



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program doprava

Ministerstvo dopravy
Státní fond dopravní
infrastruktury



ČISTOPIS

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

Investor:



SŽDC, s.o.
Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1
tel.: +420 222 335 777
e-mail: szdc@szdc.cz

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. MARTIN RAIBR

Garant profese:

-

Zpracovatel části:

Ing. Jiří Hajzl
náměstí Míru 187
538 03 Heřmanův Městec
IČ: 74630946

Vedoucí střediska:	Odpovědný projektant SO, IO, PS:	Vypracoval:	Kontroloval:
-	ING. JIŘÍ HAJZL	ING. JIŘÍ HAJZL	-

Název akce:	Číslo smlouvy:
ELEKTRIZACE TRATI KADAŇ PRUNÉŘOV - KADAŇ	16-333.208
	Projektový stupeň:
ENERGETICKÉ VÝPOČTY OVĚŘENÍ FKZ PRO TNS KADAŇ	DSP
	Datum:
	11/2017
	Číslo části:
	B.5.2

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

ověření FKZ pro TNS Kadaň

č. Z17002

SPECIFIKACE

Cílem studie je ověření parametrů stávajícího FKZ v TNS Kadaň s ohledem na projektovanou rekonstrukci a rozšíření elektrizace střídavou trakční proudovou soustavou (v první fázi po žst. Kadaň-Prunéřov a žst. Kadaň, v druhé fázi po TNS Most).

Provedení analýzy bylo vyžádáno společností SUDOP PRAHA a.s., jakožto zpracovatele dokumentace pro stavbu „Elektrizace trati Kadaň Prunéřov - Kadaň“.

Identifikace u zákazníka:

- akce: Elektrizace trati Kadaň Prunéřov - Kadaň
- zakázkové číslo: 16-333.208

VYHODNOCENÍ / ZÁVĚR

V textu – kapitola 10 (str. 12)

PROTOKOL

Datum vydání:
10. 09. 2017


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

Počet stran:	13
Počet příloh:	5
Počet výtisků:	ev
Číslo výtisku:	ev

POZNÁMKY

ev – elektronický výtisk

1 ROZDĚLOVNÍK

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

2 OBSAH

1	Rozdělovník	2
2	Obsah.....	2
3	Cíl studie	3
4	Použitá dokumentace.....	3
5	Stávající stav	3
5.1	Parametry FKZ	4
5.1.1	filtrační větev 3. harmonické	4
5.1.2	filtrační větev 5. harmonické	4
5.1.3	dekompensační větev	4
5.1.4	výkonová bilance FKZ.....	4
5.1.5	parametry trakčního transformátoru.....	4
6	Návrhový stav	4
7	Vstupní údaje a požadavky	4
7.1	Výkon.....	4
7.2	Uvažované provozní stavy (posuzované varianty).....	4
7.2.1	Varianta 1 - popis	4
7.2.2	Varianta 1 - rozvinutá délka TV.....	4
7.2.3	Varianta 2a - popis	5
7.2.4	Varianta 2a - rozvinutá délka TV.....	5
7.2.5	Varianta 2b - popis	5
7.2.6	Varianta 2b - rozvinutá délka TV.....	5
7.3	Parametry pasivních prvků	5
7.4	Parametry napájecí sítě.....	5
7.4.1	Zkratové poměry v TNS Kadaň – vyjádření ČEZ distribuce a.s.	5
7.4.2	Kmitočet HDO v síti 110 kV ČEZ distribuce.....	5
7.5	Požadavky na meze ovlivnění distribuční sítě.....	6
7.5.1	Meze harmonických napětí způsobených harmonickými proudy	6
7.5.2	Minimální impedance na kmitočtu HDO	6
7.5.3	Nesymetrie napětí způsobená jedním odběratelem	6
7.6	Parametry trakční sítě a odběrů v této síti.....	6
7.6.1	Výpočtové napětí	6
7.6.2	Účinník trakčního odběru	6
7.6.3	Výpočtová spektra	6
7.6.4	Rezerva dekompenzační větve.....	6
8	Výsledky	7
8.1	Nesymetrie napětí	7
8.2	Společné parametry	7
8.3	Kompensace induktivního účinku EHV	7
8.4	Návrh dekompenzační tlumivky	8
8.4.1	Pro variantu 1 (plné napájení od TNS Karlovy Vary po žst. Kadaň) platí.....	8
8.4.2	Pro variantu 2b (plné napájení od TNS Karlovy Vary po TNS Most) platí.....	8
8.5	Omezení vlivu harmonických.....	9
8.6	Rezonanční kmitočet soustavy TNS – TV	10
9	Provozní režimy	10
9.1	Stávající stav	10
9.2	Stav po rekonstrukci TNS.....	10

