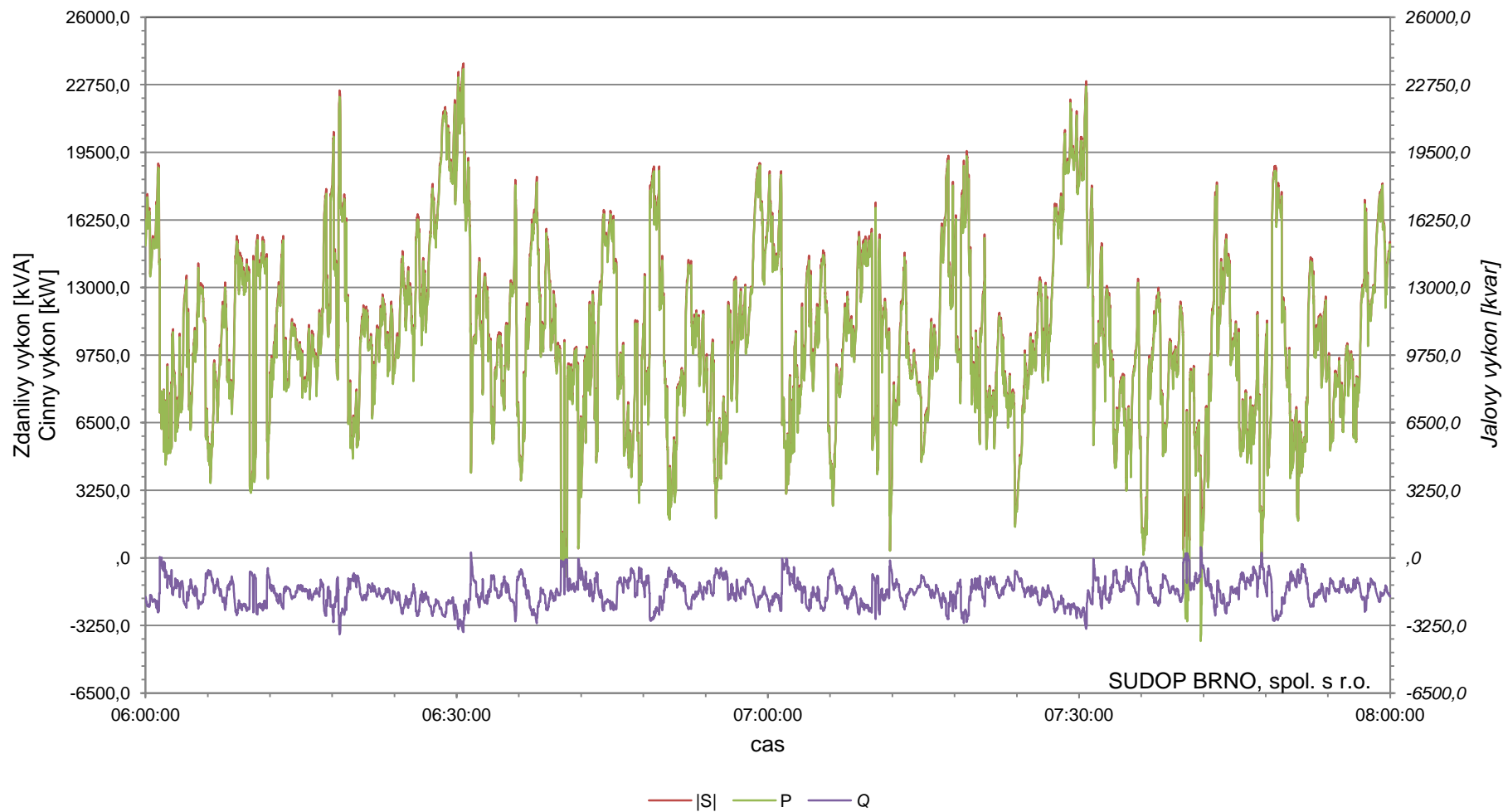
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Nedakonice

