



Spolufinancováno Evropskou unií

Nástroj pro propojení Evropy

B.12

VÝŠKOVÝ SYSTÉM Bpv SOUŘADNICOVÝ SYSTÉM S-JTSK

Číslo změny:	Obsah změny:	Datum změny:
01	-	-
02	-	-
03	-	-

Objednatel:



Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1

Generální projektant:



SUDOP PRAHA a.s.
Olšanská 1a, 130 80 Praha 3
tel.: +420 267 094 111
e-mail: praha@sudop.cz

Hlavní inženýr projektu:

ING. MIROSLAV KRSEK

Garant profese:

-

Zpracovatel části:

Ing. Jiří Hajzl
náměstí Míru 187
538 03 Heřmanův Městec

Vedoucí střediska:	Odpovědný projektant SO, IO, PS:	Vypracoval:	Kontroloval:
-	-	-	-

Název akce:

**OPTIMALIZACE TRATI
PRAHA SMÍCHOV (MIMO) - ČERNOŠICE (MIMO)**

Číslo smlouvy:

16-059.250

Projektový stupeň:

PROJEKT

Část:

Datum:

06/2017

Číslo části:

B.12

Studie připojitelnosti pro trakční měřírnu Chuchle

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 PRAHA a.s., Olšanská 2643/1a, 130 80 Praha 3 - Žižkov – IČ: 25793349

ODBORNÁ STUDIE

předběžná studie připojitelnosti TM Chuchle č. Z17002

SPECIFIKACE

Studie je vypracována pro potřeby stavby „Optimalizace trati Praha Smíchov (mimo) – Černošice (mimo)“ zahrnující rekonstrukci stávající TM Chuchle. Jejím cílem je

- výpočet předpokládaných zpětných vlivů běžného provozu trakčních usměrňovačů TM Chuchle na distribuční síť 22 kV PREdi, s důrazem na generované harmonické proudy a jimi způsobené zkreslení napětí na hladině 22 kV a též celkové harmonické zkreslení,
- potvrzení nebo vyvrácení potřeby instalace filtračního zařízení v TM Chuchle,
- doporučení pro případnou eliminaci či omezení zpětných vlivů.

Tato studie byla vypracována pro potřeby určení možného vzájemného negativního ovlivnění jednotlivých částí stavby / staveb (napájecí distribuční síť 22 kV společnosti PRE distribuce, případné kabelové rozvody napájené z hladiny 22 kV TM Chuchle a odběry v těchto rozvodech, TM,...) a případné plánování nápravných či preventivních opatření.

Identifikace u zákazníka:

- akce: Optimalizace trati Praha Smíchov (mimo) – Černošice (mimo)
- číslo smlouvy: 16-059.250

VYHODNOCENÍ / ZÁVĚR

V textu – kapitola 11 (str. 8)

PROTOKOL

Datum vydání:
26. 04. 2017

Autorizace:


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

Počet stran:	8
Počet příloh:	1
Počet výtisků:	8 + ev
Číslo výtisku:	ev

POZNÁMKY

1 ROZDĚLOVNÍK

Výtisk	Držitel
1 - 8	SUDOP PRAHA a.s., Olšanská 2643/1a, 130 80 Praha 3 – IČ: 25793349
ev	SUDOP PRAHA a.s., Olšanská 2643/1a, 130 80 Praha 3 – IČ: 25793349

2 OBSAH

1	Rozdělovník	2
2	Obsah.....	2
3	Cíl studie	3
4	ZKRATKY	3
5	Použitá dokumentace.....	3
6	Vstupní údaje a požadavky	4
6.1	Distribuční síť.....	4
6.2	Trakční měnična Chuchle (navrhovaný stav)	4
6.3	Energetické výpočty	4
6.4	Napájené rozvody z hladiny 22 kV	4
7	ÚROVNĚ HARMONICKÉHO ZKRESLENÍ NAPĚTÍ.....	5
8	ZKRESLENÍ NA HLADINĚ 22 KV.....	6
8.1	Podmínky platnosti výpočtu	6
8.2	Výsledky	6
8.3	Analýza výsledků a zhodnocení	6
9	NAVÝŠENÍ HARMONICKÝCH NAPĚTÍ.....	7
10	OSTATNÍ KVALITATIVNÍ PARAMETRY ODBĚRU	7
10.1	Kmitočet sítě	7
10.2	Odchylky napájecího napětí	7
10.3	Míra vjemu flikru	7
10.4	Nesymetrie napájecího napětí.....	7
10.5	Meziharmonická napětí	7
11	ZÁVĚR	8
12	Prohlášení zhotovitele.....	8

