



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Doprava

Ministerstvo dopravy  
Státní fond dopravní  
infrastruktury



			ČÍSLO SOUPRAVY:
1	11/2018	Náhrada balancérů statickými měniči	
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	



**SUDOP BRNO**

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

OBJEDNAVATEL:	SŽDC, s.o., Dlážďená 1003/7, 110 00 Praha 1 Stavební správa východ (organizační jednotka)		tel. : +420 972 625 804 E-mail: sudop@sudop-brno.cz	
PROFESNÍ SKUPINA:	24 SILNOPROUD	VEDOUcí PROF. SKUPINY ING. JAN ZÁŘECKÝ <i>Galuch</i>	GENERÁLNÍ ŘEDITEL Ing. Kamil Chmela	
ODPOVĚDNÝ PROJ. ZAKÁZKY Ing. Radoslav Molák v.r.	ODPOVĚDNÝ PROJ. PS, SO ING. VÍTĚZSLAV ŠIMÁČEK <i>Šimáček</i>	NAVRHL, VYPRACOVAL ING. JIŘÍ HAJZL	KONTROLOVAL ING. JAN ZÁŘECKÝ <i>Galuch</i>	
KRAJ: Olomoucký, Zlínský		POVĚŘENÝ OÚ: Otrokovice	STUPEŇ: DÚR	
Změna trakční soustavy na AC 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice - Říkovice D.3.3,5,6 Silnoproudá technologie TNS, stanic VN/NN a stanic 6kV			ZAK. ČÍSLO 18059-01-1218	ARCH. ČÍSLO 2018240035
			MĚŘÍTKO	POČET FORMÁTŮ
			DATUM: 11/2018	
TNS Otrokovice a Říkovice - výpočet FKZ			ČÁST DOKUM. D.3.3,5,6	PŘÍLOHA 18

---

**ZPRACOVATEL**

Ing. Jiří Hajzl, náměstí Míru 187, 538 03 Heřmanův Městec – IČ: 74630946  
odborné poradenství v elektrické trakci a EMC  
+420 777 901 961 - posta@jirihajzl.cz - http://www.jirihajzl.cz

---

**ZÁKAZNÍK**

SUDOP BRNO, spol. s r.o., Kounicova 26, 611 36 Brno – IČ: 44960417

---

## **ODBORNÁ STUDIE**

### **ověření harmonických a jiných zpětných vlivů**

### **č. Z16006**

---

**SPECIFIKACE**

Cílem této studie je poskytnout kvalifikovaný odhad příspěvku budoucího harmonického zkreslení na předávacích místech mezi sítěmi obecné energetiky a trakčními sítěmi železniční dopravní cesty elektrizované střídavou trakční proudovou soustavou o nominálním napětí 25 kV a síťovém kmitočtu (50 Hz) s ohledem na plánovanou změnu trakční soustavy ze soustavy DC 3 kV na soustavu AC 25 kV 50 Hz.

Tento kvalifikovaný odhad má být mj. podkladem pro strategické rozhodnutí stran nutnosti přípravy, projekce a instalace filtračně-kompenzačního zařízení v dotčených trakčních napájecích stanicích.

Identifikace u zákazníka:

- akce: Změna trakční soustavy na AC 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice – Říkovice

---

**VYHODNOCENÍ / ZÁVĚR**

**V textu – kapitola 8 (str. 29)**

---

**PROTOKOL**

Datum vydání:  
07. 09. 2016

Autoriza

  
**Ing. Jiří HAJZL**  
nám. Míru 187, 538 03 Heřmanův Městec  
(+420) 777 901 961 – posta@jirihajzl.cz  
IČ: 746 30 946

Počet stran:	30
Počet příloh:	0
Počet výtisků:	ev
Číslo výtisku:	ev

---

**POZNÁMKY**

ev – elektronický výtisk

---

**1 ROZDĚLOVNÍK**

Výtisk	Držitel
ev	SUDOP BRNO, spol. s r.o., Kounicova 26, 611 36 Brno – IČ: 44960417

**2 OBSAH**

1	Rozdělovník .....	2
2	Obsah .....	2
3	Cíl studie .....	3
3.1	Omezení .....	3
4	Vstupní údaje a požadavky .....	3
4.1	Referenční aktuální data .....	3
4.2	Ověřovaná odběrná místa - parametry .....	3
4.2.1	TNS Otrokovice .....	3
4.2.2	TNS Říkovice .....	4
4.3	Dostupné zkratové výkony rozvoden 110 kV .....	4
4.4	Předpokládané provozní konfigurace trakčního napájení .....	4
4.4.1	TNS Otrokovice: normální provozní stav - v provozu je sousední TNS Říkovice .....	4
4.4.2	TNS Otrokovice: výluka TNS Říkovice .....	4
4.4.3	TNS Říkovice: normální provozní stav - v provozu je sousední TNS Otrokovice .....	4
4.4.4	TNS Říkovice: výluka TNS Otrokovice .....	4
4.5	Kapacita trakčního vedení 1-kolejné trati .....	5
4.6	Meze harmonických napětí způsobených harmonickými proudy .....	5
4.7	Dovolené příspěvky harmonických napětí emitovaných z TNS .....	5
4.8	Výpočtová spektra .....	5
5	Výsledky .....	5
5.1	TNS Horní Cerekev .....	6
5.2	TNS Nedakonice .....	6
5.3	TNS Nezamyslice .....	6
5.4	Grafy .....	6
5.4.1	Horní Cerekev - základní .....	7
5.4.2	Horní Cerekev – detailní .....	9
5.4.3	Nedakonice (N11) – základní .....	11
5.4.4	Nedakonice (N11) – detailní .....	13
5.4.5	Nedakonice (N12) – základní .....	15
5.4.6	Nedakonice (N12) – detailní .....	17
5.4.7	Nezamyslice – základní .....	19
5.4.8	Nezamyslice – detailní .....	21
5.5	Rozbor a vyčíslení .....	23
5.5.1	Původní (starší) EHV – odhady / rozmezí .....	23
5.5.2	Generačně novější EHV – odhady / rozmezí .....	23
6	Předpoklad harmonického působení .....	24
6.1	TNS Otrokovice, minimální zkratový výkon, pouze „původní“ EHV .....	24
6.2	TNS Otrokovice, minimální zkratový výkon, pouze „nová“ EHV .....	25
6.3	TNS Říkovice, minimální zkratový výkon, pouze „původní“ EHV .....	26
6.4	TNS Říkovice, minimální zkratový výkon, pouze „nová“ EHV .....	27
6.5	Resumé .....	27
7	Impedance na kmitočtu HDO .....	28
7.1	TNS Otrokovice .....	28
7.2	TNS Říkovice .....	28
7.3	Resumé .....	28
8	Závěr .....	29

8.1	Příspěvek harmonických .....	29
8.2	Impedance na kmitočtu HDO .....	29
8.3	Nesymetrie napájecího napětí.....	29
8.4	Kompenzace.....	29
9	Prohlášení zhotovitele.....	30

### 3 CÍL STUDIE

Cílem této studie je poskytnout kvalifikovaný odhad příspěvku budoucího harmonického zkreslení na předávacích místech mezi sítěmi obecné energetiky a trakčními sítěmi železniční dopravní cesty elektrizované střídavou trakční proudovou soustavou o nominálním napětí 25 kV a síťovém kmitočtu (50 Hz) s ohledem na plánovanou změnu trakční soustavy ze soustavy DC 3 kV na soustavu AC 25 kV 50 Hz.

Tento kvalifikovaný odhad má být mj. podkladem pro strategické rozhodnutí stran nutnosti přípravy, projekce a instalace filtračně-kompenzačního zařízení v dotčených trakčních napájecích stanicích.

#### 3.1 Omezení

Vývoj harmonického zkreslení v předávacích místech je dán mnoha faktory, které však nelze objektivně a dostatečně přesně předvídat. Zejména se jedná o rozsah provozu, zatížení daných předávacích míst, jejich dimenzování a osazení technologiemi pro úpravu odběru (filtrační a kompenzační prvky, symetrizační prvky apod.), spektrum používaných hnacích vozidel a jednotek, jejich odběrové charakteristiky a jejich jednotlivé podíly jak na celkové vazbě, tak na realizovaných výkonech.

Z tohoto důvodu může tato studie poskytnout pouze omezený kvalifikovaný odhad, založený na znalosti aktuálního stavu, příp. dosavadního vývoje, a předpokladech dalšího provozu a vývoje.

### 4 VSTUPNÍ ÚDAJE A POŽADAVKY

#### 4.1 Referenční aktuální data

Základními podklady pro zpracování této studie byly:

- data z provozního měření TNS Horní Cerekev,
- data z provozního měření TNS Nedakonice (AC část),
- data z provozního měření TNS Nezamyslice (AC část),

poskytnutá zadavatelem pro účely zpracování. V rámci těchto provozních měření byly sledovány odběrové charakteristiky sledovaných trakčních napájecích stanic vůči napájecí distribuční síti a současně odběrové charakteristiky trakčních odběrů (odběry realizované prostřednictvím trakčních napáječů.

#### 4.2 Ověřovaná odběrná místa - parametry

Jelikož v této fázi realizace je uvažováno s prvotním přechodem z DC na AC trakci v omezené (pilotní) lokalitě, jsou výpočty a požadavky vztahovány pouze k omezenému rozsahu přípojných míst – TNS Otrokovice a TNS Říkovice.

Studie tedy vychází z požadavků na dosažení mezních připojovacích charakteristik získaných od provozovatelů DS takto:

##### 4.2.1 TNS Otrokovice

TNS Otrokovice je do distribuční sítě E.ON Distribuce, a.s. připojena dvojitým vedením 110 kV (V5505 a V5508), které je napájeno z R110 kV Otrokovice. U této TNS je uvažováno s napájením 2 transformátorů (T1 a T2, každý 110/27 kV, 12 MVA) pro napájení střídavé trakce 25 kV. Pro smluvní výkon 12 MVA v TNS Otrokovice je třeba v souladu s aktuální PNE 333430-6 zajistit hodnotu impedance na tónové frekvenci hromadného dálkového ovládání 216,67 Hz minimálně 1010  $\Omega$ .



#### 4.2.2 TNS Říkovice

TNS Říkovice je do distribuční sítě ČEZ Distribuce, a.s. připojena dvojitým vedením 110 kV (V551 a V552), které je napájeno z R110 kV Prosenice a z R110 kV Otrokovice. U této TNS je uvažováno s napájením 2 transformátorů (T1 a T2, každý 110/27 kV, 25 MVA) pro napájení střídavé trakce 25 kV. Pro smluvní výkon 25 MVA v TNS Říkovice je třeba v souladu s aktuální PNE 333430-6 zajistit hodnotu impedance na tónové frekvenci hromadného dálkového ovládání 216,67 Hz minimálně 490  $\Omega$ .

#### 4.3 Dostupné zkratové výkony rozveden 110 kV

rozvodna		$S_{ks}^3$ (MVA)	$I_{ks}^3$ (kA)	$S_{ks}^1$ (MVA)	$I_{ks}^1$ (kA)	
R 110 kV Říkovice	<b>max.</b>	1321	6,93	999	5,25	současný stav
	<b>min.</b>	522	2,74	402	2,11	
	<b>max.</b>	1757	9,22	1508	7,92	
R 110 kV Otrokovice	<b>obv.</b>	3333	17,50	3450	18,30	současný stav
	<b>max.</b>	3993	21,00	3955	20,80	výhled

#### 4.4 Předpokládané provozní konfigurace trakčního napájení

##### 4.4.1 TNS Otrokovice: normální provozní stav - v provozu je sousední TNS Říkovice

V TNS Otrokovice je v provozu 1 trakční transformátor, který napájí TV k TNS Nedakonice a trať Otrokovice – Zlín - Vizovice

- TNS Otrokovice – TNS Nedakonice  $l_{TV} = 92,78$  km
- TNS Otrokovice – Vizovice  $l_{TV} = 56,00$  km
- Celková délka napájeného TV (12 MVA)  $l_{TV} = 148,78$  km

##### 4.4.2 TNS Otrokovice: výluka TNS Říkovice

V TNS Otrokovice jsou v provozu oba trakční transformátory:

Transformátor T1 napájí TV po TNS Nedakonice a trať Otrokovice – Vizovice:

- TNS Otrokovice – TNS Nedakonice  $l_{TV} = 92,78$  km
- TNS Otrokovice – Vizovice  $l_{TV} = 56,00$  km
- Celková délka napájeného TV (12 MVA)  $l_{TV} = 148,78$  km

Transformátor T2 napájí TV po TNS Říkovice

- TNS Otrokovice – TNS Říkovice  $l_{TV} = 90,30$  km
- Celková délka napájeného TV (12 MVA)  $l_{TV} = 90,30$  km
- Souhrnná délka napájeného TV (24 MVA)  $l_{TV} = 239,08$  km

##### 4.4.3 TNS Říkovice: normální provozní stav - v provozu je sousední TNS Otrokovice

V TNS Říkovice je v provozu 1 trakční transformátor, který napájí TV k TNS Otrokovice

- TNS Říkovice – TNS Otrokovice  $l_{TV} = 90,30$  km
- TNS Říkovice – TNS Otrokovice  $l_{TVZESIL} = 2 * 20,5 = 41,00$  km
- Celková délka napájeného TV (24 MVA)  $l_{TV} = 131,30$  km

##### 4.4.4 TNS Říkovice: výluka TNS Otrokovice

V TNS Říkovice je v provozu 1 trakční transformátor, který napájí TV k TNS Nedakonice a trať Otrokovice – Zlín - Vizovice

- TNS Říkovice – TNS Otrokovice  $l_{TV} = 90,30$  km
- TNS Říkovice – TNS Otrokovice  $l_{TVZESIL} = 2 * 20,5 = 41,00$  km
- TNS Otrokovice – TNS Nedakonice  $l_{TV} = 92,78$  km
- TNS Otrokovice – Vizovice  $l_{TV} = 56,00$  km
- Celková délka napájeného TV (24 MVA)  $l_{TV} = 280,08$  km

#### 4.5 Kapacita trakčního vedení 1-kolejné trati

$$C_{1TV} = 15 \text{ nF/km}$$

#### 4.6 Meze harmonických napětí způsobených harmonickými proudy

Meze harmonických napětí způsobených harmonickými proudy, které jsou emitované z TNS (podklad Hlava – Kremláček)

řád harmonické	maximální přípustná hodnota $u_h$ pro rezervovaný příkon Si (%)
3	0,490
5	0,732
7	0,732
9	0,366
11	0,742
13	0,742

#### 4.7 Dovolené příspěvky harmonických napětí emitovaných z TNS

Příspěvky harmonických nesmí, dle vyjádření ČEZ Distribuce, a.s., překročit 50 % limitní úrovně dle normy ČSN EN 50160 ed. 3.

#### 4.8 Výpočtová spektra

Pro kontrolu činitele zkreslení napětí se aktuálně uvažuje dále uvedené spektrum S1 a pro proudové a napěťové dimenzování prvků filtrů filtračně-kompenzačního zařízení se uvažuje dále uvedené spektrum S2 proudu trakčního obvodu (podklad Hlava – Kremláček a SŽDC TKP33):

harmonická složka	spektrum S1	spektrum S2
$I_3$ [%]	25	35
$I_5$ [%]	10	25
$I_7$ [%]	5	15
$I_9$ [%]	3	12
$I_{11}$ [%]	2	10
$I_{13}$ [%]	1	9

## 5 VÝSLEDKY

Prvotně byla provedena analýza poskytnutých retenčních dat. V rámci této analýzy byl sledován obsah harmonických složek v závislosti na realizovaném činném odběru. K analýze byly použity harmonické složky odběrových proudů, protože tyto jsou zjevným produktem EHV a na rozdíl od harmonických složek napětí v trakčním vedení (resp. napětí sběrný 27 kV) nejsou významně ovlivněny funkcí FKZ ani aktuálním stavem sítě, tj. obsahem harmonických v napájecí síti.