vykonove zatizeni
TNS TT Nedakonice, 06:00:00 - 08:00:00



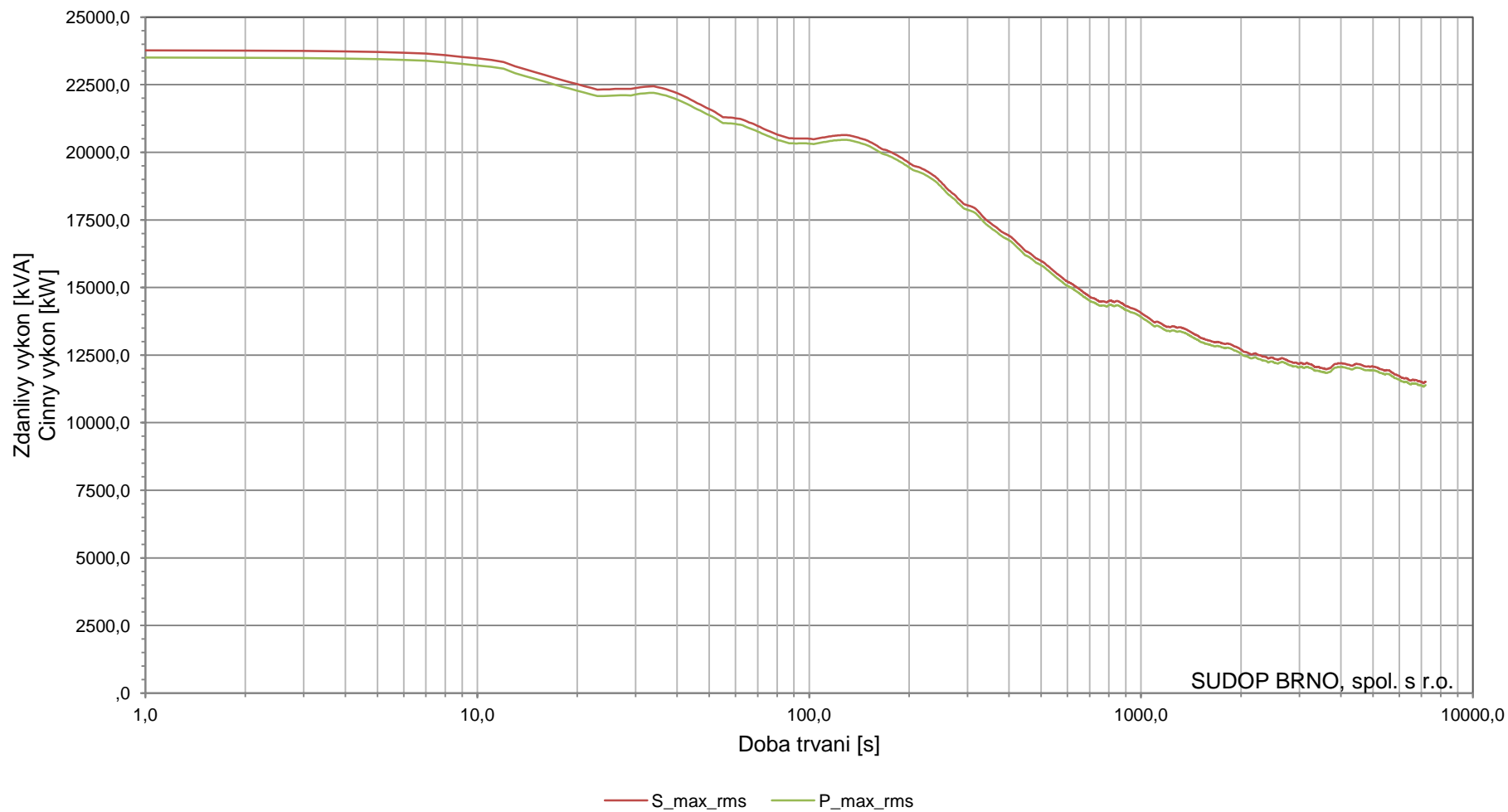
Varianta 1F – výkon TNS Břeclav