9.2.1	Prodloužení napájení do žst. Kadaň (varianta 1).....	10
9.2.2	Prodloužení napájení po SpS Chomutov – jeden TT (varianta 2a)	11
9.2.3	Prodloužení napájení po TNS Most – jeden TT (varianta 2b)	11
9.2.4	Prodloužení napájení po TNS Most – dva TT.....	11
10	Závěr	12
10.1	Harmonické v přípojném bodě	12
10.2	Dimenzování prvků filtračních větví.....	12
10.3	Impedance na kmotočtu HDO	12
10.4	Nesymetrie napájecího napětí.....	13
11	Prohlášení zhotovitele.....	13

3 CÍL STUDIE

Cílem studie je ověření parametrů stávajícího FKZ v TNS Kadaň s ohledem na projektovanou rekonstrukci a rozšíření elektrizace střídavou trakční proudovou soustavou 25 kV 50 Hz (v první fázi po žst. Kadaň-Prunéřov a žst. Kadaň, v druhé fázi po TNS Most).

Primárním předpokladem je zachovat v maximální možné míře stávající filtrační prvky FKZ, dekompenzační větev bude modernizována na provedení bez snižovacího transformátoru s řízením dekompenzačního výkonu přímo na hladině 27,5 kV. Základním účelem této studie je ověření možnosti využití stávajících filtračních prvků a stanovit případná z toho vyplývající omezení a to s platností pro obě předpokládané fáze změn v napájení.

Provedení analýzy bylo vyžádáno společností SUDOP PRAHA a.s., jakožto zpracovatele dokumentace pro stavbu „Elektrizace trati Kadaň Prunéřov - Kadaň“.

4 POUŽITÁ DOKUMENTACE

- [1] *Projektová dokumentace stavby „Elektrizace trati Kadaň Prunéřov - Kadaň“, SUDOP PRAHA a.s., 2017*
- [2] *Výpočet rozvinutých délek trolejového vedení pro výhled elektrizace trati Kadaň – Most, SUDOP PRAHA a.s., pracovní materiál (kvalifikovaný odhad)*
- [3] *Projektová dokumentace stavby „ČD DDC, Elektrizace trati Kadaň – Karlovy Vary“, část D.4, „PS 42-05-04 TT Kadaň, filtračně kompenzační zařízení“, SUDOP PRAHA a.s., prosinec 2002*
- [4] *Dokument „Vyjádření ČEZ distribuce a.s.“, Ing. Josef Vlasák (podpora rozvoje)*
- [5] *Pravidla provozování distribučních soustav, ČEZ distribuce a.s., květen 2016*
- [6] *ČSN EN 50160 ed.3 - Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*
- [7] *ČSN EN 61000-4-30 ed.3 - Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 4-30: Zkušební a měřicí technika - Metody měření kvality energie*
- [8] *PNE 33 3430 (soubor)*

5 STÁVAJÍCÍ STAV

V současnosti je TNS Kadaň napájecí stanicí napájející koncově úsek (TNS Karlovy Vary –) SpS Vojkovice nad Ohří – TNS Kadaň. Neutrální pole u TNS Kadaň je stykem soustav, kdy navazující trať ve směru Chomutov/Most vč. žst. Kadaň-Prunéřov je elektrizována stejnoměrnou trakční proudovou soustavou napětí 3 kV.

TNS Kadaň má dva přívody na hladině 110 kV a dva trakční transformátory 110/27,5 kV 12,5 MVA. Pro eliminaci nevyhovujícího účinku odběru hnacích vozidel a omezení negativního vlivu harmonických složek na distribuční síť je instalováno jediné filtračně-kompenzační zařízení, které může být v provozu s libovolným trakčním transformátorem. FKZ je vystrojeno v rozsahu filtrační větve 3. harmonické, filtrační větve 5. harmonické a dekompenzační větve s dekompenzační tlumivkou na snížené napěťové hladině 6 kV.

5.1 Parametry FKZ

5.1.1 filtrační větev 3. harmonické

kapacita kondenzátorové baterie	10,317	μF
indukčnost tlumivky	114,94	mH
ladění větve	2,923	-
	146,15	Hz

5.1.2 filtrační větev 5. harmonické

kapacita kondenzátorové baterie	3,580	μF
indukčnost tlumivky	114,03	mH
ladění větve	4,982	-
	249,10	Hz

5.1.3 dekompenzační větev

napěťová hladina	6,0	kV
indukčnost dekompenzační tlumivky	24,8	mH

5.1.4 výkonová bilance FKZ

kapacitní výkon větve 3. harmonické na síťovém kmitočtu	2,776	Mvar
kapacitní výkon větve 5. harmonické na síťovém kmitočtu	0,886	Mvar
induktivní výkon dekompenzační větve	4,621	Mvar

5.1.5 parametry trakčních transformátorů

převod	110 / 27,5	kV
jmenovitý výkon	12,5	MVA
napětí nakrátko	12,5	%

6 NÁVRHOVÝ STAV

Navrhované upravené stavy napájení:

- při posunu neutrálního pole (styku soustav) od TNS Kadaň za žst. Kadaň-Pruněřov, tedy od TNS Kadaň dále ve směru Chomutov/Most, tj. reelektrizaci žst. Kadaň-Pruněřov, žst. Kadaň a souvisejícího traťového úseku střídavou trakční proudovou soustavou 25 kV 50 Hz,
- při reelektrizaci navazujícího úseku střídavou trakční proudovou soustavou 25 kV 50 Hz, uvažováno napájení proti budoucí SpS Dolní Rybník, resp. TNS Most.