Pro analýzu byl použit závislostní model, kdy je vyhodnocována závislost (existence a charakter závislosti) sledované veličiny na jiné veličině, tedy nikoli v časové oblasti. Ve všech případech byly závislosti vyhodnocovány vůči realizovanému činnému odběru základní harmonické sledovaného napáječe. Tímto postupem byl eliminován případný zkreslující vliv kapacitních odběrů trakčního vedení.

Analýze byly podrobeny základní poměrné ukazatele kvality odebírané elektrické energie, resp. možného ovlivnění napájecí distribuční sítě, vztažené vždy k hodnotě celkového odebíraného proudu – celkové harmonické zkreslení proudu (THDi) a harmonické složky proudů ( $I[\%]_{Hn}$ ) řádů 3 – 9.

### 5.1 TNS Horní Cerekev

TNS Horní Cerekev se nachází na jednokolejné železniční trati Jihlava – Veselí nad Lužnicí (číslo trati dle KJŘ: 225). Trať je využívána jak osobní dopravou, tak i nákladní dopravou, kde tvoří významnou spojnici pro tranzitní dopravu z žst. Kolín příp. žst. Nymburk ve směru na pohraniční přechodové body Horní Dvořiště – Summerau a České Velenice – Gmünd.

V rámci měření jsou dostupná data jak z TNS jako celek vůči distribuční síti, tak i za jeden z napáječů (druhý nebyl měřen). Dle dostupných dat není tato trať však významně zatížena (vlaky jsou vedeny ve vhodných časových odstupech, v napájeném úseku napáječe se obvykle nachází pouze jeden vlak pod trakčním odběrem), pročež lze data a jejich analýzu považovat za vysoce přínosná.

### 5.2 TNS Nedakonice

TNS Nedakonice se nachází na dvoukolejné železniční trati Přerov – Břeclav (číslo trati dle KJŘ: 330), kde zajišťuje koncové napájení od styku se stejnosměrnou trakční proudovou soustavou v žst. Nedakonice po SpS Rohatec resp. TNS Břeclav. Trať je silně využívána jak osobní tak i nákladní dopravou ramene PL – CZ – SK / A.

V rámci měření jsou dostupná data jak za TNS jako celek vůči distribuční síti, tak i za oba napáječe (N11 – 1TK, N12 – 2TK). Z dostupných dat je zatížení trati zjevné jako významné s relativně nízkým absolutním, avšak vysokým souhrnným zatížením – ze sledovaných napáječů je ve většině případů napájeno více rozličných odběrů (EHV) současně, pročež je nutno relevantně přistupovat k vypovídací hodnotě dat a analýz.

### 5.3 TNS Nezamyslice

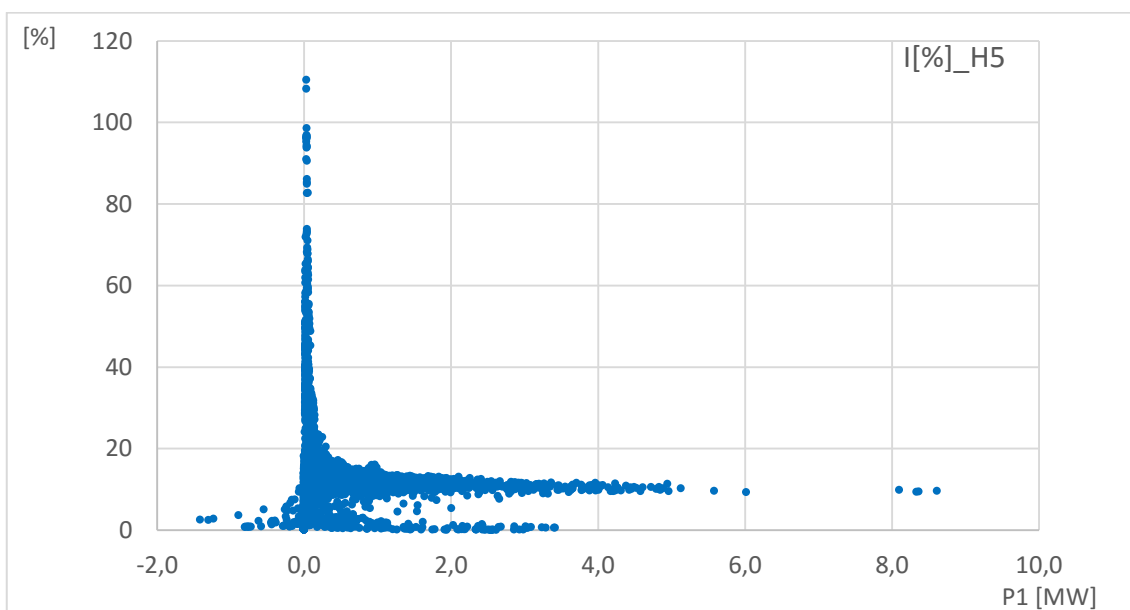
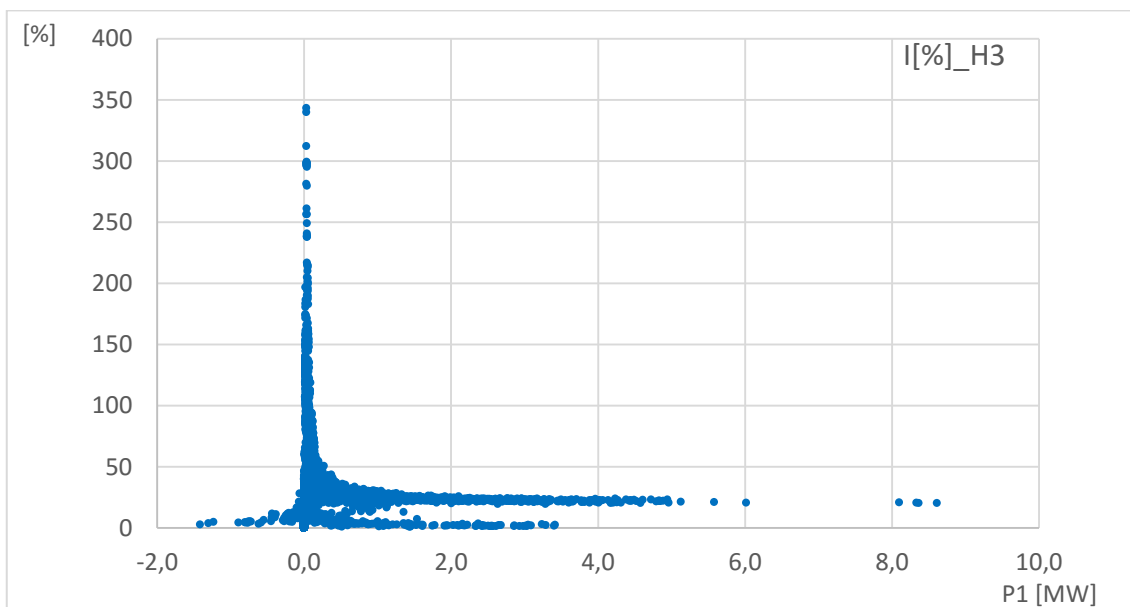
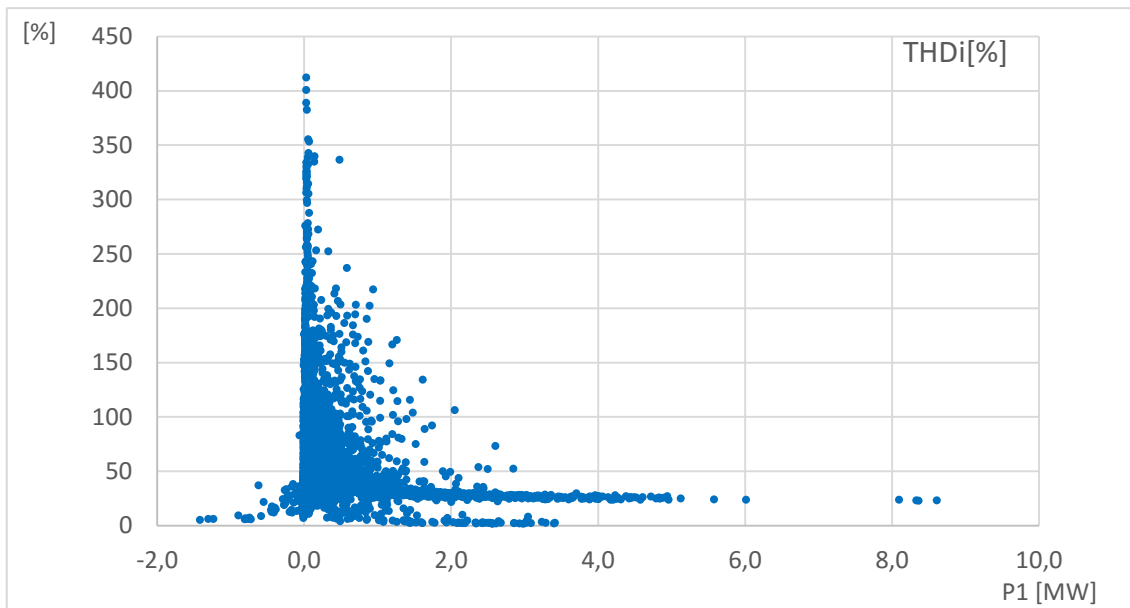
TNS Nezamyslice se nachází na jednokolejné železniční trati Přerov - Brno (číslo trati dle KJŘ: 300) kde zajišťuje koncové napájení od styku se stejnosměrnou trakční proudovou soustavou u žst. Nezamyslice po SpS Křenovice resp. TNS Modřice. Trať je využívána jak osobní dopravou, tak i nákladní dopravou, kde tvoří významnou spojnici železničních uzlů Přerov a Brno.

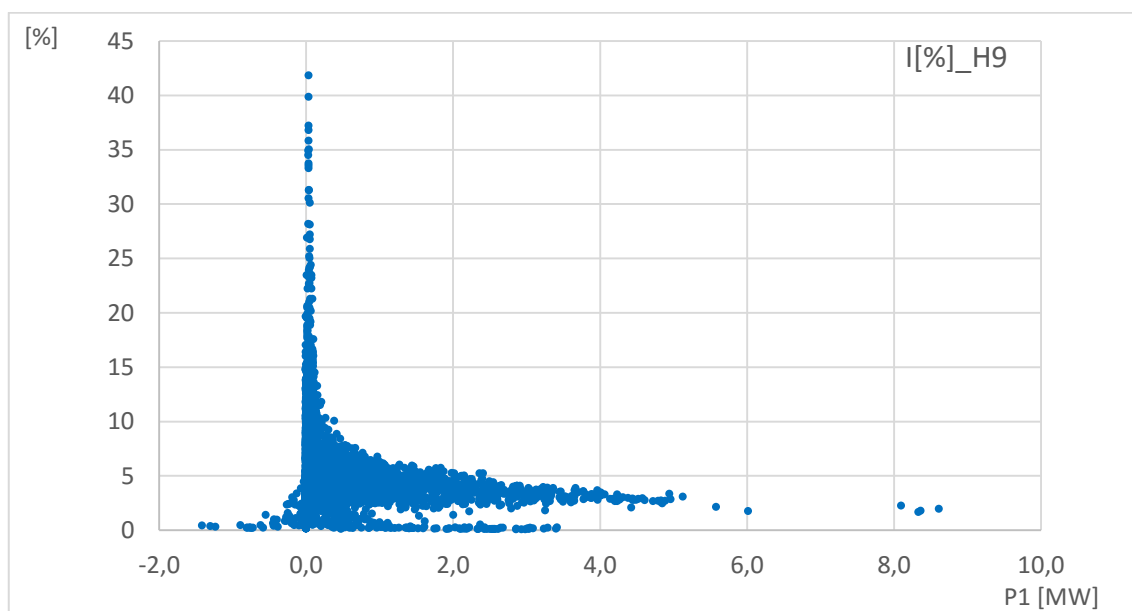
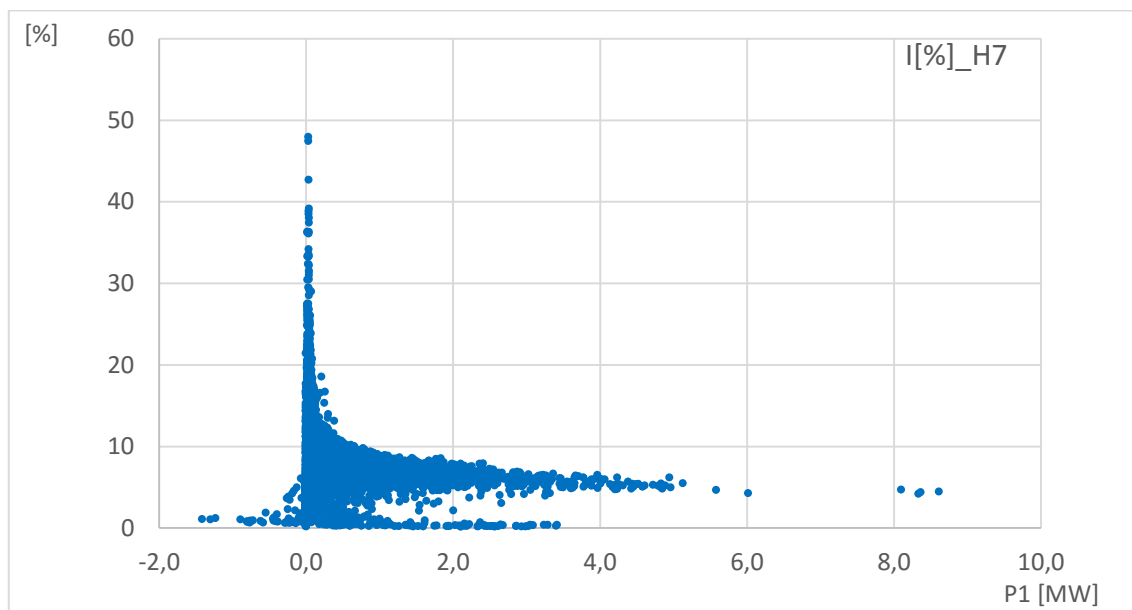
V rámci měření jsou dostupná data jak z TNS jako celek vůči distribuční síti, tak i za jediný osazený a provozovaný napáječ. Dle dostupných dat není tato trať však významně zatížena (vlaky jsou vedeny ve vhodných časových odstupech, v napájeném úseku napáječe se obvykle nachází pouze jeden vlak pod trakčním odběrem), pročež lze data a jejich analýzu považovat za přínosná.