3 CÍL STUDIE

Studie je vypracována pro potřeby stavby „Optimalizace trati Praha Smíchov (mimo) – Černošice (mimo)“ zahrnující rekonstrukci stávající TM Chuchle. Jejím cílem je

- výpočet předpokládaných zpětných vlivů běžného provozu trakčních usměrňovačů TM Chuchle na distribuční síť 22 kV PREdi, s důrazem na generované harmonické proudy a jimi způsobené zkreslení napětí na hladině 22 kV a též celkové harmonické zkreslení,
- potvrzení nebo vyvrácení potřeby instalace filtračního zařízení v TM Chuchle,
- doporučení pro případnou eliminaci či omezení zpětných vlivů.

Tato studie byla vypracována pro potřeby určení možného vzájemného negativního ovlivnění jednotlivých částí stavby / staveb (napájecí distribuční síť 22 kV společnosti PRE distribuce, případné kabelové rozvody napájené z hladiny 22 kV TM Chuchle a odběry v těchto rozvodech, TM,...) a případné plánování nápravných či preventivních opatření.

4 ZKRATKY

atd.	a tak dále
ČSN	česká technická norma
EMC	elektromagnetická kompatibilita
nn	nízké napětí
PNE	podniková norma energetiky
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PREdi	PRE distribuce a.s.
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
TKP	Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah
TKP33	Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, kapitola 33
TM	trakční měnírna
TR	transformovna (distribuční sítě)
TS	trafostanice
TU	trakční usměrňovač
TZ	transformátor zabezpečovací
VN	vysoké napětí

5 POUŽITÁ DOKUMENTACE

- [1] *Přehledové schéma TM, stavba „Optimalizace trati Praha Smíchov (mimo) – Černošice (mimo)“, provozní soubor PS 02-23-21 „Trakční měnírna Chuchle, rozvodna 22 kV, technologie“, část dokumentace D.3.3, termín červen 2017, pracoval SUDOP Praha a.s.*
 - [2] *Energetické výpočty, stavba „Optimalizace trati Praha Smíchov (mimo) – Černošice (mimo)“, termín listopad 2016, zpracoval SUDOP Praha a.s.*
 - [3] *Zkratové údaje pro TM Chuchle a TS Radotín, Válek Milan Ing., PRE distribuce a.s., 12. ledna 2017, značka 3000039132.*
 - [4] *Zákon č. 485/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon) v platném znění.*
 - [5] *Vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice v platném znění.*
 - [6] *Vyhláška Energetického regulačního úřadu č. 51/2006 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě.*
-

- [7] *Pravidla provozování distribuční soustavy. Praha: PRE distribuce a.s., květen 2016.*
- [8] *ČSN EN 50160 ed. 3 - Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí.*
- [9] *ČSN 37 6605 ed. 2 - Připojování elektrických zařízení celostátních drah na elektrický rozvod.*
- [10] *PNE 33 3430-0 - Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů distribučních soustav*
- [11] *PNE 33 3430-1 - Parametry kvality elektrické energie. Část 1: Harmonické a mezipharmonické*
- [12] *PNE 33 3430-2 - Parametry kvality elektrické energie. Část 2: Kolísání napětí*
- [13] *PNE 33 3430-3 - Parametry kvality elektrické energie. Část 3: Nesymetrie napětí*
- [14] *PNE 33 3430-4 - Parametry kvality elektrické energie. Část 4: Poklesy a krátká přerušení napětí*
- [15] *PNE 33 3430-5 - Parametry kvality elektrické energie. Část 5: Přechodná přepětí - impulsní rušení*
- [16] *PNE 33 3430-6 - Parametry kvality elektrické energie. Část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání*
- [17] *PNE 33 3430-7 - Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě*
- [18] *Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah – kapitola 33 Elektromagnetická kompatibilita. Praha: SŽDC, s.o., listopad 2016.*
- [19] *HLAVA K. Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení. Pardubice: Univerzita Pardubice – fakulta dopravní, 2004.*

6 VSTUPNÍ ÚDAJE A POŽADAVKY

6.1 Distribuční síť

napěťová hladina DS:
zkratové proudy pro TM Chuchle:
(souměrný třífázový zkrat)

$$\begin{aligned} U_n &= 22.000 \text{ V} \\ I_{ks3max} &= 7,95 \text{ kA} \\ I_{ks3min} &= 6,49 \text{ kA} \end{aligned}$$