Vykon TNS TT Breclav, 06:00:00 - 08:00:00



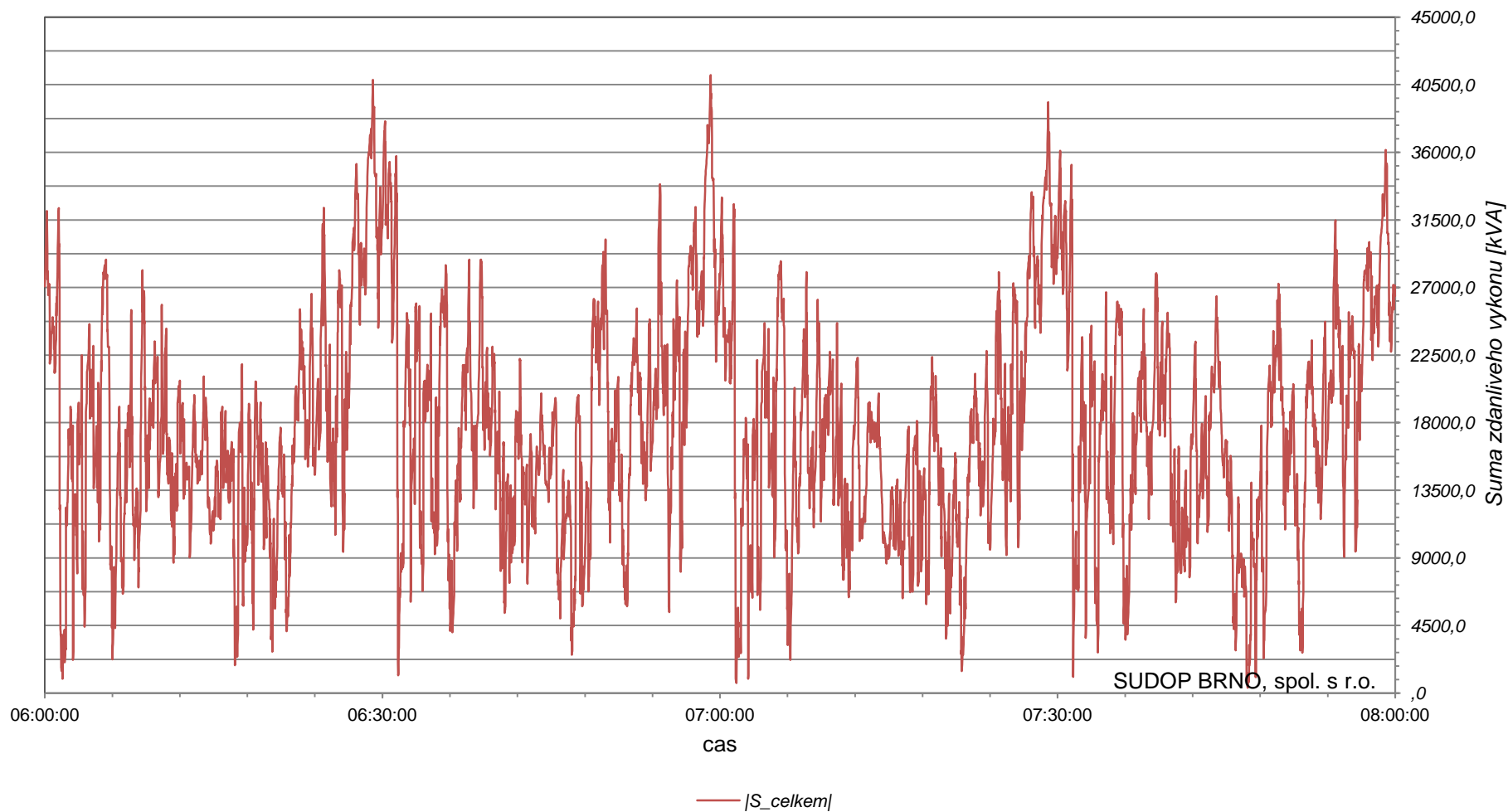
Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Břeclav