7 VSTUPNÍ ÚDAJE A POŽADAVKY

7.1 Výkon

Dimenzování FKZ je provedené na P_{ef} stanovený ze jmenovitého výkonu trakčního transformátoru $S_n = 12,5$ MVA a účinnosti $\cos \varphi = 0,96$ při provozu TNS s kompenzací, tj. $P_{ef} = 12,0$ MW.

7.2 Uvažované provozní stavy (posuzované varianty)

7.2.1 Varianta 1 - popis

Z jednoho trakčního transformátoru (a FKZ) je napájen úsek trati od TNS Karlovy Vary přes SpS Vojkovice po TNS Kadaň a současně doplněný úsek zahrnující žst. Kadaň-Pruněřov a žst. Kadaň.

Napájení ve schématu „L“, mezní stav napájení při výluce TNS Karlovy Vary, provoz pouze jednoho TT + FKZ.

7.2.2 Varianta 1 - rozvinutá délka TV

TNS Karlovy Vary – SpS Vojkovice	$l_{TV} = 50,1$ km
SpS Vojkovice – TNS Kadaň	$l_{TV} = 58,2$ km
TNS Kadaň – žst. Kadaň-Pruněřov – žst. Kadaň (odhad)	$l_{TV} = 22,5$ km
výpočtová rezerva (zesilovací vedení, kabely, ...)	$l_{TV} = 4,2$ km

$l_{TV} = 135,0$ km

7.2.3 Varianta 2a - popis

Z jednoho trakčního transformátoru (a FKZ) je napájen úsek trati od SpS Vojkovice přes TNS Kadaň po SpS Dolní Rybník a současně úsek zahrnující žst. Kadaň-Pruněřov a žst. Kadaň.

Napájení ve schématu „T“, předpokládaný běžný provozní stav po posunu dělení soustav k TNS Most, provoz pouze jednoho TT + FKZ.

7.2.4 Varianta 2a - rozvinutá délka TV

SpS Vojkovice – TNS Kadaň	$l_{TV} = 58,2 \text{ km}$
TNS Kadaň – žst. Kadaň-Pruněřov – žst. Kadaň (odhad)	$l_{TV} = 22,5 \text{ km}$
žst. Kadaň – SpS Dolní Rybník	$l_{TV} = 51,8 \text{ km}$
výpočtová rezerva (zesilovací vedení, kabely, ...)	$l_{TV} = 17,5 \text{ km}$
	$l_{TV} = 150,0 \text{ km}$

7.2.5 Varianta 2b - popis

Z jednoho trakčního transformátoru (a FKZ) je napájen úsek trati od TNS Karlovy Vary přes SpS Vojkovice, TNS Kadaň, SpS Dolní Rybník po TNS Most a současně úsek zahrnující žst. Kadaň-Pruněřov a žst. Kadaň.

Napájení ve schématu „T“, mezní stav napájení při výluce TNS Karlovy Vary a TNS Most po posunu dělení soustav k TNS Most, provoz pouze jednoho TT + FKZ.

7.2.6 Varianta 2b - rozvinutá délka TV

TNS Karlovy Vary – SpS Vojkovice	$l_{TV} = 50,1 \text{ km}$
SpS Vojkovice – TNS Kadaň	$l_{TV} = 58,2 \text{ km}$
TNS Kadaň – žst. Kadaň-Pruněřov – žst. Kadaň (odhad)	$l_{TV} = 22,5 \text{ km}$
žst. Kadaň – SpS Dolní Rybník	$l_{TV} = 51,8 \text{ km}$
SpS Dolní Rybník – TNS Most	$l_{TV} = 88,9 \text{ km}$
výpočtová rezerva (zesilovací vedení, kabely, ...)	$l_{TV} = 28,5 \text{ km}$
	$l_{TV} = 300,0 \text{ km}$

7.3 **Parametry pasivních prvků**

Kapacita trakčního vedení jednokolejné trati $C_{1TV} = 15 \text{ nF/km}$

Kapacita trakčního vedení jednokolejné trati se zesilovacím vedením cca $C_{1TV} = 20 \text{ nF/km}$
(možnost využití zesilovacích vedení je zohledněna v rámci výpočtových rezerv)