6.2 Trakční měnírna Chuchle (navrhovaný stav)

počet usměrňovačových skupin:
výstupní napětí usměrňovačových skupin:

$$n = 3$$
$$U_{dc} = 3.000 \text{ V}$$

usměrňovačové transformátory

zapojení:

Yyn0d1

imenovitý výkon:

$$S_n = 5,3 \text{ MVA}$$

napětí nakrátko:

$$u_k = 7,5 \%$$

kompenzační tlumivka:

$$Q_1 = 0$$

6.3 Energetické výpočty

celková spotřeba TM

114,6 MWh/den

střední výkon

5,0 MW

trvalý efektivní výkon

9,5 MW

maximální výkon

13,8 MW

6.4 Napájené rozvody z hladiny 22 kV

- LDSŽ 22 kV není uvažován
- magistralní rozvod pro ZZ 6 kV ANO, 2x TZ 22/6 kV, 400 kVA

7 ÚROVNĚ HARMONICKÉHO ZKRESLENÍ NAPĚTÍ

Celková úroveň harmonického zkreslení napětí bude dána

- zkreslením napájecí distribuční sítě,
- zkreslením způsobeným provozem trakčních usměrňovačů,
- zkreslením způsobeným provozem zařízení napájených z kabelového rozvodu 6 kV.

Každý z těchto bodů je pouze příspěvkem k celkovému harmonickému zkreslení. Zkreslení napájecí sítě není možno korektně předvídat ani odhadovat, zejména v delším časovém horizontu. U zkreslení způsobených provozem zařízení napájených z kabelového rozvodu 6 kV lze předpokládat řádově nižší příspěvek, než u TU, daný nižším instalovaným resp. dostupným výkonem těchto zařízení. Dle dostupných informací mají kabelové rozvody projektován souhrnný maximální odběr cca 0,8 MVA (dle dimenzování TZ), což je cca 5 % oproti plánovanému instalovanému trakčnímu výkonu TM (cca 16 MVA). Současně není možno ve fázi projektové přípravy ani spolehlivě predikovat rozsah instalovaných zařízení, jejich výkony a možné negativní vlivy. Z výše uvedených důvodů musí být tyto příspěvky z posouzení vyjmuty.

Provozem trakčních usměrňovačů dochází ke generování proudových harmonických, které v místě připojení vlivem zkratové impedance vytvářejí napětové harmonické superponované na průběh základní harmonické. Tím dochází ke zkreslení (resp. příspěvku zkreslení) časového průběhu napětí. Spektrum generovaných harmonických je dáno typem usměrňovače (počtem „pulsů“). Pro usměrňovače používané v trakčních aplikacích trakce 3 kVDC u SŽDC jsou užívány 12pulsní usměrňovače generující výhradně harmonické řádů $(12 \cdot n - 1)$ a $(12 \cdot n + 1)$, kde n je celé číslo v rozsahu $<1; \infty$.

Úroveň generovaných harmonických je ovlivněna charakterem odebíraného proudu. V případě nejnejpříznivějšího (avšak reálně nedosahovaného) obdélníkového průběhu lze pro výpočet úrovně aplikovat zjednodušení z Fourierovy transformace (tzv. amplitudový zákon)

$$I_n = I_1 / n \quad [%, -]$$

kde n je řád harmonické, I_n proud n -té harmonické a I_1 proud základní harmonické. V reálném provozu jsou však tyto hodnoty řádově nižší, což je způsobeno „utlumením změn“ odebíraného proudu vlivem komutace proudu usměrňovačových diod. Toto utlumení a pokles je patrnější s nárůstem zatížení a dosahuje minim při zatížení TU nad 50% jmenovitého výkonu.

Pro potřeby výpočtů se uvažuje pouze s harmonickými řádů 11, 13, 23, 25 a ostatní harmonické jsou, s ohledem na jejich nízkou úroveň, zanedbány.