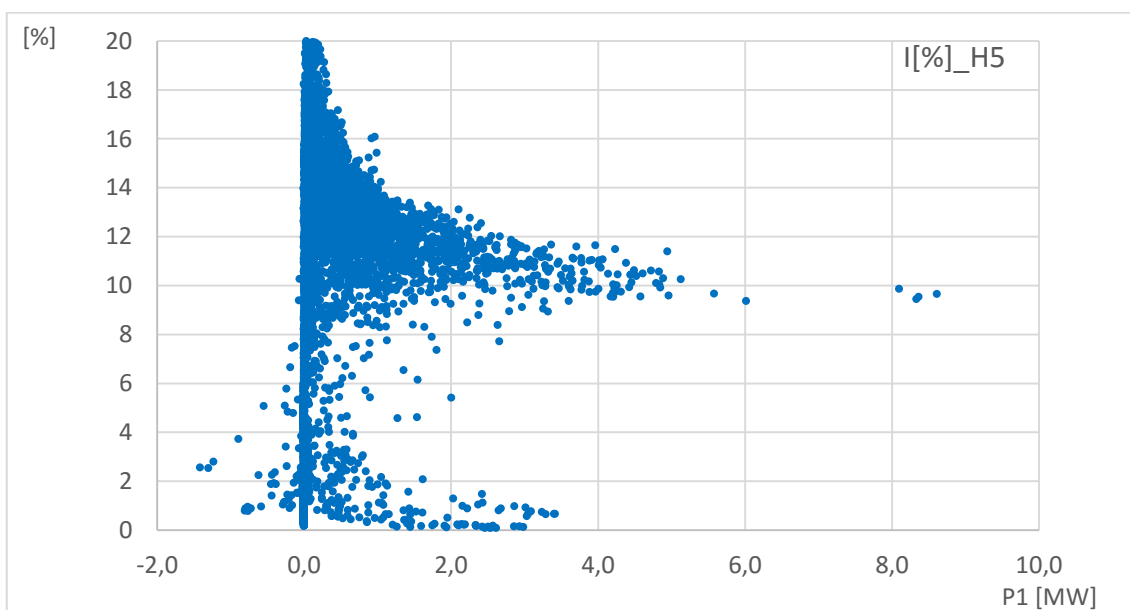
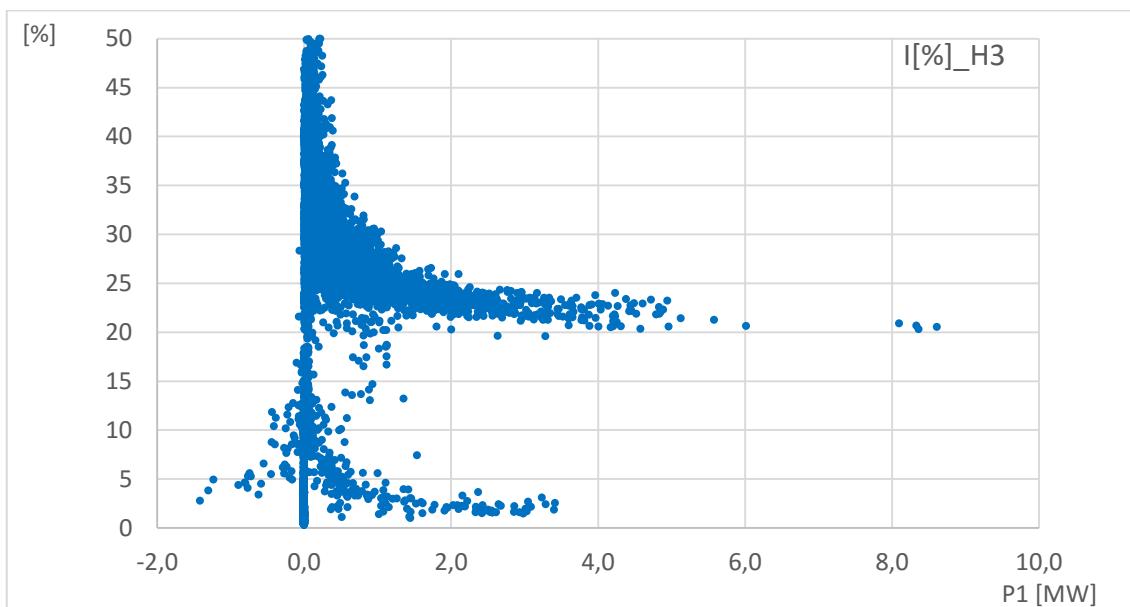
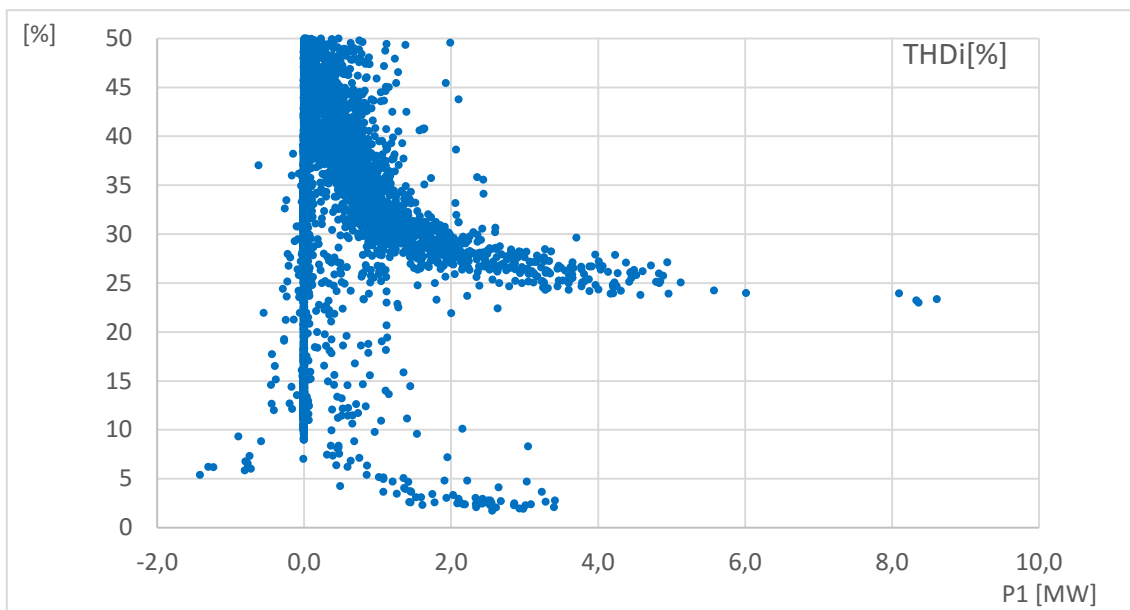
### 5.4 Grafy

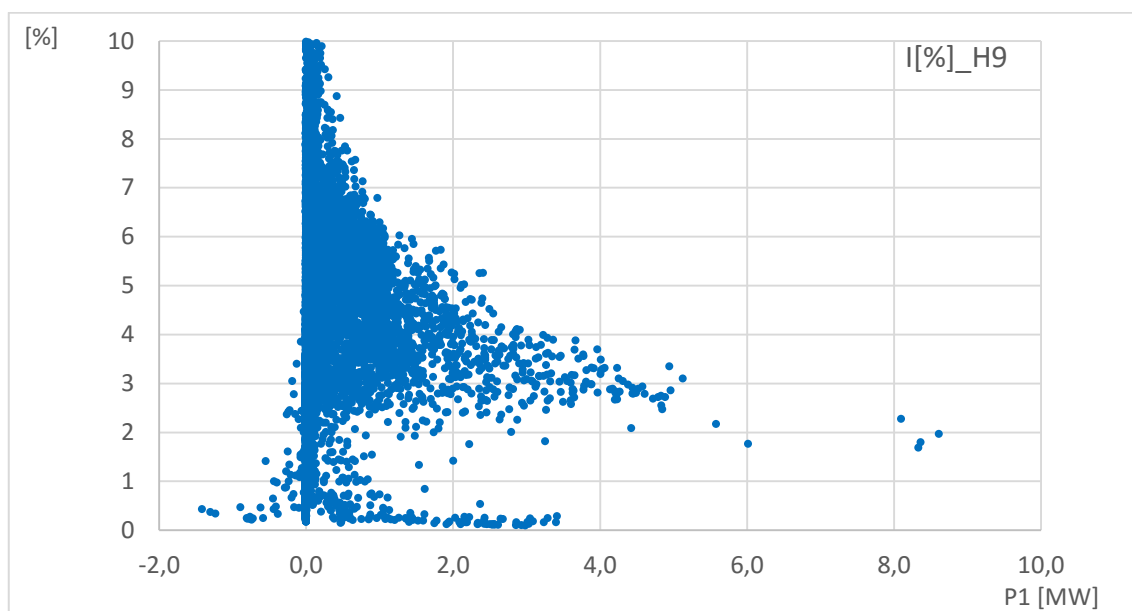
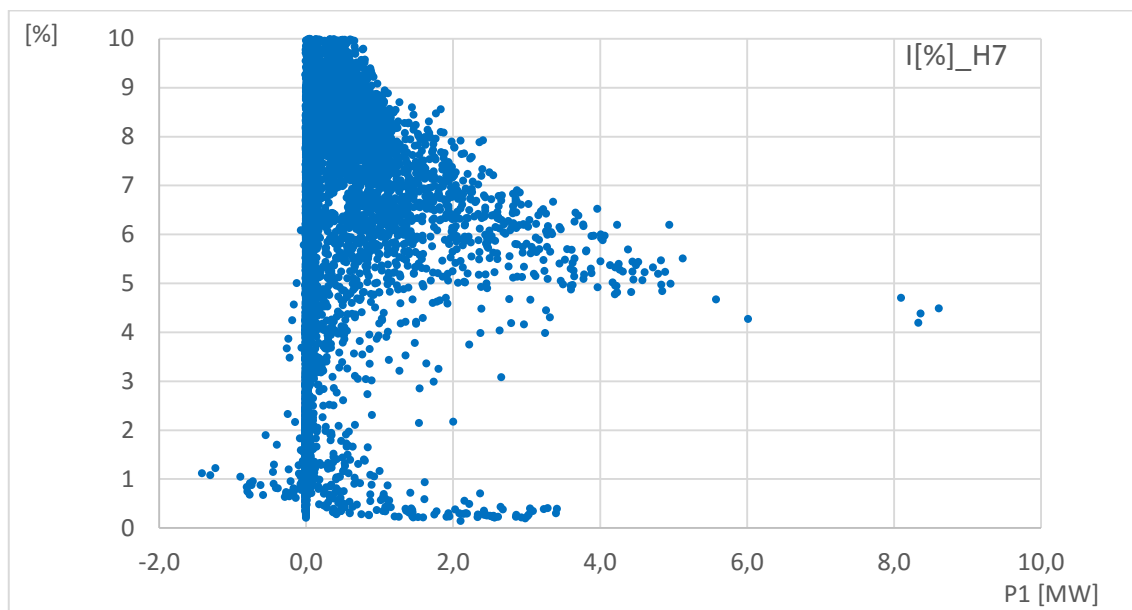
Dále jsou pro jednotlivé sledované referenční TNS a sledované veličiny uvedeny příslušné závislostní grafy a to jak v základním rozlišení, tak i detailu. V detailním rozlišení jsou pominuty extrémní hodnoty poměrných veličiny vyskytující se při nízkých odebíraných výkonech, kdy díky nízkému celkovému proudu mohou i absolutně nízké hodnoty harmonických proudů nabývat vysokých relativních hodnot. Zobrazeny jsou klíčové úseky, tedy hodnoty řádově od 0 % do 10/20/50 % (dle typu veličiny).

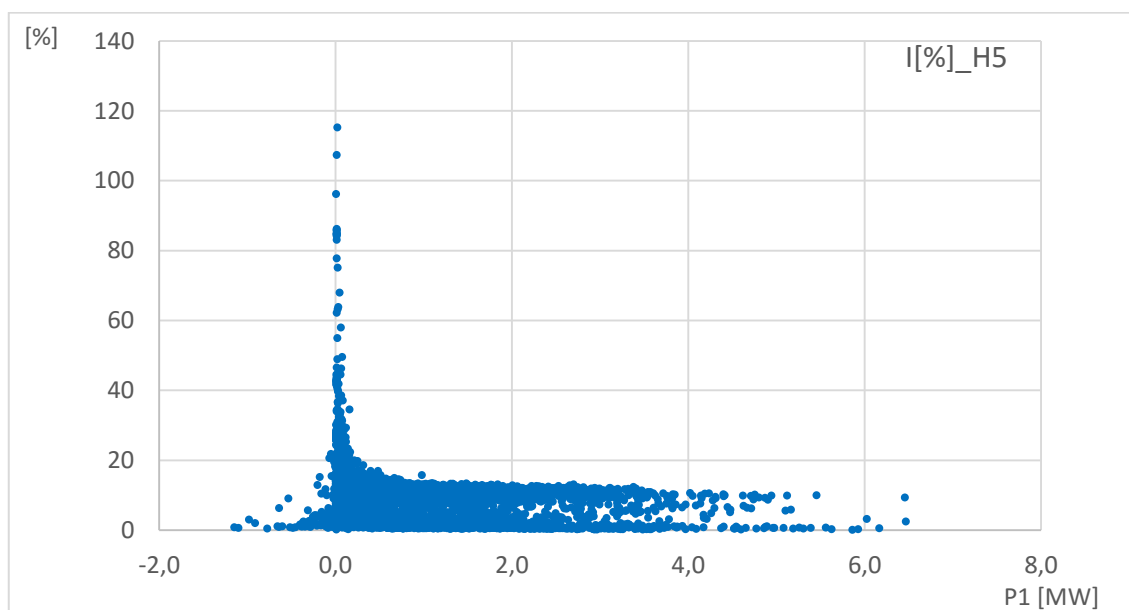
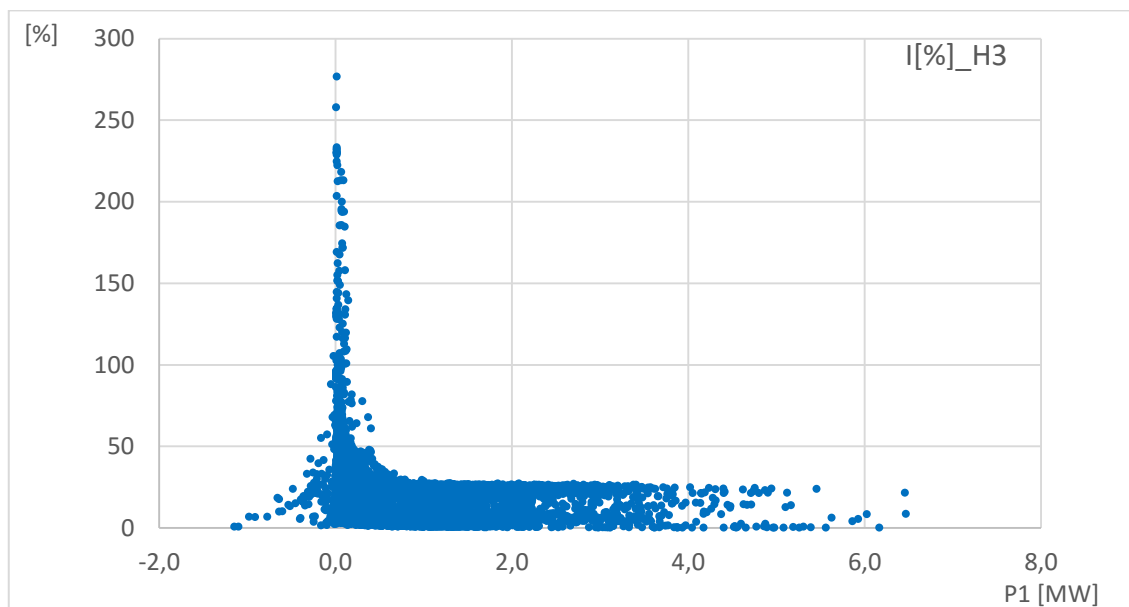
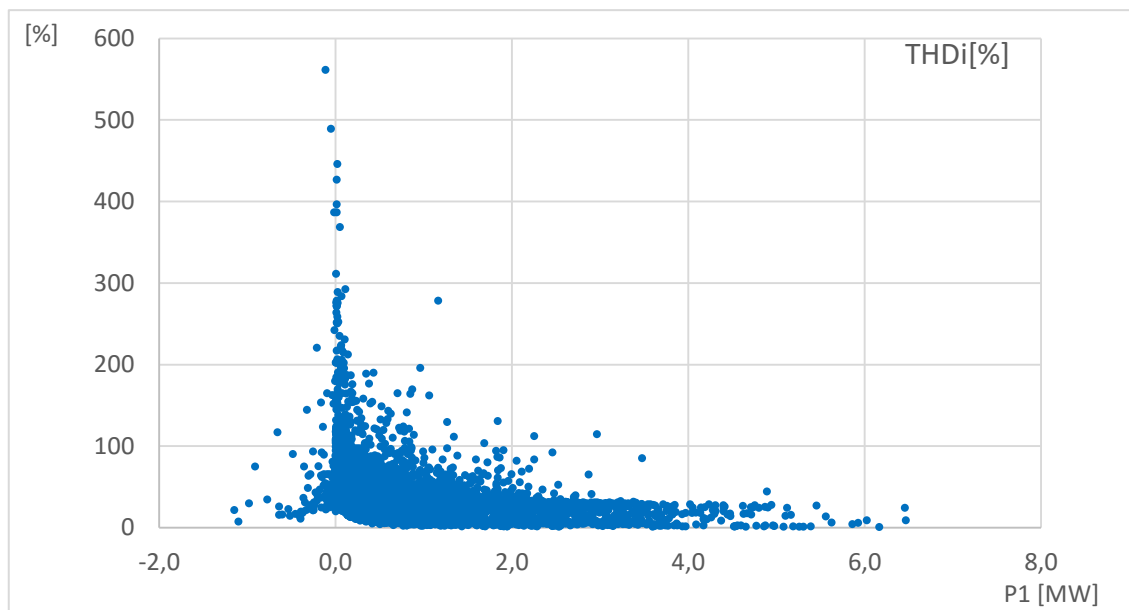
---