Kapacita kabelových vedení $C_{kab} = 0 \text{ μF/km}$
(v této fázi projekce nelze objektivně zhodnotit délku a parametry kabelů, zohledněno v rámci výpočtových rezerv)

7.4 **Parametry napájecí sítě**

7.4.1 Zkratové poměry v TNS Kadaň – vyjádření ČEZ distribuce a.s.

minimální aktuální a výhledové (maximální) 3f zkratové proudy

- minimální:	$I_{kS3} = 5,3 \text{ kA}$
- maximální výhled:	$I_{kS3} = 18,6 \text{ kA}$

7.4.2 Kmitočet HDO v síti 110 kV ČEZ distribuce a.s.

$$f_{HDO} = 183,3 \text{ Hz (dle vyjádření ČEZ distribuce a.s.)}$$

7.5 Požadavky na meze ovlivnění distribuční sítě

7.5.1 Meze harmonických napětí způsobených harmonickými složkami proudu

Meze harmonických napětí způsobených harmonickými složkami proudu, které jsou emitované z TNS Kadaň (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

7.5.2 Minimální impedance na kmitočtu HDO (183,3 Hz)

$$Z_{\text{HDO,min}} = 980 \, \Omega \text{ (dle podkladů EGC - EnerGoConsult ČB s.r.o.)}$$

7.5.3 Nesymetrie napětí způsobená jedním odběratelem

$$u(2)\text{příp.} < 0,7\%$$

7.6 Parametry trakční sítě a odběrů v této síti

7.6.1 Výpočtové napětí

Uvažuje se 27,5 kV (nejvyšší trvalé napětí soustavy podle ČSN EN 50163).

7.6.2 Účinník trakčního odběru

Bez kompenzace uvažován $\cos \varphi = 0,84$, zařízením FKZ by měl být kompenzován na hodnotu 0,96 (požadovaná hodnota je v rozsahu 0,95 – 1) pouze kapacitním výkonem 1. harmonické filtrů pro 3. a 5. harmonickou.

7.6.3 Výpočtová spektra

Pro kontrolu činitele zkreslení napětí se uvažuje dále uvedené spektrum S1 a pro proudové a napěťové dimenzování prvků filtrů 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

7.6.4 Rezerva dekompenzační větve

Při návrhu dekompenzační větve se bude uvažovat rezerva na kapacitní výkon filtru 7. harmonické.

8 VÝSLEDKY

8.1 Nesymetrie napětí

Nesymetrie napětí a její výpočet (ověření) jsou dány normou PNE 33 3430-0.

Pro aktuální stav distribuční sítě a tomu odpovídající třífázový zkratový proud $I_{kS3} = 5,3$ kA činí zkratový výkon na hladině 110 kV $S_{k3max} = 1\,010$ MVA. Pro předpokládaný maximální výkon jednoho trakčního transformátoru na úrovni 12,5 MVA pak vychází stupeň nesymetrie k_U

$$k_U = \frac{S_A}{S_{kV}} = \frac{12,5}{1010} = 1,238 \%$$

Požadovaná hodnota $k_U < 0,7 \%$ bude splněna při uvažování aktuálního stavu sítě 110 kV a zatížení sítě mezifázovým odběrem realizovaným jedním nebo dvěma trakčními transformátory připojenými na totéž sdružené napětí sítě 110 kV s (okamžitým) výkonem menším než 7,07 MVA.

Pro výhledový stav distribuční sítě a (maximální) třífázový zkratový proud $I_{kS3} = 18,6$ kA činí odpovídající zkratový výkon na hladině 110 kV $S_{k3max} = 3\,544$ MVA. Pro předpokládaný maximální výkon jednoho trakčního transformátoru na úrovni 12,5 MVA pak vychází stupeň nesymetrie k_U

$$k_U = \frac{S_A}{S_{kV}} = \frac{12,5}{3544} = 0,353 \%$$

8.2 Společné parametry

Náhradní indukčnost napájecí sítě 110 kV, přepočtená na stranu 27,5 kV činí:

$$LV = \frac{U_V}{\sqrt{3} * 2 * \pi * f * I_{KS3} * p^2} = \frac{110.000}{\sqrt{3} * 2 * \pi * 50 * 5.300 * 4^2} = 2,383 \text{ mH}$$

Náhradní indukčnost trakčního transformátoru je dána hodnotou (při uvažování $u_k = 12,5 \%$):

$$LT = \frac{u_k * U_V^2}{200 * \pi * f * S_n * p^2} = \frac{12,50 * 110.000^2}{200 * \pi * 50 * 12.500.000 * 4^2} = 24,07 \text{ mH}$$

8.3 Kompenzace induktivního účinku EHV

Kompenzace nevyhovujícího induktivního účinku EHV do přípustné oblasti ($\cos \varphi = 0,96$) je řešena výhradně kapacitním charakterem filtračních větví FKZ. Stávající FKZ vykazuje dle dimenzování tyto parametry

kapacitní výkon větve 3. harmonické na síťovém kmotočtu	2,776 Mvar
kapacitní výkon větve 5. harmonické na síťovém kmotočtu	0,886 Mvar
celkový kapacitní výkon	3,662 Mvar