8 ZKRESLENÍ NA HLADINĚ 22 KV

8.1 Podmínky platnosti výpočtu

- nejméně příznivý zkratový výkon - $I_{ks3min} = 6,49 \text{ kA}$
- zanedbání impedance propojení TU s transformátory a sběrnou 22 kV
- výpočet zkratové impedance sítě na jednotlivých harmonických dle PNE 33 3430-0
- výpočtové úrovně harmonických proudů generovaných TM dle doporučení TKP 33
- hodnocení pouze harmonických průkazně generovaných TM

8.2 Výsledky

Výsledky výpočtu předpokládaného harmonického zkreslení na hladině 22 kV TM Chuchle pro různé režimy provozu a zatížení TU jsou uvedeny v **příloze 1** této studie. Vyjma procentní hodnoty zkreslení průběhu základní harmonické jsou uvedeny též limity napěťových harmonických tak, jak jsou stanoveny normou ČSN EN 50160 ed.3 resp. PPDS, a poměrné využití tohoto limitu.

Pro hodnoty harmonických řádu 17, 19, 23, 25 a vyšších nejsou ani v normě ČSN EN 50160 ed.3 ani v PPDS stanoveny limity (vliv se zkoumá). Pro hodnotu celkového harmonického zkreslení napětí není limit v normě ČSN EN 50160 ed.3 stanoven, avšak v PPDS je uveden limit 8 %.

V provozu se pro hodnocení harmonických vlivů užívá střední hodnota za 10minutové intervaly s požadavkem na splnění limitů v 95% intervalů v rámci jednoho týdne.

8.3 Analýza výsledků a zhodnocení

Uvedený výpočet je kvalifikovaným odhadem příspěvku harmonického zkreslení napětí na hladině 22 kV TM Chuchle způsobeného provozem trakčních usměrňovačů. Výpočet je proveden pro různé režimy provozu.

Uvedené hodnoty jsou pouze příspěvkem, kterým se navýší již existující zkreslení přicházející z distribuční sítě.

Dle dostupných údajů a v souvislosti s uvedeným výpočtem lze předpokládat, že příspěvek ke zkreslení napětí na hladině 22 kV TM Chuchle způsobený provozem TU nebude mít nadlimitní charakter.

Ačkoli jsou celkové hodnoty zkreslení závislé též na zkreslení napájecího napětí DS PREdi a působení odběrů napájených z rozvodu 6 kV, vzhledem k dostatečné rezervě lze předpokládat, že ani případný vliv tohoto rozvodu nezvýšení výrazně zkreslení napájecího napětí.

9 NAVÝŠENÍ HARMONICKÝCH NAPĚTÍ

Na napěťových hladinách, kde budou připojeny TU a kabelové rozvody, je vlivem provozu trakčního usměrňovače zkreslený časový průběh napětí. Toto zkreslení je následkem funkce trakčního usměrňovače, který se z pohledu strany 22 kV jeví jako proudový generátor lichých harmonických řádů 11, 13, 23, 25 atd.

Tyto proudové harmonické na vstupní impedanci sítě 22 kV způsobují podle Ohmova zákona napěťové harmonické stejných řádů. Hodnoty napěťových harmonických, dle výše uvedených rozborů, splňují mezní podmínky dané ČSN EN 50160 ed.3. Hodnoty rezonančních frekvencí v základním stavu dané napájecí soustavy (při připojených pouze TU) prakticky nezávisí na odběrech. Velikost odběrů má pouze vliv na útlum rezonančních jevů.

Připojením kabelových rozvodů dochází ke změně charakteru obvodu a vytvoření sériového rezonančního obvodu tvořeného náhradní indukčností oddělovacího/snižovacího transformátoru a kapacitou připojeného kabelu.

Tím dochází i ke změně frekvenční charakteristiky impedance (v místě připojení) a tím i možnému ovlivnění vznikajících napěťových harmonických. Efekt nabývá extrému v případě, kdy je rezonanční frekvence blízká některé z harmonických generovaných TU.

10 OSTATNÍ KVALITATIVNÍ PARAMETRY ODBĚRU

Tato kapitola zahrnuje významné parametry uvedené v příloze číslo 3 Pravidel provozování distribuční soustavy PREDi a normě ČSN EN 50160 ed. 3.

10.1 Kmitočet sítě

TM Chuchle je charakterem pasivní odběr a neovlivňuje kmitočet napájecí sítě.

10.2 Odchytky napájecího napětí

Odchytky napájecího napětí mohou být způsobeny náhlými navýšeními zátěže TM Chuchle. S ohledem na připojení TM Chuchle na hladinu 22 kV, dostupný zkratový výkon v tomto místě (247 MVA), způsob zatěžování TM a maximální technický odběr TM, lze důvodně předpokládat, že odchytky způsobené změnami zatížení budou mít na DS PREDi pouze marginální vliv.