5.4.1 Horní Cerekev - základní

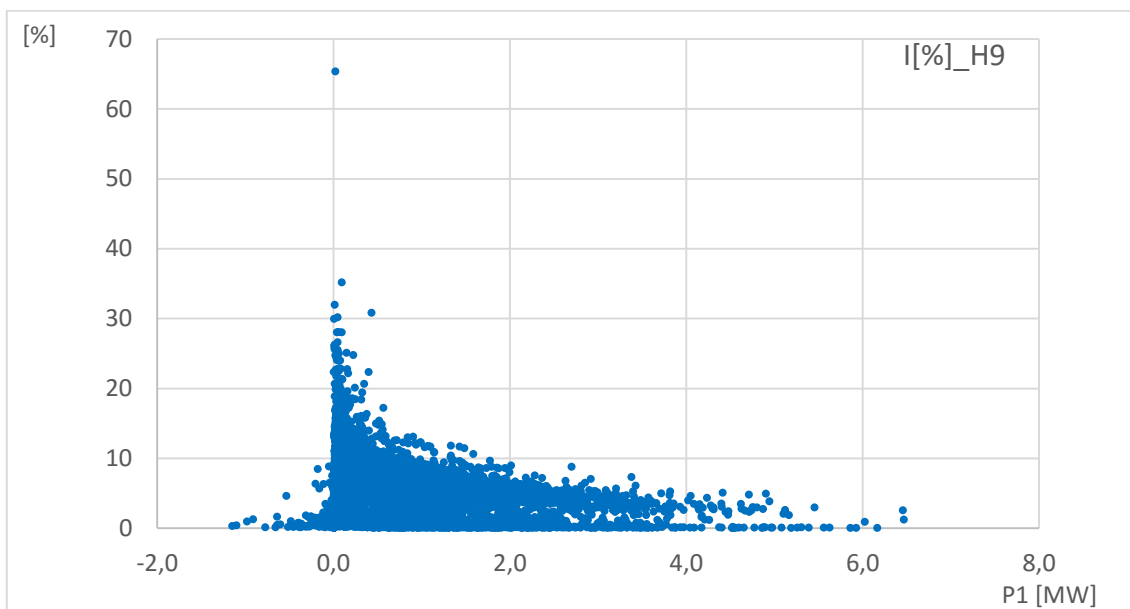
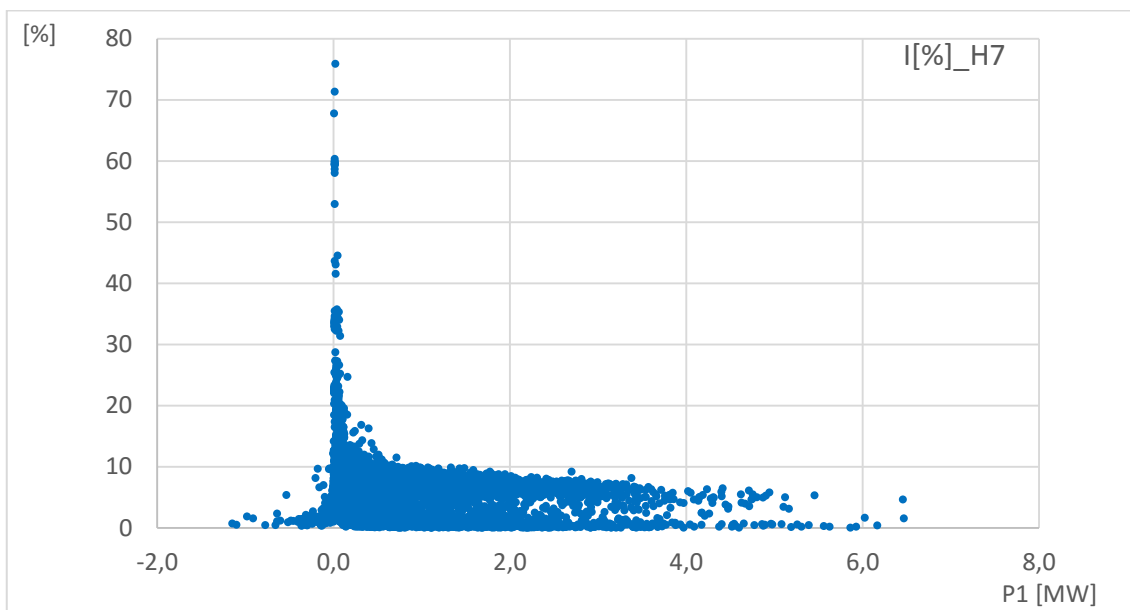


5.4.2 Horní Cerekev – detailní

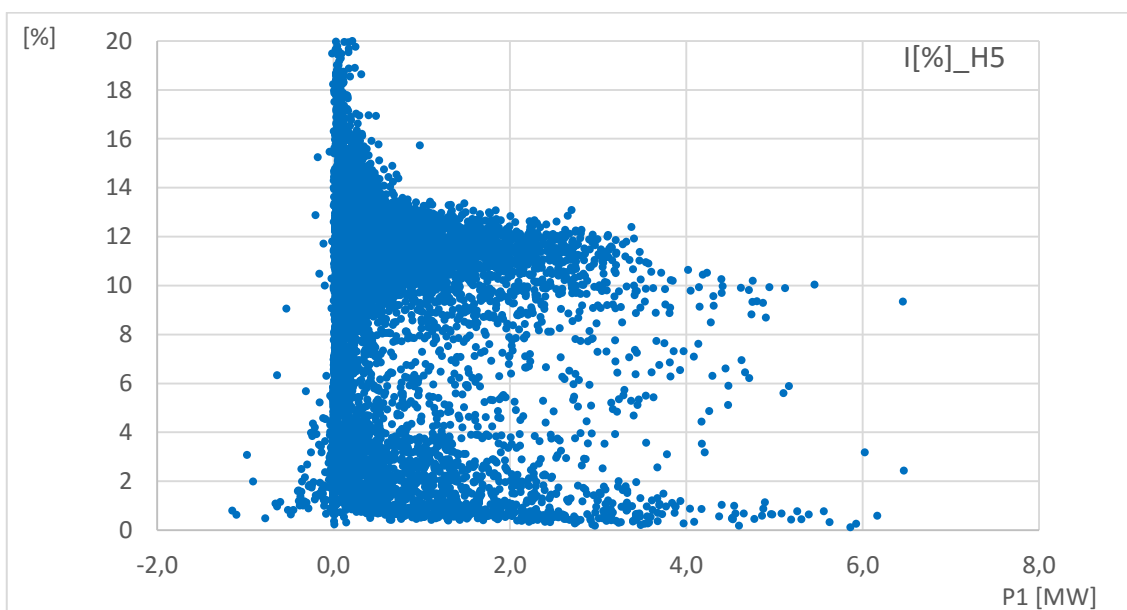
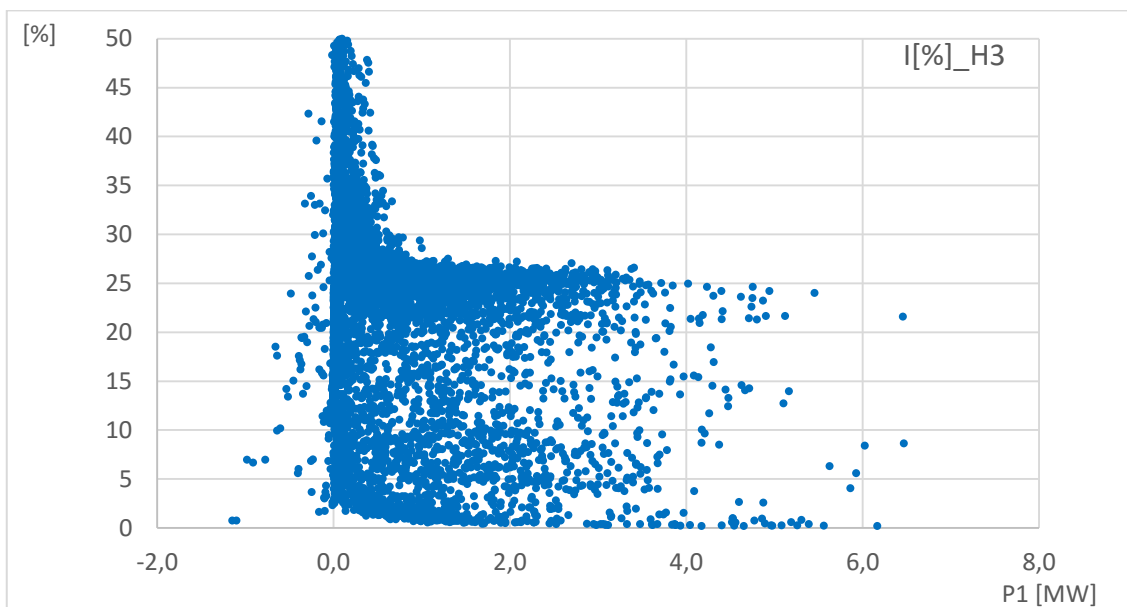
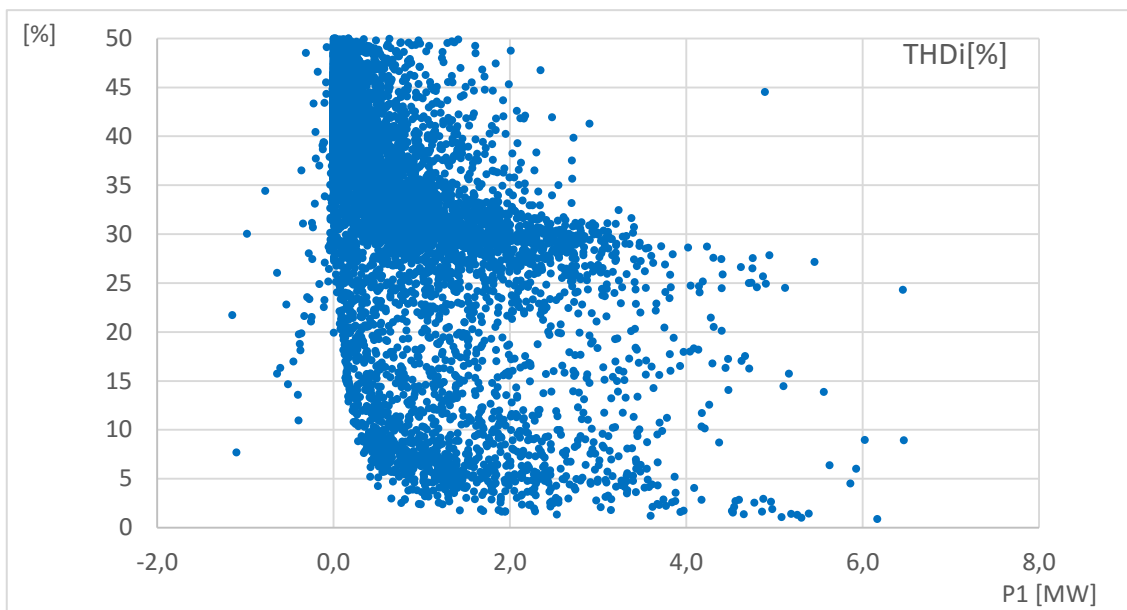


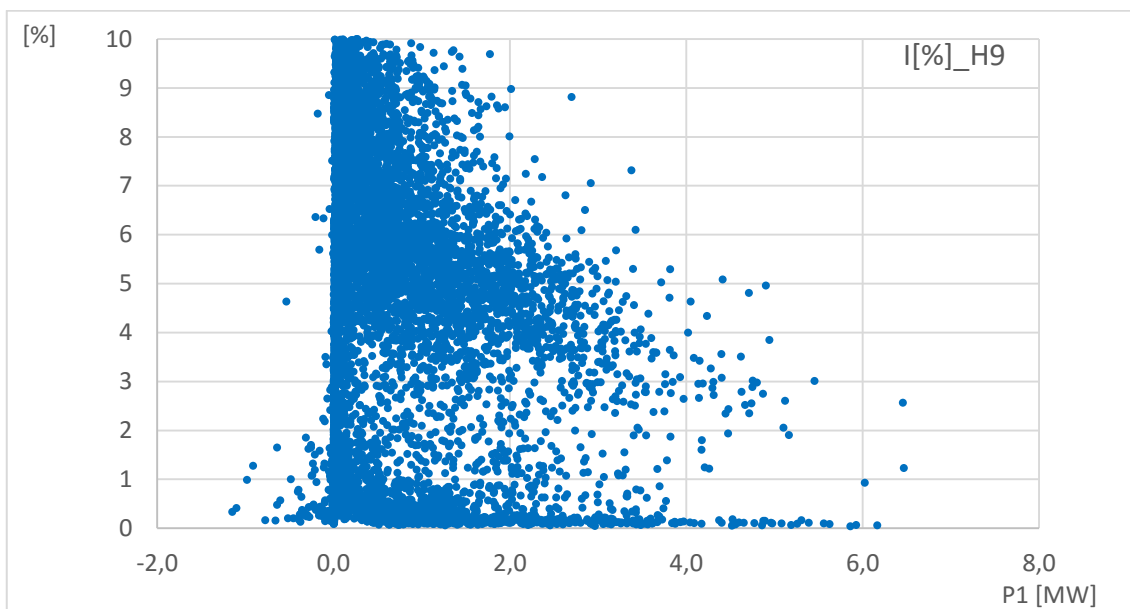
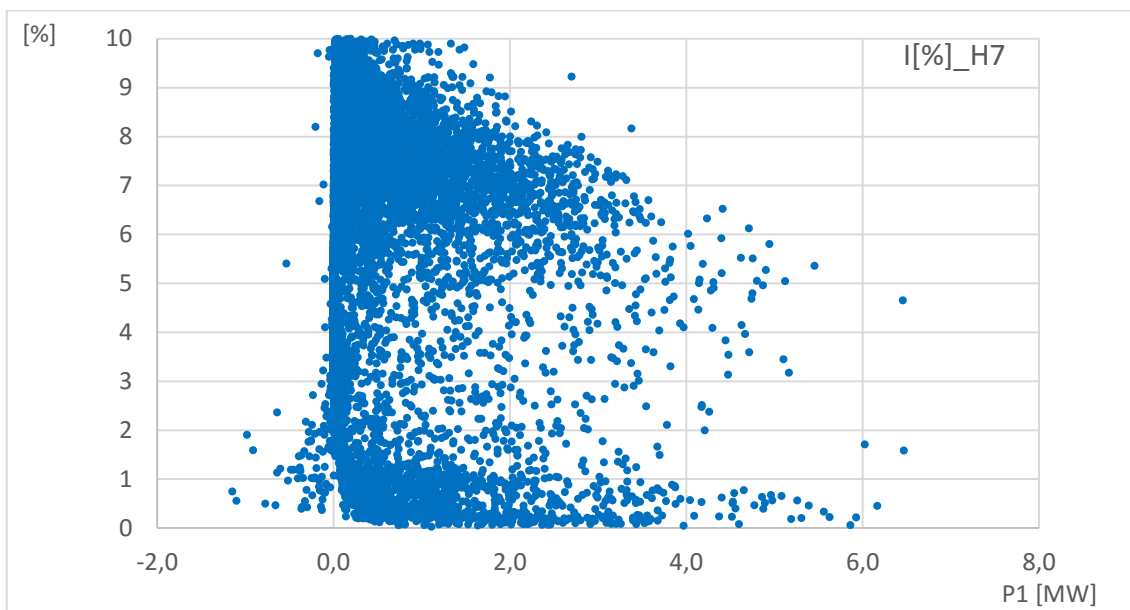
5.4.3 Nedakonice (N11) – základní