Potřebný kompenzační kapacitní výkon pro vykompenzování účinku trakčních odběrů z hodnoty 0,84 na požadovanou hodnotu 0,96 pro plné zatížení (12 MW) činí

$$Q_k = P_{TT} \times \{tg[arccos(\varphi)] - tg[arccos(\varphi_K)]\} = 4,251 \text{ Mvar (kapacitní)}$$

Aktuální stav tedy vykazuje teoretickou nedostatečnost ve výši cca 589 kvar. Toto by znamenalo, že při využití aktuálního FKZ může při překročení činného odběru ve výši cca 10,34 MW docházet nedostatečné kompenzaci induktivního charakteru odběru EHV a snížení účinnosti v místě připojení k distribuční síti pod sledovanou hodnotu, tj. 0,95. Tento jev však bude omezován či zcela eliminován:

- působením kapacity (a jalového kapacitního výkonu) trakčního vedení, kde příspěvek činí cca 35 kvar na každých 10 km rozvinuté délky TV (bez uvažování zesilovacích a obcházecích vedení),
- charakterem realizovaných odběrů, neboť výpočet předpokládá mezní provozní stav, tedy že TNS/TT/FKZ budou zatíženy na úrovni 100 % jmenovitého výkonu TT výhradně odběry EHV s nízkým účinností odebíraného výkonu ($\cos \varphi = 0,84$), a
- mírou induktivního charakteru odběru, neboť tento je distributorem elektrické energie vyhodnocován za delší časové období (obvykle 1 měsíc) a drobné „excesy“ jsou v tomto případě akceptovatelné.

S ohledem na délku napájených úseků a charakter provozu a zatížení TNS lze konstatovat, že i přes teoretickou nedostatečnost je pravděpodobnost dosažení nevyhovujícího induktivního charakteru TNS v místě připojení nízká.

8.4 Návrh dekompenzační tlumivky

Účelem dekompenzační tlumivky je zajistit induktivní kompenzaci kapacitního výkonu realizovaného filtračními větvemi FKZ a kapacitním výkonem trakčního vedení. Dekompenzační tlumivka musí být navržena pro maximální úsek, který může být napájen.

8.4.1 Pro variantu 1 (plné napájení od TNS Karlovy Vary po žst. Kadaň) platí

kapacitní výkon větve 3. harmonické na síťovém kmotočtu	2,776 Mvar
kapacitní výkon větve 5. harmonické na síťovém kmotočtu	0,886 Mvar
rezervy kapacitního výkonu pro větev 7. harmonické	0,200 Mvar
rozvinutá délka trakčního vedení vč. rezerv	135 km
ekvivalentní kapacitní výkon trakčního vedení	0,481 Mvar
minimální induktivní výkon dekompenzační tlumivky	4,343 Mvar

Tohoto dekompenzačního výkonu lze **na hladině 27,5 kV** docílit použitím tlumivky o hodnotě

$$L_{dek} = \frac{U^2}{2 * \pi * f * Q_{dek}} = \frac{27\,500^2}{2 * \pi * 50 * 4\,343\,000} = 0,55428\,H = 554,28\,mH$$

8.4.2 Pro variantu 2b (plné napájení od TNS Karlovy Vary po TNS Most) platí

kapacitní výkon větve 3. harmonické na síťovém kmotočtu	2,776 Mvar
kapacitní výkon větve 5. harmonické na síťovém kmotočtu	0,886 Mvar
rezervy kapacitního výkonu pro větev 7. harmonické	0,200 Mvar
rozvinutá délka trakčního vedení vč. rezerv	300 km
ekvivalentní kapacitní výkon trakčního vedení	1,069 Mvar
minimální induktivní výkon dekompenzační tlumivky	4,931 Mvar

Tohoto dekompenzačního výkonu lze **na hladině 27,5 kV** docílit použitím tlumivky o hodnotě

$$L_{dek} = \frac{U^2}{2 * \pi * f * Q_{dek}} = \frac{27\,500^2}{2 * \pi * 50 * 4\,931\,000} = 0,48818\,H = 488,18\,mH$$

Tato volba dekompenzační tlumivky přitom bude schopná pokrýt i dočasný stav uvedený pod variantou 1, byť v tomto případě s mírným přebytkem dostupného induktivního výkonu.