10.3 Míra vjemu flikru

Míru vjemu flikru nelze, s ohledem na nestálý a nepředvídatelný charakter zatížení, předjímat. Při porovnání s referenčním systémem (jiná TM) lze konstatovat, že míry vjemu flikru (P_{st} i Plt) jsou obvykle s dostatečnou rezervou pod stanovenými limity.

10.4 Nesymetrie napájecího napětí

TU pro drážní aplikace jsou ve dvanáctipulsním provedení napájené z třífázových trakčních transformátorů konstrukce Yyn0d1. Odběry jsou tedy plně symetrické. Případné nesymetrie by mohly být způsobeny pouze odběry připojenými na kabelových rozvodech 6 kV.

Po předběžném vyhodnocení a při předpokládaném maximálním odběru v těchto rozvodech (do 0,8 MVA) lze předpokládat, že nedojde k překročení limitních parametrů.

10.5 Meziharmonická napětí

TZ Chuchle vzhledem ke svému charakteru negeneruje meziharmonická napětí.

11 ZÁVĚR

Dle dostupných údajů a v souvislosti s uvedeným výpočtem lze předpokládat, že příspěvek ke zkreslení napětí na hladině 22 kV TM Chuchle způsobený provozem TU nebude mít nadlimitní charakter.

Z výše uvedeného vyplývá, že v rámci rekonstrukce TM Chuchle a též v souvislosti s navýšením jejího dostupného výkonu nebude třeba instalovat filtrační zařízení.

K omezení zpětných vlivů výrazně přispívá míra zatížení trakčních usměrňovačů, kdy při jich vyšším vytížení (provozu se zatížením blízko nominálního výkonu) klesá poměrné generované zkreslení harmonickými.

12 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, protože 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.

Kvalifikovaný odhad očekávaných příspěvků napěťových harmonických způsobených provozem zařízení

Hodnocení vlivu na síť

Napěťová hladina	22 000 V
Zkratový proud	6,49 kA
Zkratový výkon	247,30 MVA

Údaje o hodnoceném zařízení

Název	trakční měnična Chuchle
Charakter zařízení	usměrňovač výkonový, 12pulsů, transformátor 22/2x2,5 kV, Yyn1d0
Limity převzaty z	PREdi PPDS (05/2016)

	TU	výkon [MW]		zátěž [%]	poměrné hodnoty harmonických napětí v [%] z hodnoty základní harmonické pro jednotlivé řády harmonických																				THDu
		nom.	výpoč.		1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	
		limity			-	3,0	5,0	4,0	1,3	3,0	2,5	0,5	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,0
1	1	5,3	1,1	20,0%	-					0,15	0,14					0,10	0,10								0,25
2	1	5,3	2,1	40,0%	-					0,28	0,26					0,20	0,19								0,47
3	1	5,3	3,2	60,0%	-					0,41	0,39					0,23	0,22								0,65
4	1	5,3	4,2	80,0%	-					0,53	0,48					0,23	0,22								0,78
5	1	5,3	5,3	100,0%	-					0,62	0,55					0,24	0,25								0,90
6	2	10,6	2,1	20,0%	-					0,30	0,27					0,21	0,21								0,50
7	2	10,6	4,2	40,0%	-					0,56	0,52					0,40	0,38								0,94
8	2	10,6	6,4	60,0%	-					0,83	0,77					0,46	0,43								1,30
9	2	10,6	8,5	80,0%	-					1,06	0,96					0,46	0,44								1,57
10	2	10,6	10,6	100,0%	-					1,25	1,09					0,49	0,50								1,80
11	3	15,9	3,2	20,0%	-					0,45	0,41					0,31	0,31								0,75
12	3	15,9	6,4	40,0%	-					0,83	0,78					0,59	0,57								1,41
13	3	15,9	9,5	60,0%	-					1,24	1,16					0,69	0,65								1,95
14	3	15,9	12,7	80,0%	-					1,59	1,44					0,68	0,66								2,35
15	3	15,9	15,9	100,0%	-					1,87	1,64					0,73	0,75								2,70

Legenda:

TU - počet provozovaných trakčních usměrňovačů
výkon - nom. - nominální výkon dané sestavy
výkon - simul. - výkon použitý pro simulaci
zátěž - poměrné zatížení sestavy při použitém výkonu

prázdné pole

-

hodnota

hodnota

údaje nejsou k dispozici, harmonické nejsou generovány
nehodnocený parametr, nestanovený limit
vyhovující hodnota
hodnota překračující limit
informační pruh, indikují poměr příspěvku k limitu