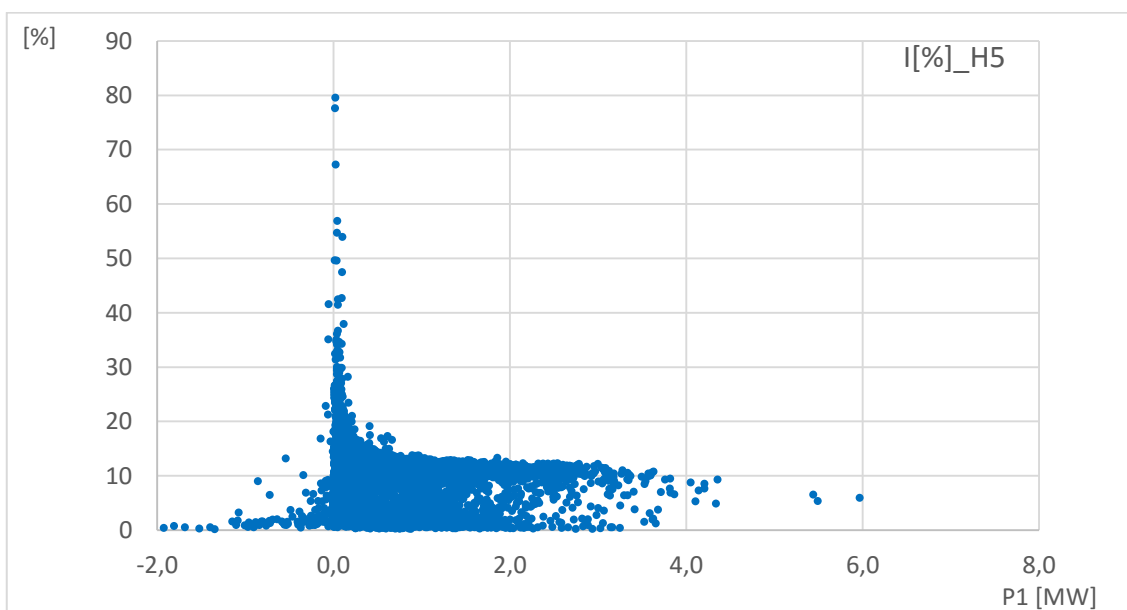
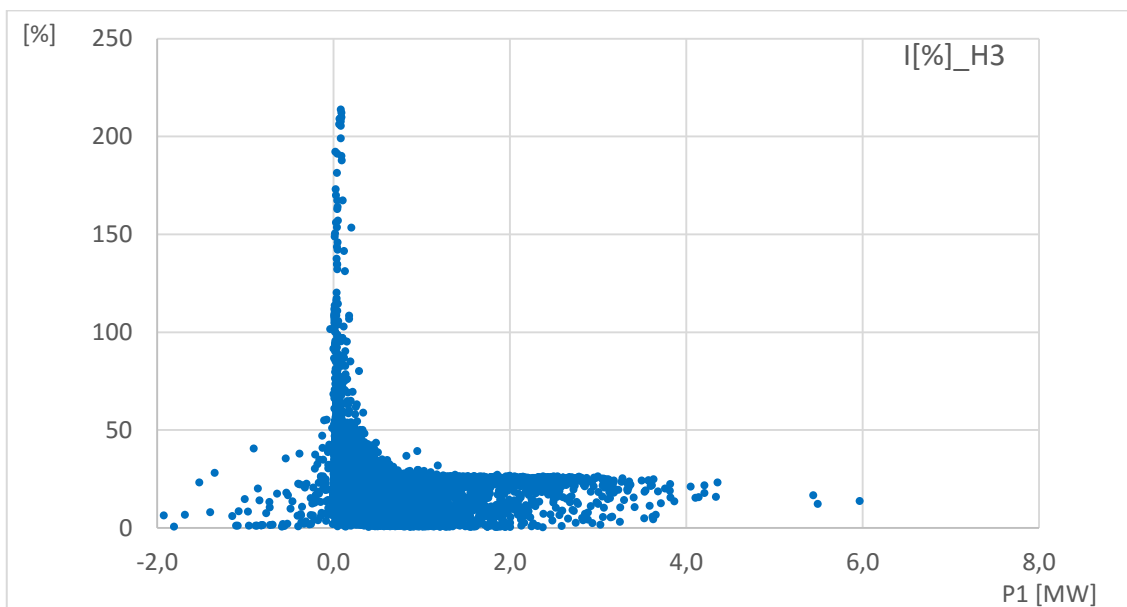
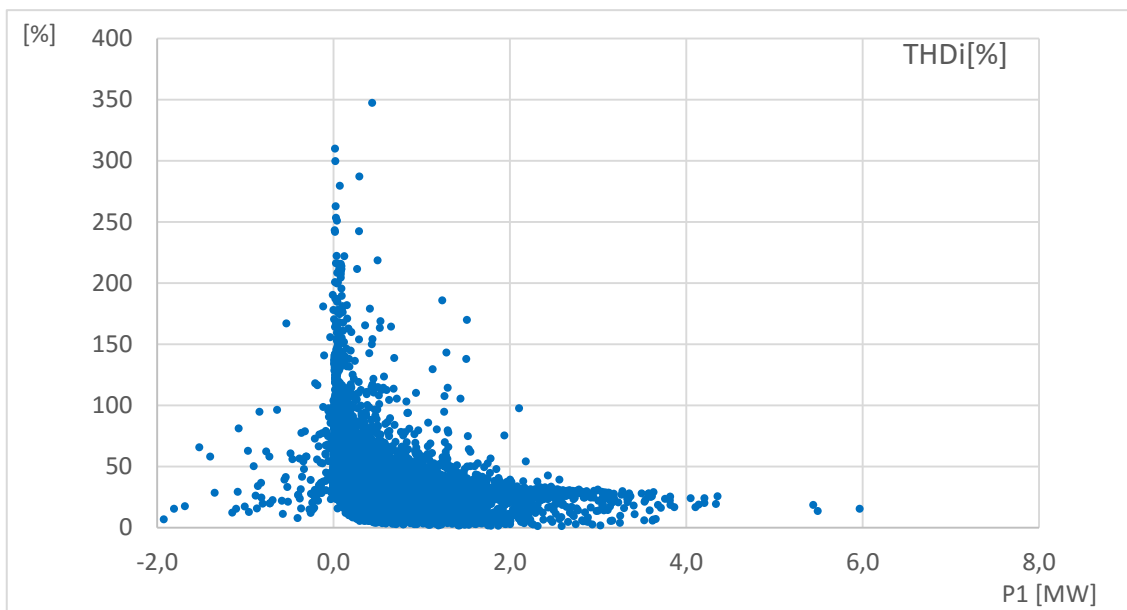


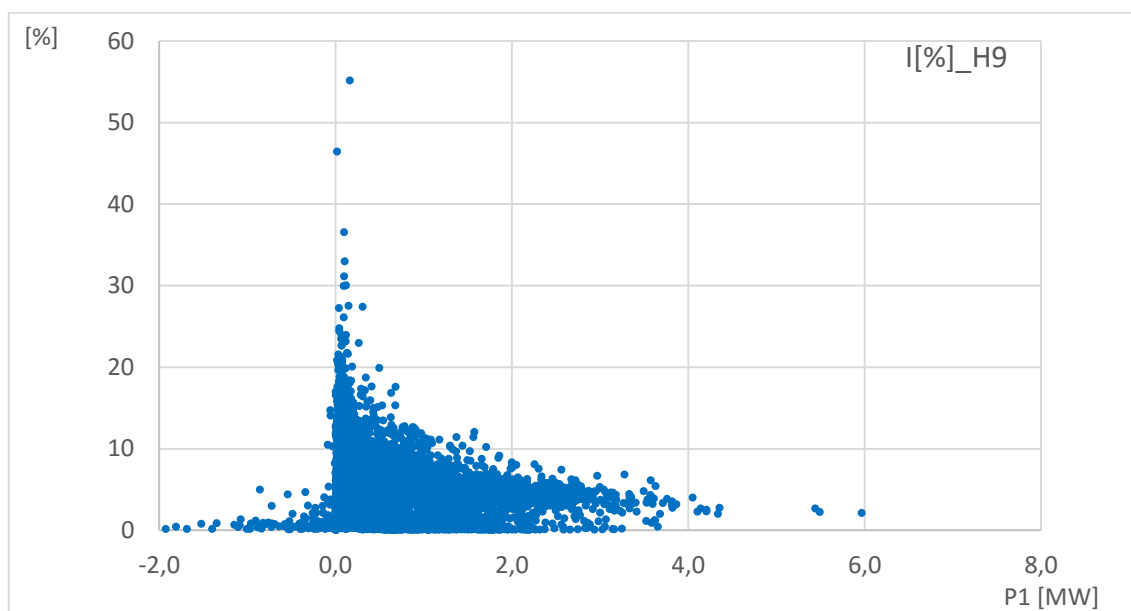
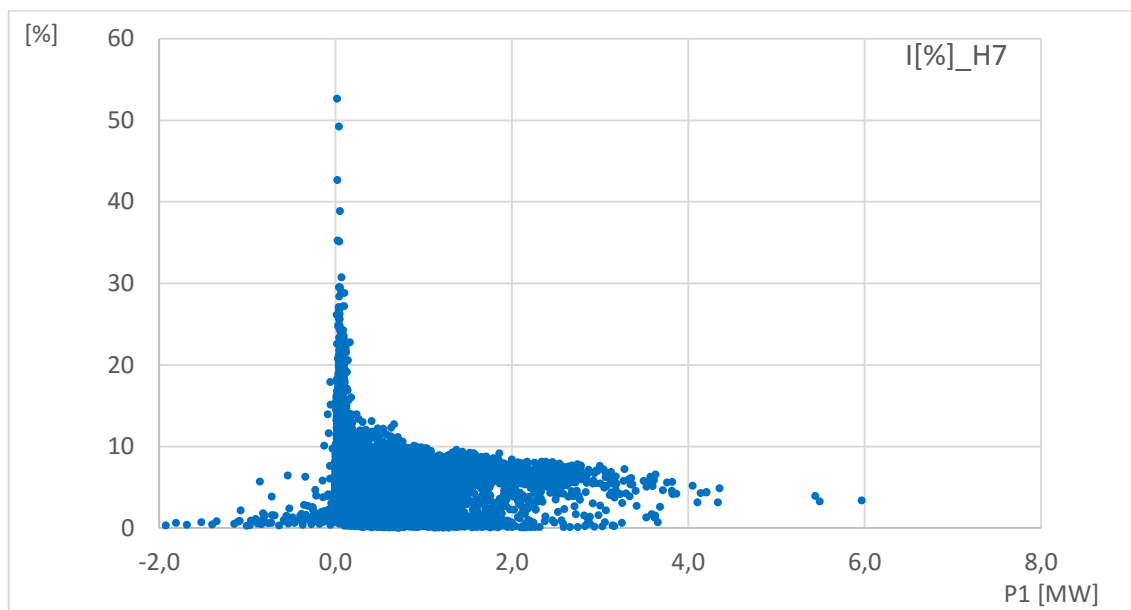


## 5.4.4 Nedakonice (N11) – detailní

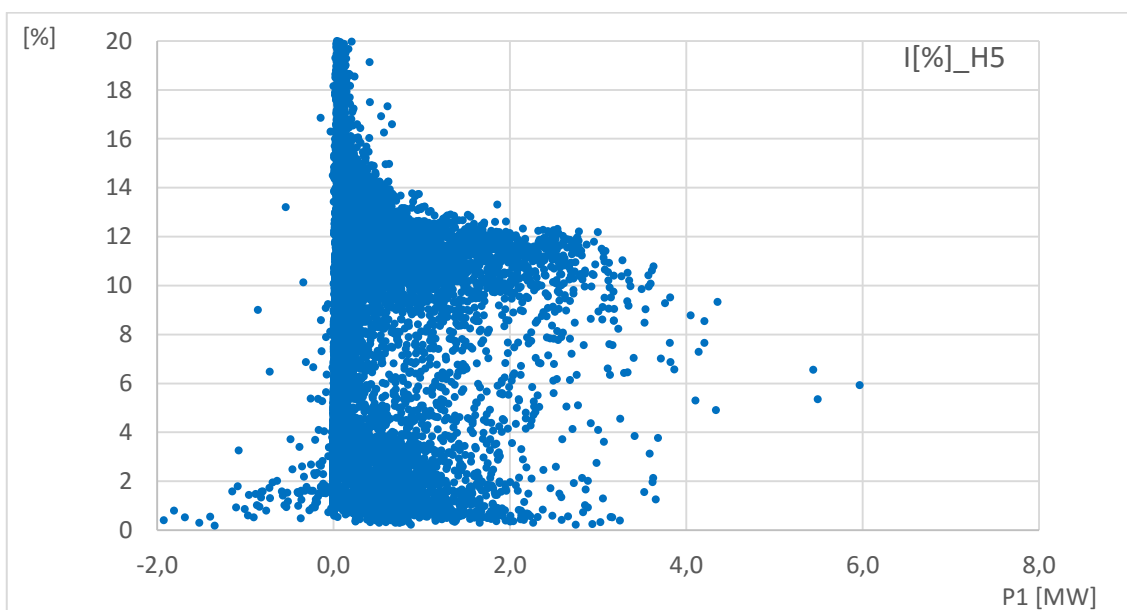
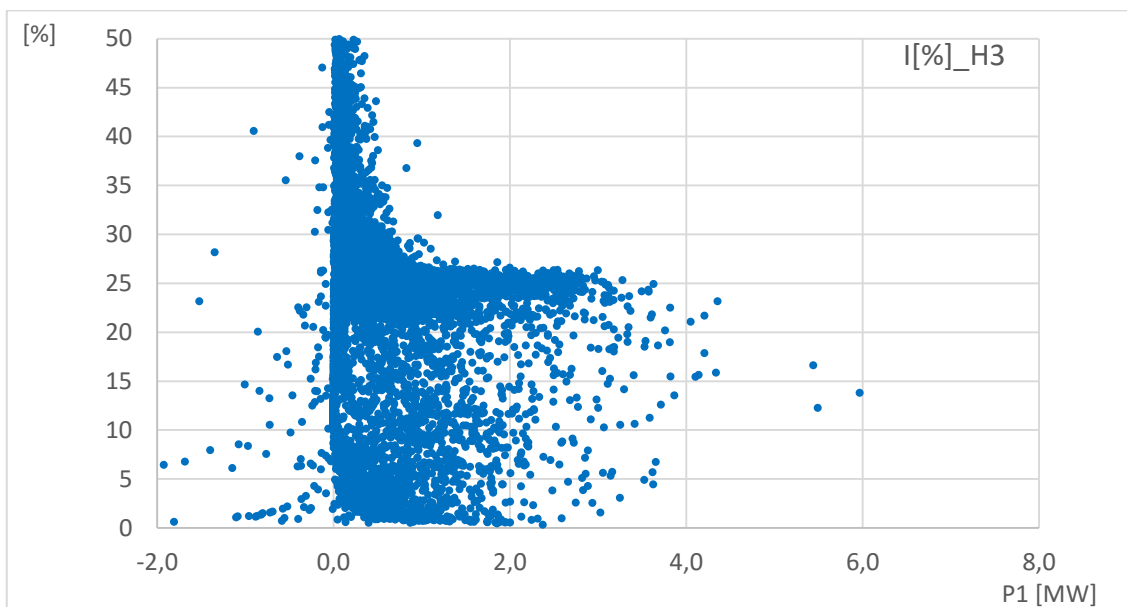
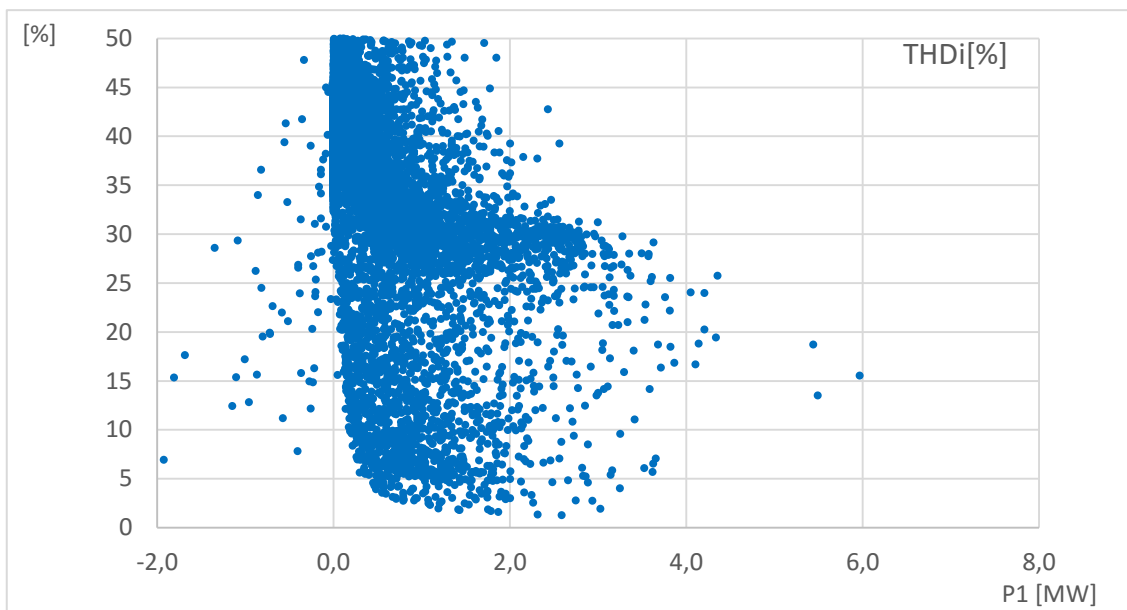