8.5 Omezení vlivu harmonických

Výstupy výpočtů vztahující se k omezení vlivu harmonických na nadřazenou distribuční síť jsou uvedeny v přílohách takto:

příl.	varianta	popis
1	1	<p>Provozní podmínky při uvažování</p> <ul style="list-style-type: none"> - normálního provozu, - spektra trakčního proudu S1 (tzv. obvyklé) a - při plném trakčním zatížení (12 MW) - aktuálního stavu distribuční sítě ($I_{kS3} = 5,3 \text{ kA}$). <p>Výskyt těchto provozních podmínek vychází z provozních pozorování a měření a jejich výskyt lze předpokládat s největší pravděpodobností.</p> <p>Určení: hodnocení připojitelnosti vůči distribuční síti</p>
2	1	<p>Mezní provozní podmínky při uvažování</p> <ul style="list-style-type: none"> - normálního provozu, - spektra trakčního proudu S2 (tzv. pesimistické) a - při plném trakčním zatížení (12 MW), - aktuálního stavu distribuční sítě ($I_{kS3} = 5,3 \text{ kA}$). <p>Výskyt tohoto spektra se předpokládá zejména teoreticky a jeho trvání se uvažuje po krátkou dobu. Prvky FKZ a prvky související však musí být napětově, proudově a výkonově dimenzovány tak, aby výskyt těchto parametrů vydržely po neomezenou dobu a byly schopny další funkce.</p> <p>Určení: dimenzování prvků</p>
3	2a	<p>Provozní podmínky při uvažování</p> <ul style="list-style-type: none"> - normálního provozu, - spektra trakčního proudu S1 (tzv. obvyklé) a - při plném trakčním zatížení (12 MW) - aktuálního stavu distribuční sítě ($I_{kS3} = 5,3 \text{ kA}$). <p>Výskyt těchto provozních podmínek vychází z provozních pozorování a měření a jejich výskyt lze předpokládat s největší pravděpodobností.</p> <p>Určení: hodnocení připojitelnosti vůči distribuční síti</p>
4	2b	<p>Provozní podmínky při uvažování</p> <ul style="list-style-type: none"> - normálního provozu, - spektra trakčního proudu S1 (tzv. obvyklé) a - při plném trakčním zatížení (12 MW) - aktuálního stavu distribuční sítě ($I_{kS3} = 5,3 \text{ kA}$). <p>Výskyt těchto provozních podmínek vychází z provozních pozorování a měření a jejich výskyt lze předpokládat s největší pravděpodobností.</p> <p>Určení: hodnocení připojitelnosti vůči distribuční síti</p>
5	2b	<p>Mezní provozní podmínky při uvažování</p> <ul style="list-style-type: none"> - normálního provozu, - spektra trakčního proudu S2 (tzv. pesimistické) a - při plném trakčním zatížení (12 MW), - aktuálního stavu distribuční sítě ($I_{kS3} = 5,3 \text{ kA}$). <p>Výskyt tohoto spektra se předpokládá zejména teoreticky a jeho trvání se uvažuje po krátkou dobu. Prvky FKZ a prvky související však musí být napětově, proudově a výkonově dimenzovány tak, aby výskyt těchto parametrů vydržely po neomezenou dobu a byly schopny další funkce.</p> <p>Určení: dimenzování prvků</p>

Při volbě vhodných parametrů FKZ je nutno vycházet též ze skutečnosti existence rezonančního kmitočtu celé trakční soustavy, tvořené distribuční sítí, TNS a trakčním vedením. Pro napájené trakční vedení rozvinuté délky v rozmezí cca 300 km v kombinaci s napájecí sítí zkratového výkonu 5,30 kA je tento rezonanční kmitočet v blízkosti cca 500 - 550 Hz a ovlivňuje tedy harmonické složky napětí řádů 9 a 11. Při plné zatížení TNS trakčním proudem spektra S1 i S2 by tak docházelo k nebezpečnému navýšení obsahu této harmonické jak v přípojném bodě, tak i v jednotlivých prvcích filtračních členů.

Výše uvedený stav je však zejména teoretický a v reálném provozu je omezen jak proměnlivým charakterem distribuční sítě, tak i parametry trakční sítě a trakčních odběrů, neboť v rámci analýz a simulací nejsou plně uvažovány reálné odpory a ztráty soustavy, které tyto jevy obvykle efektivně tlumí.

8.6 Rezananční kmitočet soustavy TNS – TV

Při výpočtu rezonančního kmitočtu soustavy bylo třeba zohlednit, že nejsou známy a dostupné parametry připojovacího vedení na hladině 110 kV (délka, vlnový charakter, impedance apod.). S ohledem na vysoký dostupný zkratový výkon byly výpočty uvažovány bez přívodního vedení (tedy s předpokladem připojení v místě s „nekonečným“ zkratovým výkonem).