vykonove zatizeni TNS TT Breclav, 06:00:00 - 08:00:00



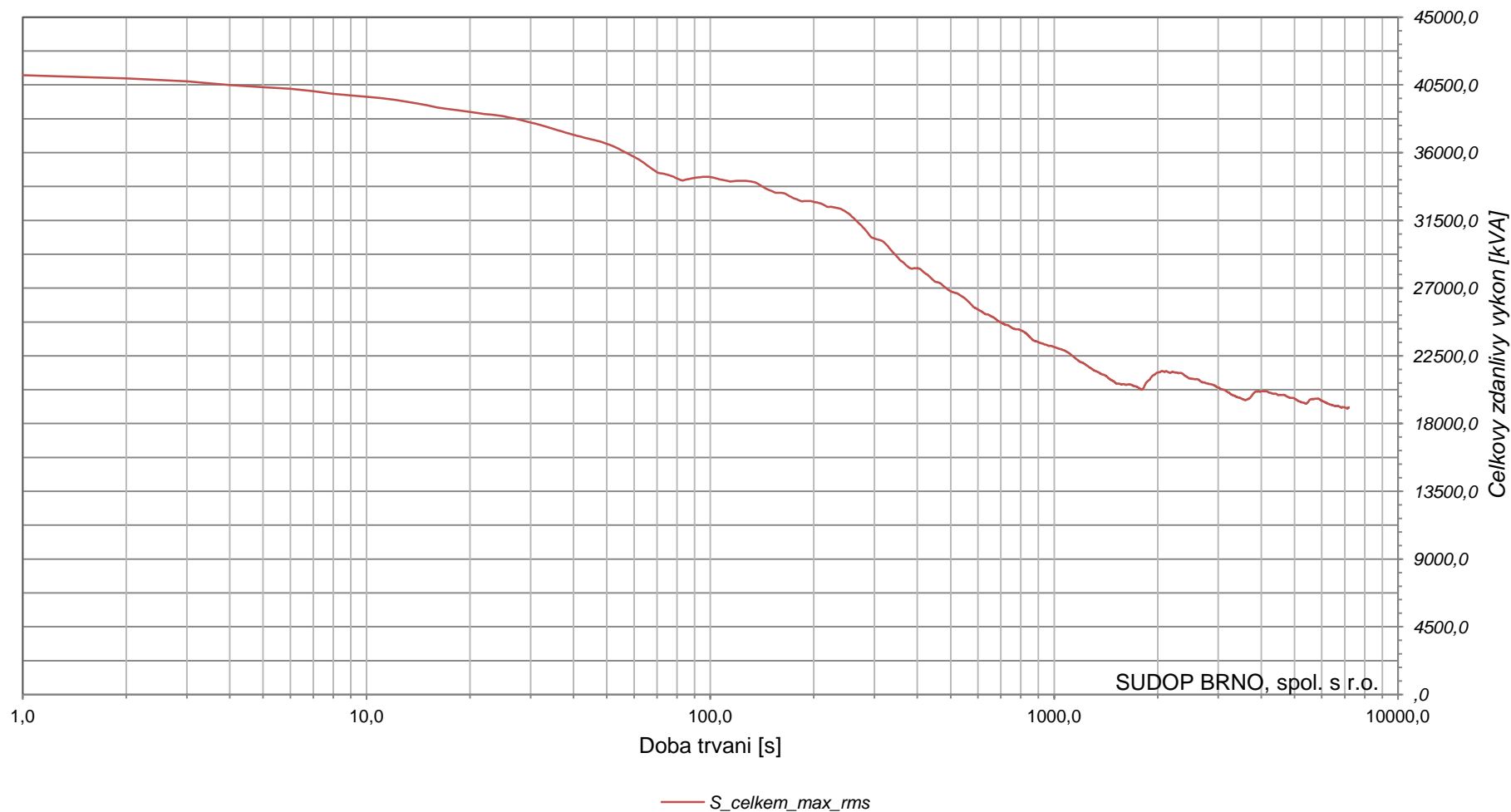
Varianta 1F – výkon TNS Modřice

Výkon TNS TT Modřice, 06:00:00 - 08:00:00

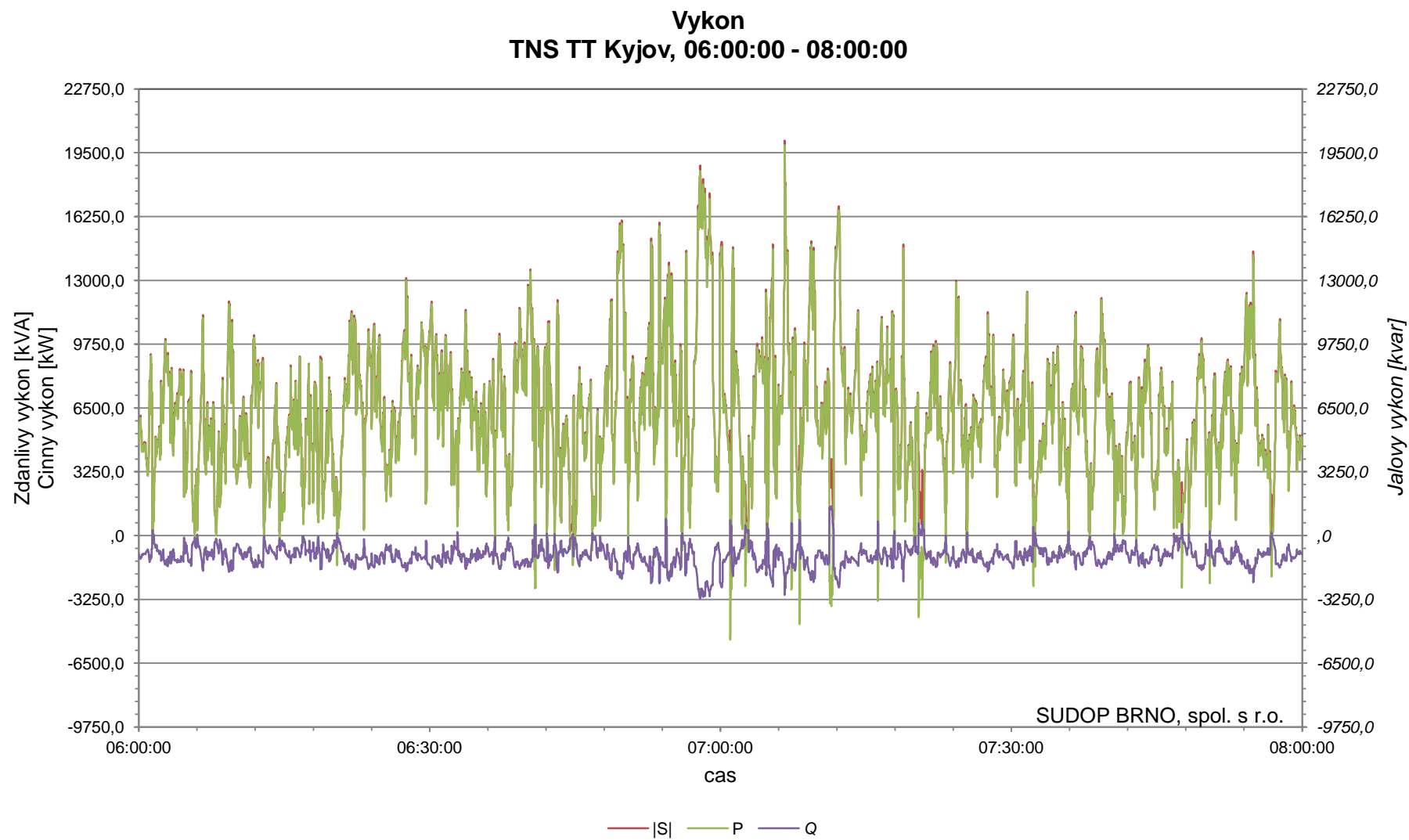


Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Modřice

Výkonové zatížení
TNS TT Modřice, 06:00:00 - 08:00:00



Varianta 1F – výkon TNS Kyjov



Varianta 1F – výkonové zatížení TNS Kyjov

vykonove zatizeni
TNS TT Kyjov, 06:00:00 - 08:00:00