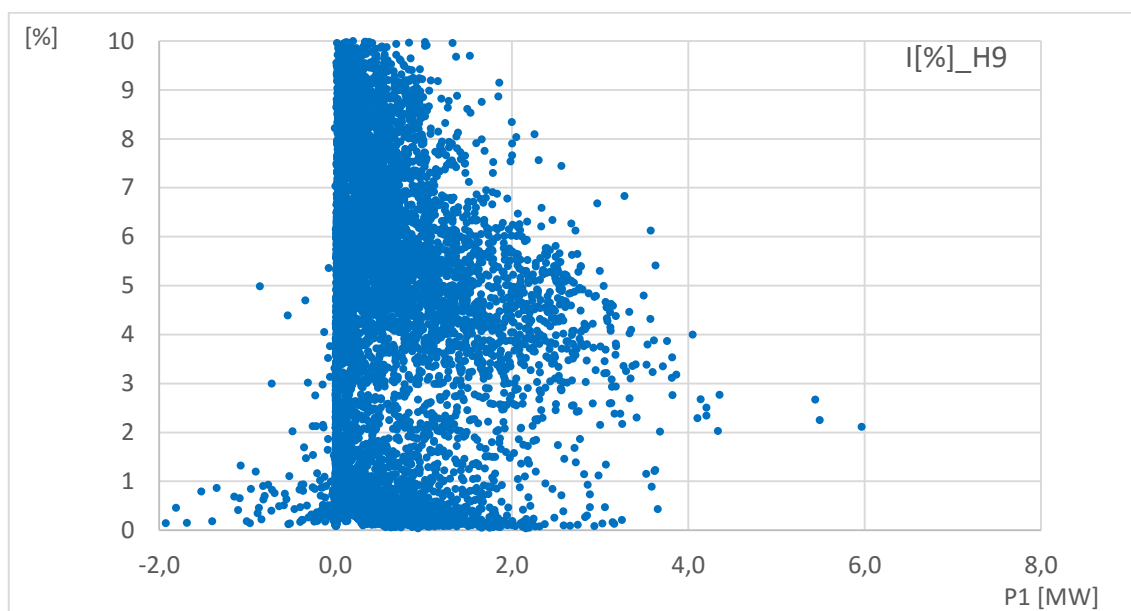
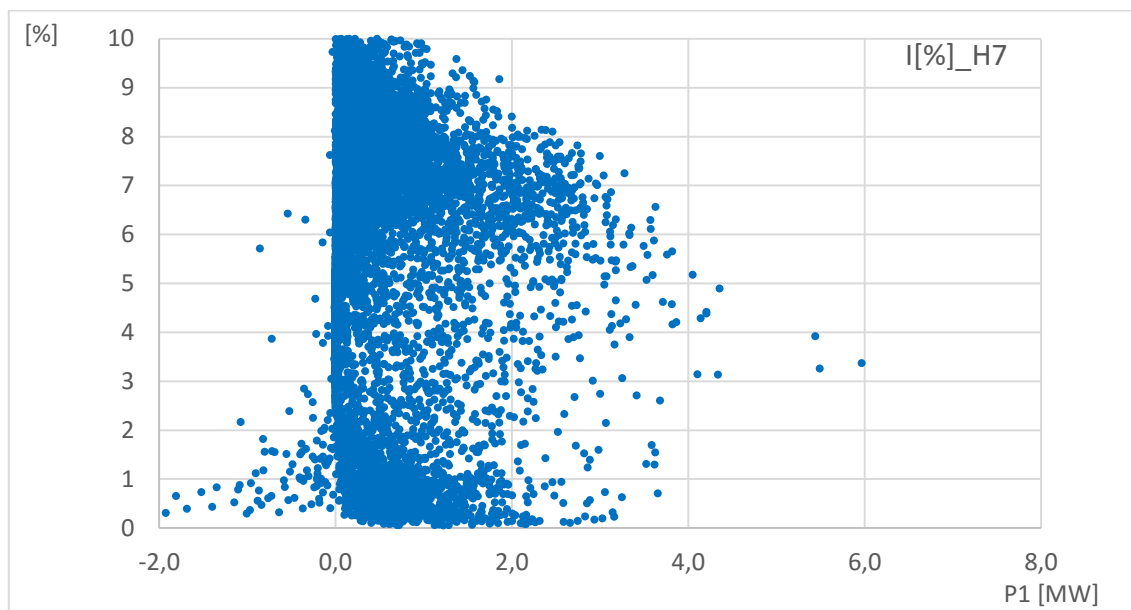


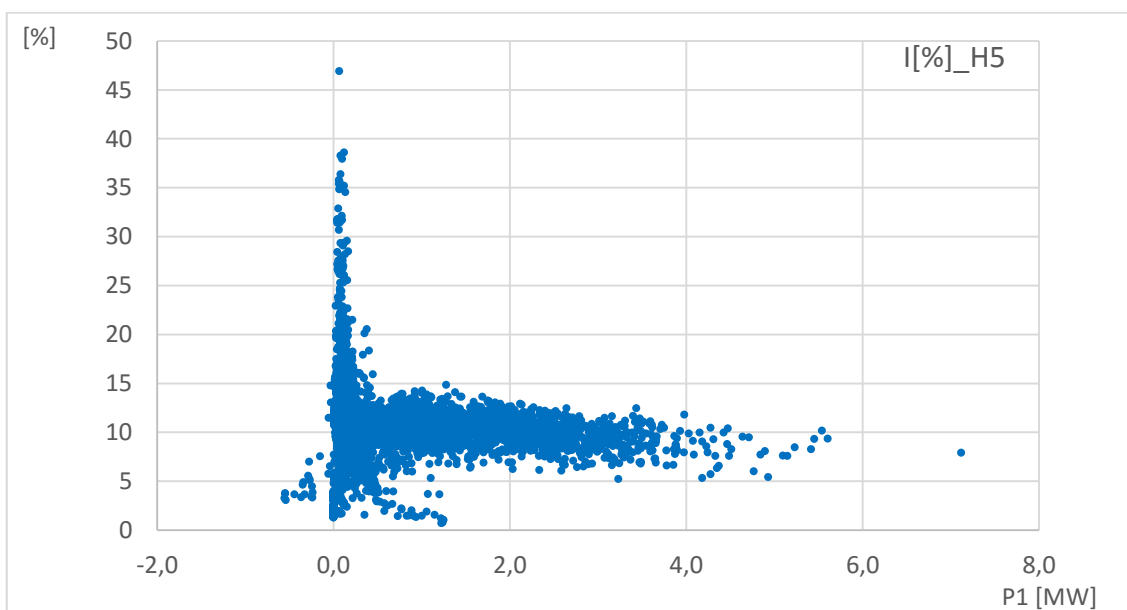
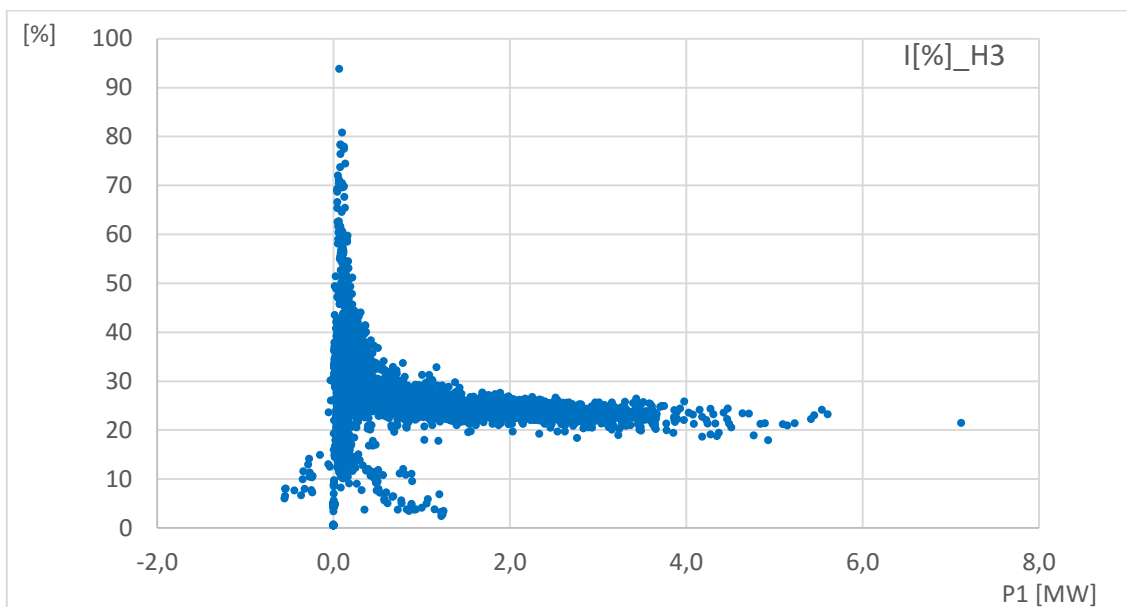
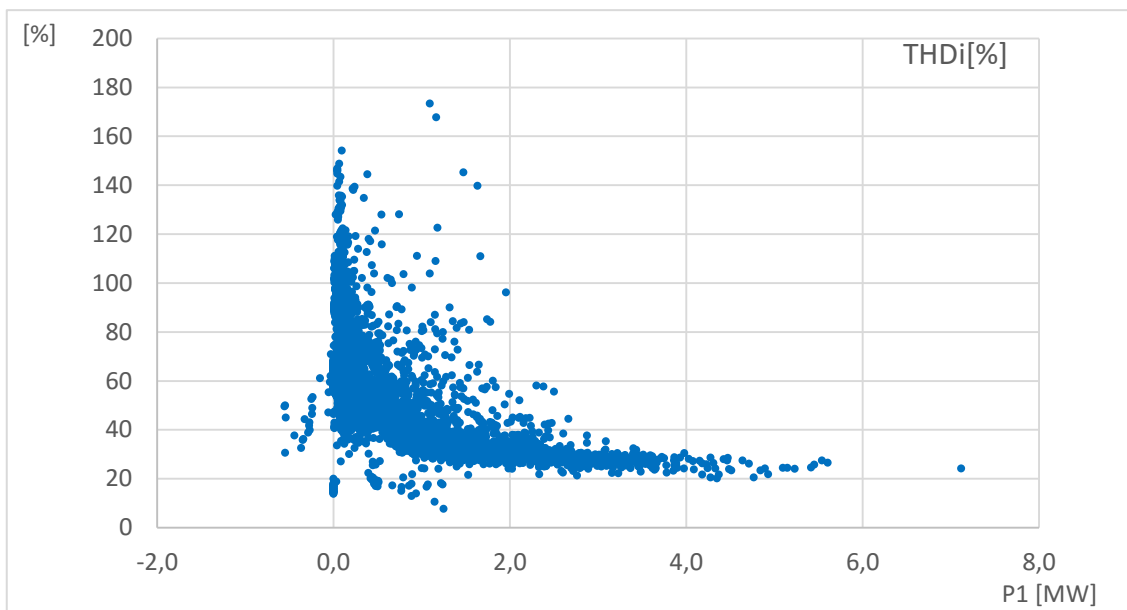
5.4.5 Nedakonice (N12) – základní



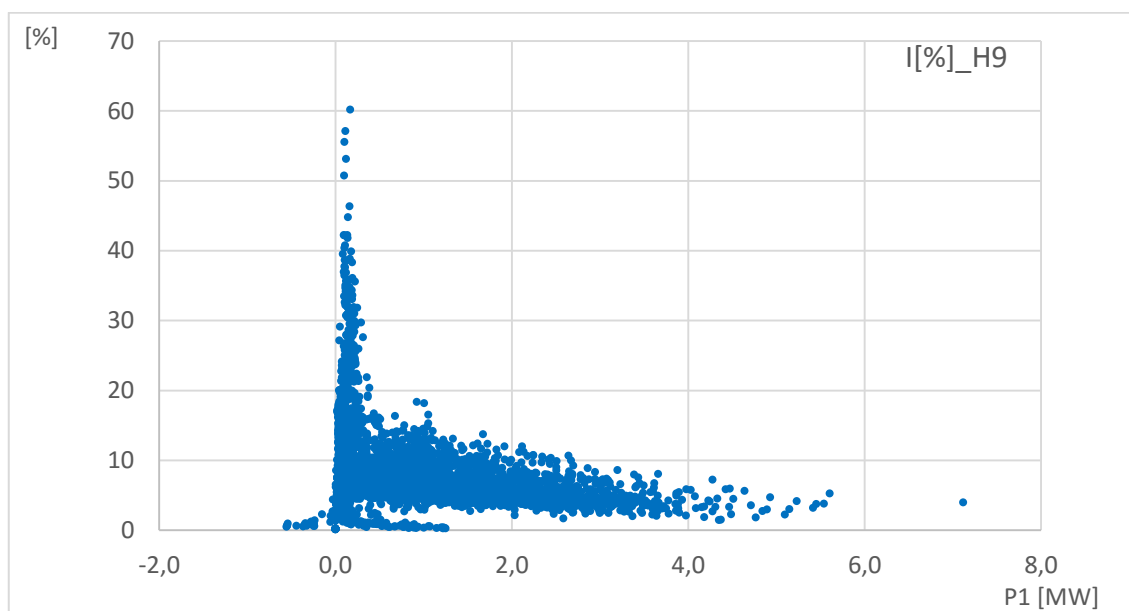
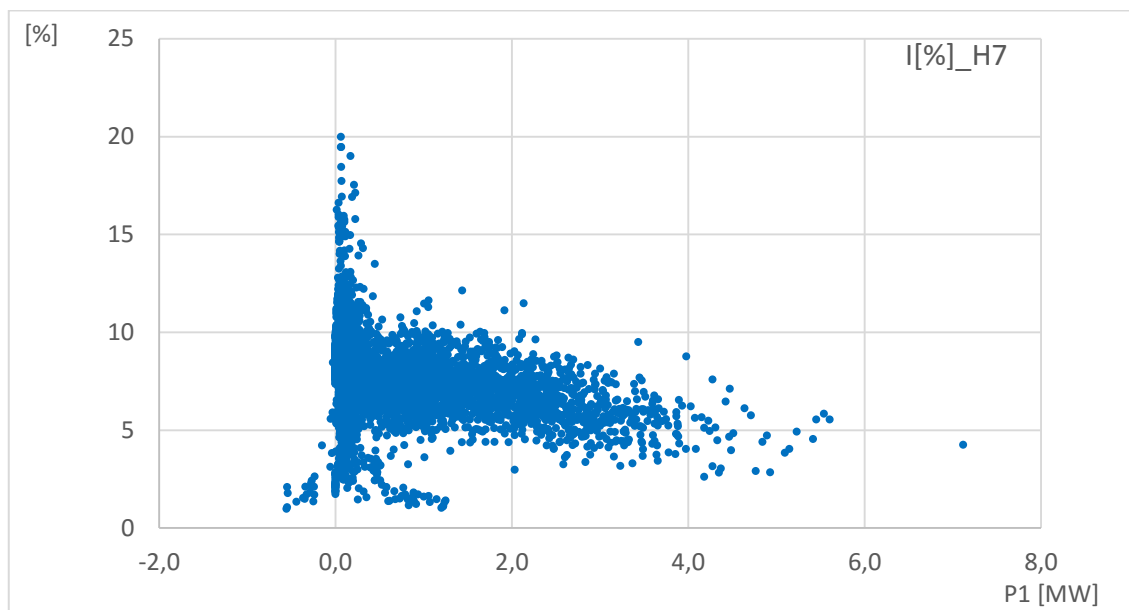
## 5.4.6 Nedakonice (N12) – detailní