Současně s ohledem na rozsáhlý charakter napájených sítí není možno objektivně a spolehlivě predikovat každou konkrétní konfiguraci trakční sítě. V tabulce níže jsou uvedeny předpokládané vypočtené rezonanční kmitočty pro situaci dvojkolejně trati napájené jedním transformátorem bez uvažování přívodního vedení (tedy s předpokladem připojení v místě s „nekonečným“ zkratovým výkonem).

délka úseku	l [km]	15	20	25	30	35	40
rezonanční kmitočet	n_r [-]	29,08	24,79	21,82	19,62	17,89	16,49
	f_r [Hz]	1454	1239	1091	981	895	825

9 PROVOZNÍ REŽIMY

9.1 Stávající stav

V současnosti je FKZ v TNS Kadaň provozováno pro kompenzaci a filtraci ve standardním režimu napájení, tedy při napájení úseku od SpS Vojkovice po NP u TNS Kadaň. Tento stav není předmětem hodnocení.

9.2 Stav po rekonstrukci TNS

V rámci rekonstrukce TNS Kadaň je uvažováno se zachováním stávajících filtračních větví FKZ a obnovou (modernizací) dekompenzační větve. Rozšíření počtu FKZ se nepředpokládá.

Při prodloužení napájení pouze do žst. Kadaň-Pruněrov a žst. Kadaň nedojde k významným změnám v napájeném obvodu. Při prodloužení možnosti napájení po SpS Dolní Rybník případně po TNS Most dojde k významným změnám v napájeném obvodu.

9.2.1 Prodloužení napájení do žst. Kadaň (varianta 1)

Napájení je v tomto případě ve schématu „L“ – jeden trakční transformátor napájející trakční vedení koncově.

V tomto režimu provozu FKZ zajistí dostatečnou filtraci harmonických v plném rozsahu zatížení (uvažováno plné zatížení trakčního transformátoru obvyklým spektrem odběru) i při výlukovém napájení po TNS Karlovy Vary. Z hlediska kompenzace induktivního účinku EHV lze konstatovat, že i přes teoretickou nedostatečnost je pravděpodobnost dosažení nevyhovujícího induktivního charakteru TNS v místě připojení nízká (viz 8.3).

9.2.2 Prodloužení napájení po SpS Dolní Rybník – jeden TT (varianta 2a)

Napájení je v tomto případě ve schématu „T“ – jeden trakční transformátor napájející trakční vedení dvěma směry. **Standardní režim provozu** uvažovaný v této variantě a příloze 3 je napájení od SpS Vojkovice přes TNS Kadaň po SpS Dolní Rybník.

V tomto režimu provozu FKZ zajistí dostatečnou filtraci harmonických v plném rozsahu zatížení (uvažováno plné zatížení trakčního transformátoru obvyklým spektrem odběru). Z hlediska kompenzace induktivního účinku EHV lze konstatovat, že i přes teoretickou nedostatečnost je pravděpodobnost dosažení nevyhovujícího induktivního charakteru TNS v místě připojení nízká (viz 8.3).

9.2.3 Prodloužení napájení po TNS Most – jeden TT (varianta 2b)

Napájení je v tomto případě ve schématu „T“ – jeden trakční transformátor napájející trakční vedení dvěma směry. **Režim provozu uvažovaný v této variantě a přílohách 4-5 je mezní výlukový** s napájením od TNS Karlovy Vary přes SpS Vojkovice, TNS Kadaň, SpS Dolní Rybník po TNS Most (výluka TNS Karlovy Vary a TNS Most).

V tomto režimu provozu FKZ není schopno zajistit dostatečnou filtraci harmonických v plném rozsahu zatížení (uvažováno plné zatížení trakčního transformátoru obvyklým spektrem odběru), neboť lze předpokládat působení rezonančních vlivů trakčního vedení a zvýšení úrovně harmonických složek řádů 9 a 11. Z hlediska kompenzace induktivního účinku EHV lze konstatovat, že i přes teoretickou nedostatečnost je pravděpodobnost dosažení nevyhovujícího induktivního charakteru TNS v místě připojení nízká (viz 8.3).

9.2.4 Prodloužení napájení po TNS Most – dva TT

Napájení je v tomto případě ve schématu „V“ – dva trakční transformátory napájející každý koncově jeden ze směrů.

Pro úsek s připojeným FKZ bude platit analogicky varianta 1 (viz 9.2.1). Pro zajištění plné kompenzace a filtrace druhého napájeného úseku by bylo třeba zbudovat druhé FKZ.

Avšak v případě, že v daném napájeném úseku budou provozována výhradně hnací vozidla s nízkými emisemi harmonických a vysokou jakostí odebíraného výkonu (účinník 0,95 -1,00 induktivních), lze od doplnění druhého FKZ upustit. I v takovém případě je však třeba řešit kompenzaci kapacitního charakteru trakčního vedení a ostatních prvků trakčního obvodu (zesilovací a obcházecí vedení, kabely, ...) tak, aby nedošlo v žádném provozním režimu k přechodu TNS jako celku v místě připojení k distribuční síti do kapacitního charakteru.