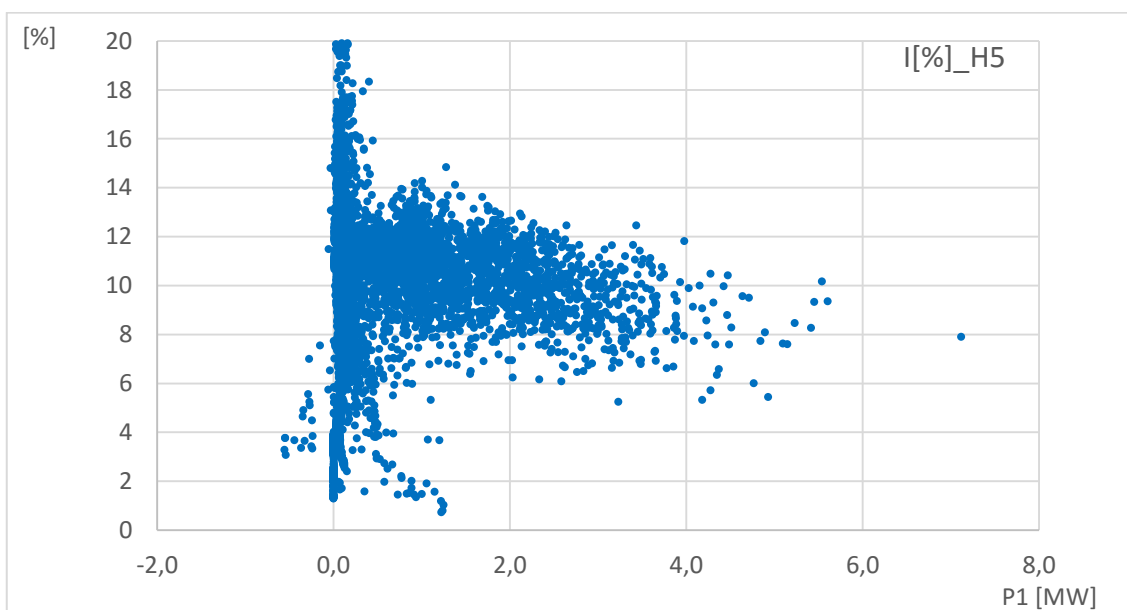
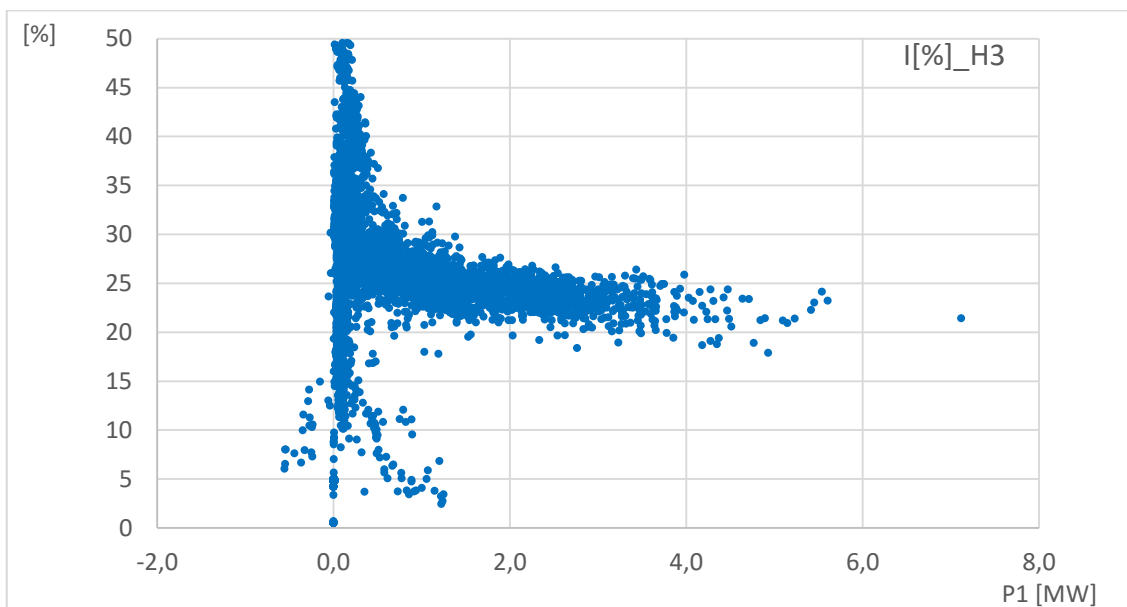
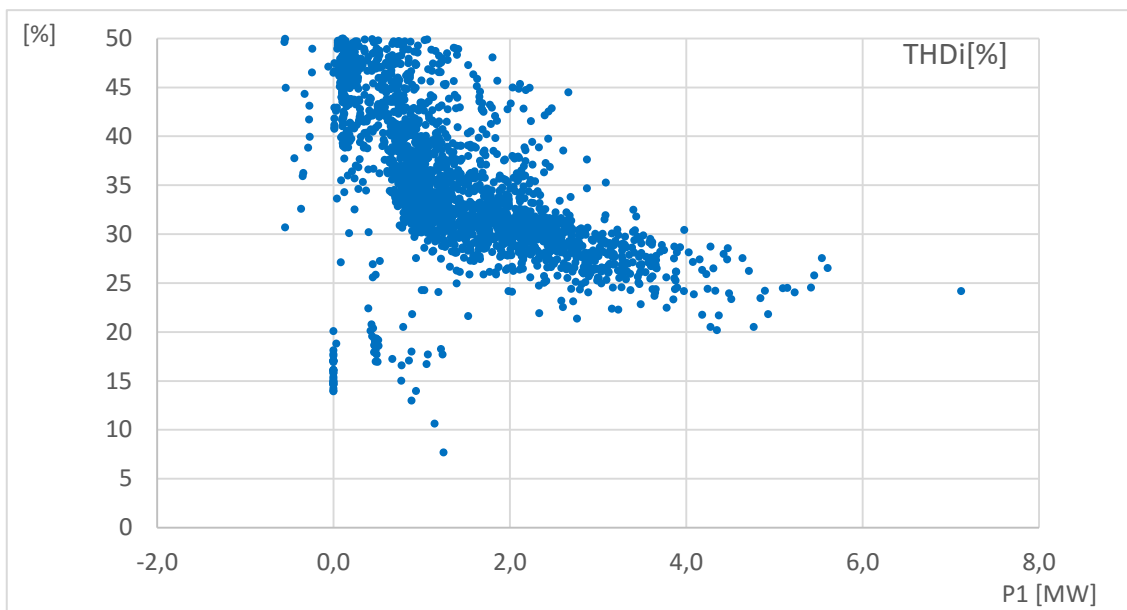


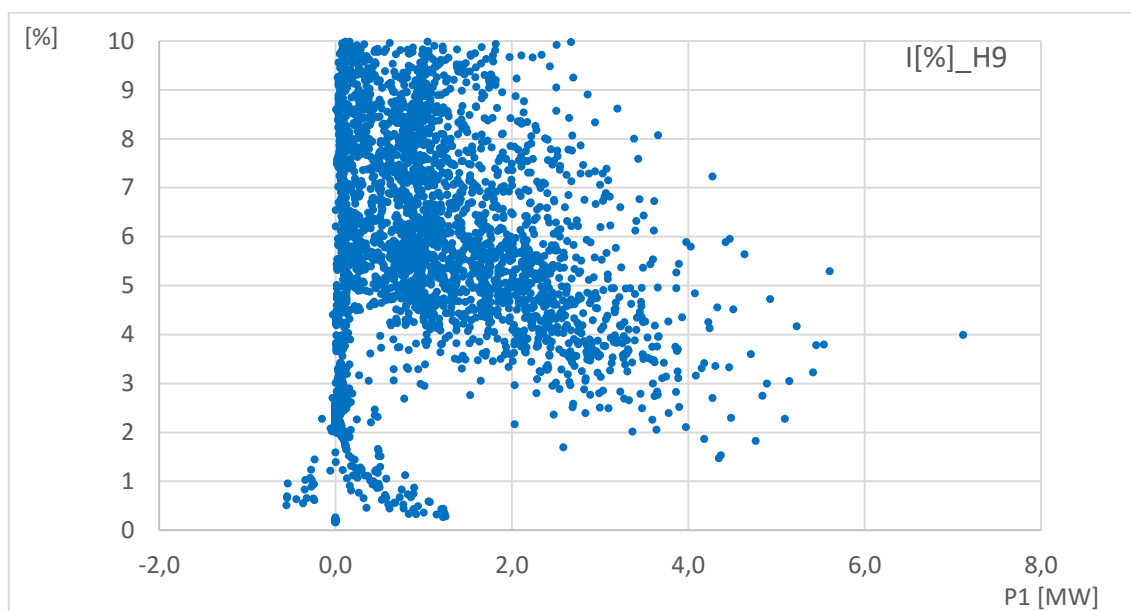
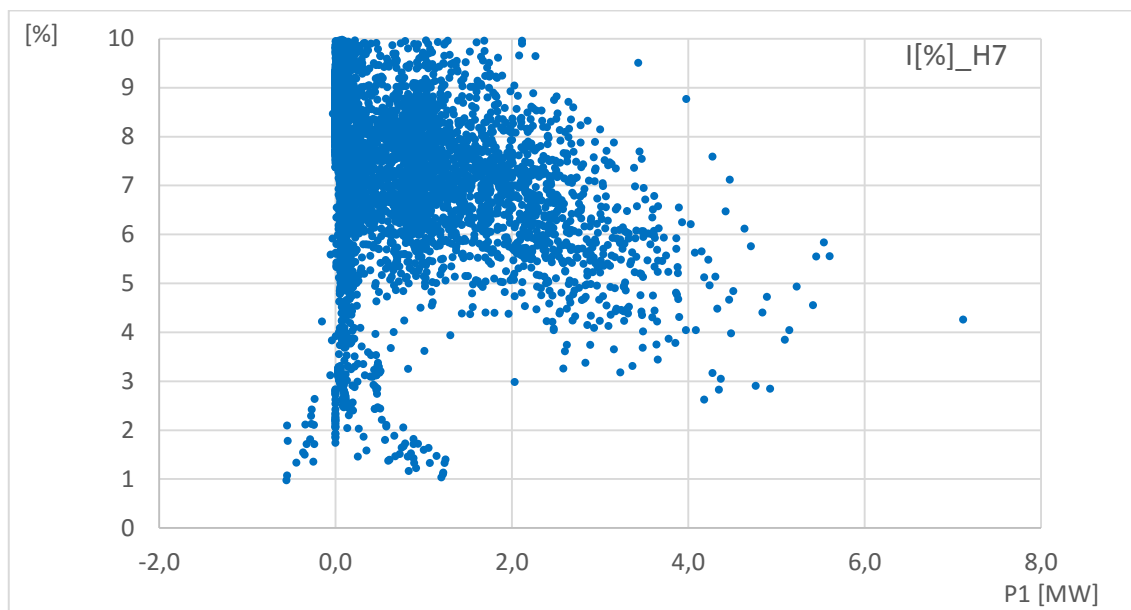


5.4.7 Nezamyslice – základní





5.4.8 Nezamyslice – detailní



## 5.5 Rozbor a vyčíslení

Jelikož cílem této studie je poskytnout základní kvalifikovaný odhad vývoje veličin, na jejichž budoucí hodnoty může působit řada faktorů, nebylo v tomto případě přistoupeno k vyšším sofistikovaným matematickým metodám odvození dílčích složek spekter, avšak bylo využito pouze základního odhadu na základě grafických výstupů. Důvodem byl jak zjevný rozdíl odběrových charakteristik různých generací EHV, tak zejména nemožnost spolehlivě a jednoznačně identifikovat na základě provedených provozních měření každý jednotlivý odběr ke konkrétnímu vlaku a EHV.

Z výše uvedených grafů je, pomineme-li oblast nižších odebíraných výkonů do cca 2 MW, patrný ve všech případech klesající charakter harmonických složek odebíraných proudů. Zejména v datech z TNS Horní Cerekev je zjevná přítomnost dvou typů odběrů – tedy dvou typů závislostních průběhů. V menší míře je toto patrné i na datech z TNS Nezamyslice, kde je ovšem „dolní“ průběhu (průběh s nižšími složkami) pouze marginální. Oproti tomu v datech z TNS Nedakonice se sice vyskytují oba typy průběhů, avšak jelikož se v odběrovém proudu vyskytoval obvykle mix těchto typů odběrů, dochází k význačnému zkreslení a znehlednění grafu.

### 5.5.1 Původní (starší) EHV – odhady / rozmezí

Typ průběhu s vyšším zkreslením odpovídá provozu EHV, které by bylo možno označit jako „původní“ či „starší“, tedy EHV v neřízeném nebo tyristorovým usměrněním. Jak je uvedeno v tabulce níže, hodnoty jednotlivých harmonických složek tohoto typu odběru přibližně korespondují se směrnými hodnotami spektra S1 uvedeného v TKP33 jako tzv. „obvyklé“ spektrum, které lze předpokládat v důsledku provozu EHV.

veličina TNS	THDi [%]	I <sub>3</sub> [%]	I <sub>5</sub> [%]	I <sub>7</sub> [%]	I <sub>9</sub> [%]
H.Cerekev	25	20 - 25	9 - 12	4 - 7	2 - 4
Nedakonice N11*	25 - 35	20 - 25	8 - 11	5 - 7	2 - 4
Nedakonice N12*	25 - 35	20 - 27	10 - 12	5 - 7	2 - 5
Nezamyslice	25	20 - 25	7 - 12	4 - 7	2 - 5
TKP33 (S1)	---	25	10	5	3

### 5.5.2 Generačně novější EHV – odhady / rozmezí

Oproti tomu typ průběhu s nižším zkreslením odpovídá provozu EHV, které lze označit jako „novější“, tedy EHV s plně řízeným usměrněním, typicky čtyřkvadrantním usměrňovačem umožňujícím i rekuperaci elektrické energie zpět do trakčního vedení. Zjištěné hodnoty jsou řádově níže a odpovídají tak předpokladům a požadavkům na tato vozidla – tj. omezení zpětných vlivů, omezení harmonického zkreslení a realizaci odběru s induktivním účinníkem blízkým hodnotě 1,00.

V posledním řádku následující tabulky je potom uveden kvalifikovaný odhad zpracovatele na mezní hodnoty, které zřejmě mohou být dosaženy při provozu těchto EHV.

veličina TNS	THDi [%]	I <sub>3</sub> [%]	I <sub>5</sub> [%]	I <sub>7</sub> [%]	I <sub>9</sub> [%]
H.Cerekev	< 3,0	< 2,5	< 2,0	< 0,5	< 0,3
Nedakonice N11*	< 5,0	< 2,5	< 2,0	< 1,0	< 0,2
Nedakonice N12*	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Nezamyslice	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
TKP33 (S1)	---	---	---	---	---
odhad	< 5,0	< 2,5	< 2,0	< 1,0	< 0,3

## 6 PŘEDPOKLAD HARMONICKÉHO PŮSOBNÍ

Harmonické vlivy (příspěvky k harmonickému zkreslení napětí distribuční sítě) v místě připojení TNS k distribuční síti budou ovlivněny jak realizovanými odběry a jejich charakteristikami, tak i zkratovým výkonem sítě v místě připojení a diagramem zatížení TNS.

Pro výpočet předpokladu harmonického zkreslení (příspěvku) je nutno uvažovat s potenciálně nejhorší možnou variantou napájení (minimální dostupný zkratový výkon). Současně jsou pro odhad použity harmonická spektra zjištěná dle předchozí části.

Z dosavadních měření a analýz vyplývá, že TNS bez rozlišení trakce bývají obvykle vytěžovány do cca 25 % svého nominálního výkonu, případné vyšší odběry bývají pouze sporadické a krátkodobé.

### 6.1 TNS Otrokovice, minimální zkratový výkon, pouze „původní“ EHV

Níže uvedená tabulka zobrazuje předpokládané příspěvky harmonických složek napětí

- pro TNS Otrokovice, disponibilní výkon zařízení až (2\*12) 24 MVA,
- nejnižší dostupný zkratový výkon napájecí sítě 17,5 kA (3 333 MVA),
- zatížení realizované pouze EHV „původními“,
- limity dle ČSN EN 50160 ed. 3 pro síť VVN.

výkon [MW]	poměrné hodnoty harmonických napětí v [%] z hodnoty základní harmonické pro jednotlivé řady harmonických					THDu
	1	3	5	7	9	
<b>limity</b>	-	<b>3,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>	-
2,0	-	0,03	0,02	0,01	0,01	0,03
4,0	-	0,05	0,03	0,02	0,02	0,07
6,0	-	0,08	0,05	0,04	0,03	0,10
8,0	-	0,10	0,07	0,05	0,04	0,14
10,0	-	0,13	0,09	0,06	0,05	0,17
12,0	-	0,16	0,10	0,07	0,06	0,21
14,0	-	0,18	0,12	0,08	0,07	0,24
16,0	-	0,21	0,14	0,10	0,07	0,28
18,0	-	0,23	0,16	0,11	0,08	0,31
20,0	-	0,26	0,17	0,12	0,09	0,35
22,0	-	0,29	0,19	0,13	0,10	0,38
24,0	-	0,31	0,21	0,15	0,11	0,42

## 6.2 TNS Otrokovice, minimální zkratový výkon, pouze „nová“ EHV

Níže uvedená tabulka zobrazuje předpokládané příspěvky harmonických složek napětí

- pro TNS Otrokovice, disponibilní výkon zařízení až (2\*12) 24 MVA,
- nejnižší dostupný zkratový výkon napájecí sítě 17,5 kA (3 333 MVA),
- zatížení realizované pouze EHV „generačně novějšími“,
- limity dle ČSN EN 50160 ed. 3 pro sítě VVN.

výkon [MW]	poměrné hodnoty harmonických napětí v [%] z hodnoty základní harmonické pro jednotlivé řády harmonických					THDu
	1	3	5	7	9	
<b>limity</b>	-	<b>3,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>	-
2,0	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
4,0	-	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
6,0	-	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
8,0	-	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
10,0	-	0,01	0,02	0,01	0,00	0,03
12,0	-	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03
14,0	-	0,02	0,02	0,02	0,01	0,04
16,0	-	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04
18,0	-	0,02	0,03	0,02	0,01	0,05
20,0	-	0,03	0,03	0,02	0,01	0,05
22,0	-	0,03	0,04	0,03	0,01	0,06
24,0	-	0,03	0,04	0,03	0,01	0,06

### 6.3 TNS Říkovice, minimální zkratový výkon, pouze „původní“ EHV

Níže uvedená tabulka zobrazuje předpokládané příspěvky harmonických složek napětí

- pro TNS Říkovice, disponibilní výkon zařízení až 24 MVA,
- nejnižší dostupný zkratový výkon napájecí sítě 2,74 kA (522 MVA),
- zatížení realizované pouze EHV „původními“,
- limity dle ČSN EN 50160 ed. 3 pro sítě VVN.

výkon [MW]	poměrné hodnoty harmonických napětí v [%] z hodnoty základní harmonické pro jednotlivé řády harmonických					THDu
	1	3	5	7	9	
<b>limity</b>	-	<b>3,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>	-
2,0	-	0,17	0,11	0,08	0,06	0,22
4,0	-	0,33	0,22	0,15	0,12	0,44
6,0	-	0,50	0,33	0,23	0,18	0,67
8,0	-	0,66	0,44	0,31	0,24	0,89
10,0	-	0,83	0,55	0,39	0,30	1,11
12,0	-	1,00	0,66	0,46	0,36	1,33
14,0	-	1,16	0,77	0,54	0,42	1,55
16,0	-	1,33	0,88	0,62	0,48	1,78
18,0	-	1,49	1,00	0,70	0,54	2,00
20,0	-	1,66	1,11	0,77	0,60	2,22
22,0	-	1,82	1,22	0,85	0,66	2,44
24,0	-	1,99	1,33	0,93	0,72	2,66

#### 6.4 TNS Říkovice, minimální zkratový výkon, pouze „nová“ EHV

Níže uvedená tabulka zobrazuje předpokládané příspěvky harmonických složek napětí

- pro TNS Říkovice, disponibilní výkon zařízení až 24 MVA,
- nejnižší dostupný zkratový výkon napájecí sítě 2,74 kA (522 MVA),
- zatížení realizované pouze EHV „generačně novějšími“,
- limity dle ČSN EN 50160 ed. 3 pro sítě VVN.

výkon [MW]	poměrné hodnoty harmonických napětí v [%] z hodnoty základní harmonické pro jednotlivé řády harmonických					THDu
	1	3	5	7	9	
<b>limity</b>	-	<b>3,0</b>	<b>5,0</b>	<b>4,0</b>	<b>1,3</b>	-
2,0	-	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
4,0	-	0,03	0,04	0,03	0,01	0,06
6,0	-	0,05	0,07	0,05	0,02	0,10
8,0	-	0,07	0,09	0,06	0,02	0,13
10,0	-	0,08	0,11	0,08	0,03	0,16
12,0	-	0,10	0,13	0,09	0,04	0,19
14,0	-	0,12	0,15	0,11	0,04	0,23
16,0	-	0,13	0,18	0,12	0,05	0,26
18,0	-	0,15	0,20	0,14	0,05	0,29
20,0	-	0,17	0,22	0,15	0,06	0,32
22,0	-	0,18	0,24	0,17	0,07	0,35
24,0	-	0,20	0,27	0,19	0,07	0,39

#### 6.5 Resumé

Výsledné příspěvky se budou pohybovat nad výše uvedenými vypočtenými hodnotami, neboť tyto výpočty jsou realizovány pro minimální zkratové výkony a v reálném provozu, zejména s ohledem na předpokládané zvyšování zkratového výkonu s rozvojem distribučních sítí, budou hodnoty reálně nabývat hodnot nižších.

V případě TNS Otrokovice je dostupný vysoký zkratový výkon, protože ani v případě předpokladu provozu pouze „novějších“ ani pouze „původních“ EHV není dle dostupných provedených výpočtů reálné překročení limitních hodnot.

V případě TNS Říkovice je dostupný zkratový výkon významně nižší. Při uvažování provozu pouze „novějších“ EHV není dle provedených výpočtů reálné překročení limitních hodnot, avšak při uvažování provozu pouze „původních“ EHV by k překročení limitních hodnot (50 % limitů daných normou ČSN EN 50160 ed. 3) došlo při výkonu vyšším než 66 % jmenovité hodnoty. Pro reálný provoz a odhad budoucího stavu je však nutno uvažovat nejen s případným navýšením zatížení vůči stávajícímu stavu, ale též k postupné obměně vozového parku a ústupu vozidel „původní“ koncepce a jejich nahrazování vozidla „generačně novějšími“. Výsledný „mix“ tak bude mít spíše charakter kombinující oba typy EHV a celkové harmonické proudy budou nižších hodnot, než u samotného provozu vozidel „původní“ koncepce.



## 7 IMPEDANCE NA KMITOČTU HDO

### 7.1 TNS Otrokovice

Při uvažování vstupních podmínek:

- napětí sítě 110 kV
- kmitočet HDO 216,6 Hz
- napájecí transformátor 110 / 27,5 kV, 12 MVA,  $u_k = 12,5 \%$
- rozvinutá délka TV 239,08 km
- uvažovaná měrná kapacita 15  $\mu\text{F} / \text{km}$
- realizovaný odběr 12 MVA (smluvní výkon) při  $\cos(\varphi) = 0,96$

vychází kalkulace impedance TNS jako celku na tónovém kmitočtu HDO:

- bez zátěže 2 731  $\Omega$  ( $0 - j \cdot 2731$ )  $\Omega$
- při plné zátěži 1 005  $\Omega$  ( $953 + j \cdot 317$ )  $\Omega$

### 7.2 TNS Říkovice

Při uvažování vstupních podmínek:

- napětí sítě 110 kV
- kmitočet HDO 216,6 Hz
- napájecí transformátor 110 / 27,5 kV, 25 MVA,  $u_k = 12,5 \%$
- rozvinutá délka TV 280,08 km
- uvažovaná měrná kapacita 15  $\mu\text{F} / \text{km}$
- realizovaný odběr 25 MVA (smluvní výkon) při  $\cos(\varphi) = 0,96$

vychází kalkulace impedance TNS jako celku na tónovém kmitočtu HDO:

- bez zátěže 2 535  $\Omega$  ( $0 - j \cdot 2535$ )  $\Omega$
- při plné zátěži 479  $\Omega$  ( $479 + j \cdot 212$ )  $\Omega$

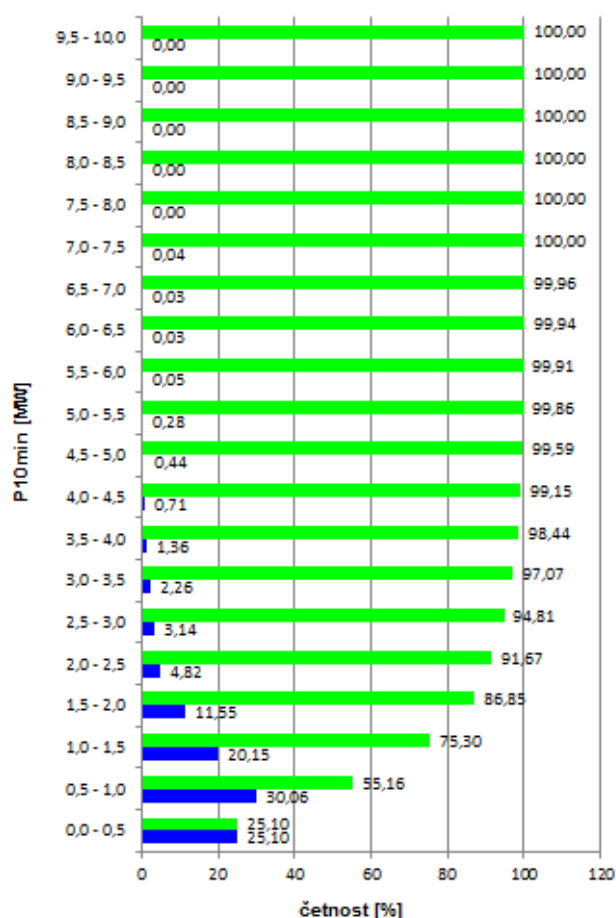
### 7.3 Resumé

Ačkoli z prostých výpočtů by bylo možno dovozovat na překročení požadovaných hodnot minimální impedance na kmitočtu HDO, toto překročení je ve výsledku pouze minimální a docházelo by k němu pouze při plném trakčním zatížení – tedy 12 MVA resp. 25 MVA. Tyto stavy však nejsou reálně předpokládány, zejména nikoli jako trvalý stav.

Hodnota impedance na kmitočtu HDO bude ovlivněna též parametry

- „napětí nakrátko“ trakčních transformátorů - výše použitá hodnota je obvyklou a tedy pro výpočet předběžně předpokládanou hodnotou, avšak její volbou lze mj. ovlivnit hodnotu impedance jako celku; s poklesem hodnoty napětí nakrátko bude docházet k mírnému nárůstu impedance na kmitočtu HDO;
- „rozvinutá délka TV“ – výše uvedená hodnota je mezní předpokládanou délkou ve výlukových stavech; při uvažování nižších připojených rozvinutých délek trakčního vedení dochází k nárůstu impedance na kmitočtu HDO;

## 8 ZÁVĚR



Vyhodnocování veličin v souladu s normami PNE 33 3430-1 a ČSN EN 61000-4-30 (resp. ČSN EN 50160) probíhá obvykle v 10minutových průměrovaných intervalech a s požadavkem splnění limitů v nejméně 95 % intervalů. Pro zásadní nevyhovění normě by tedy muselo dojít k překročení výše uvedených průměrných hodnot výkonu v 50 desetiminutových souvislých intervalech v průběhu jednoho týdne.

Ze statistického vyhodnocení zatížení (pomocí plovoucích 10minutových intervalů, viz vlevo) vyplývá, že průměrné 10minutové zatížení obvyklé TNS se nyní v 95% intervalu pohybuje do 3 MW (tj. 30 % jmenovitého výkonu) a ve 100 % intervalu 8 MW (80 % jmenovitého výkonu). I při uvažování výrazného navýšení provozního zatížení TNS, lze ale objektivně předpokládat, že hodnota 80% zatížení nebude překročena ve více jak 95 % intervalů.

### 8.1 Příspěvek harmonických

Lze důvodně předpokládat, že limitní hodnoty příspěvku harmonických napětí nebudou překročeny, protože není ve sledovaných trakčních napájecích stanicích třeba budovat filtrační zařízení pro omezení jejich vlivu.

### 8.2 Impedance na kmitočtu HDO

Jak vyplývá z údajů uvedených výše, podmínka minimální impedance na kmitočtu HDO bude splněna.

### 8.3 Nesymetrie napájecího napětí

V daných instalacích je již bez této analýzy uvažováno s využitím symetrizačního zařízení, tzv. balanceru, který zajistí rovnoměrné rozložení odebraného jednofázového výkonu TNS do všech tří fází napájecí distribuční sítě. Toto řešení vychází z již známých překročení a mezních hodnot příspěvku k nesymetrii napájecího napětí způsobeného jednofázovými odběry TNS. Nesymetrie tedy nebyla v rámci této studie hodnocena, neboť se předpokládá minimalizace jejího příspěvku použitím tzv. balancerů.

### 8.4 Kompenzace

V rámci analýz nebylo uvažována potřeba řešení kompenzace nevyhovujících charakterů odběrů elektrické energie v předávacím místě.

Významným vlivem je odběrová charakteristika EHV, která má obvykle induktivní charakter. S generační obměnou EHV by však mělo postupně docházet o poklesu počtu vozidel, které vykazují účinník odběru cca 0,84 (předpokládaná výpočtová hodnota dle dlouhodobých pozorování) a nárůst počtu vozidel s účinníkem blízkým hodnotě 1,00. Vliv odběrových charakteristik EHV na celkovou charakteristiku tedy bude klesat.

Markantní vliv na charakter odběru má kapacita trakčního vedení a připojených kabelových vedení a sítí. Tento parametr je stálý a i v budoucnosti bude třeba dále zajistit vhodnou kompenzaci do induktivní oblasti.

Návrhy stran rozsahu kompenzace a jejího způsobu však nejsou touto studií stanoveny, neboť není znám charakter a vliv plánovaného symetrizačního prvku – tedy jeho vlastní induktivně/kapacitní charakter a případné negativní či pozitivní vlivy na celkový charakter odběru.

## **9 PROHLÁŠENÍ ZHOTOVITELE**

Výsledky studie a údaje uvedené v tomto protokolu se týkají pouze předmětu studie a v žádném případě nenahrazují schvalovací, povolovací ani jiné dokumenty vydávané, příp. požadované orgány státního dozoru či třetími subjekty. Uvedené výsledky vycházejí z údajů poskytnutých zhotoviteli zadavatelem, pročež nemůže zhotovitel ručit za případné vady, jejichž příčinou bylo vadné zadání. Tento protokol nesmí být bez souhlasu zhotovitele reprodukován jinak než celý a beze změn.

---