Kapacita trakčního vedení a ostatních prvků trakčního obvodu je přitom kvazistatická hodnota závislá pouze na rozsahu napájené trakční sítě, což např. umožňuje upustit od využití dynamicky řízených kompenzačních prvků a využít statických prvků. Není přitom podstatné, zda bude kompenzace řešena centrálně, např. tedy v napájecí stanici, anebo decentralizovaně, např. kompenzačními tlumivkami rozloženými ve významných místech trakčního obvodu (kupř. železničních stanicích).

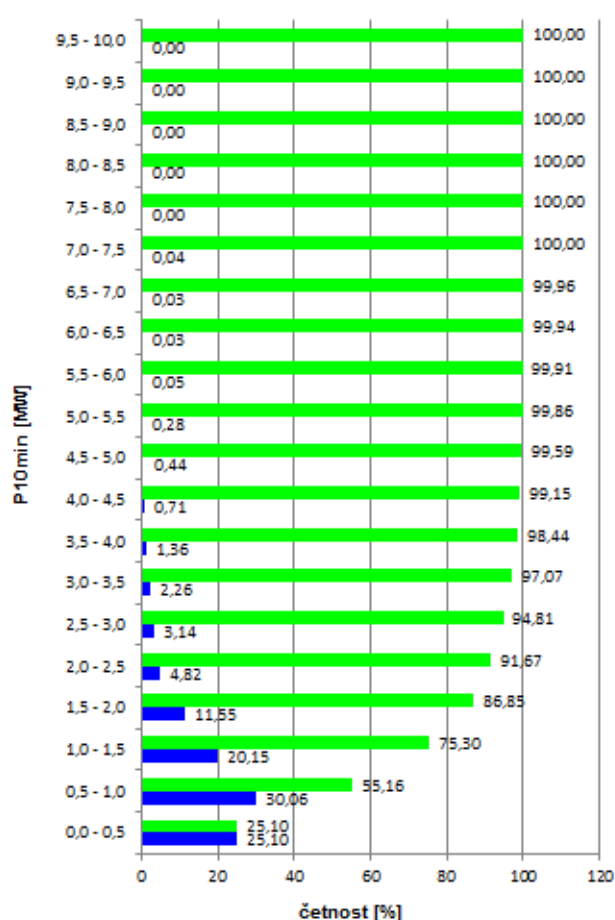
Předběžně lze předpokládat, že potřebná kompenzace bude odpovídat výše uvedené hodnotě (viz též 8.3)

$$Q_{TV} = 35 \text{ kvar} / 10 \text{ km (rozvinuté délky TV)}.$$

10 ZÁVĚR

10.1 Harmonické v přípojném bodě

Z hodnot zbytkových harmonických složek v místě připojení uvedených v příloze 4 (napájení ve schématu „T“ v TNS Kadaň s uvažováním výluk TNS Karlovy Vary a TNS Most) vyplývá, že může docházet k překročení limitních hodnot, uvedených v článku 7.5.1, a to pro harmonické složky řádů 9 a 11. Dané překročení je však vázáno na plné trakční zatížení EHV s účinníkem odběru 0,84 a aktuální stav napájecí distribuční sítě 110 kV (minimální zkratový výkon). V běžných uvažovaných provozních stavech napájení (viz přílohy 1 a 3) se překročení nepředpokládá.



Vyhodnocování harmonických v souladu s normami PNE 33 3430-1 a ČSN EN 61000-4-30 a PPDS probíhá obvykle v 10minutových průměrovaných intervalech a 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 intervalech v průběhu jednoho týdne.

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

V normální provozní konfiguraci tedy není předpoklad překročení limitních hodnot harmonických složek napětí v přípojném místě ani krátkodobě při plném trakčním zatížení.

10.2 Dimenzování prvků filtračních větví

Pro dimenzování prvků filtračních větví je nutno využít mezní provozní hodnoty uvedené v příloze 2, resp. příloze 5 – oddíl „Proudové poměry ve filtračních větvích“ a oddíl „Napěťové poměry ve filtračních větvích“.

10.3 Impedance na kmitočtu HDO

Jak vyplývá z údajů uvedených v přílohách 1 - 5, ve všech provozních konfiguracích nelze předpokládat pokles vstupní impedance TNS jako celku na kmitočtu HDO pod minimální impedanci ($Z_{HDO} > 980 \Omega$) a to bez ohledu na stav připojení FKZ, trakčního vedení či zatížení TNS.

10.4 Nesymetrie napájecího napětí

Pro překročení limitní hodnoty příspěvku nesymetrie napájecího napětí způsobené provozem TNS Kadaň platí analogické odvození jako výše pro harmonické – i hodnota nesymetrie je vyhodnocována v 10minutových intervalech a nelze objektivně předpokládat, že by při současném stavu distribuční napájecí sítě a realizaci odběru z jednoho sdruženého napětí 110 kV došlo k trvalému odběru na takové úrovni, aby jeho průměrná 10minutová hodnota činila více jak 7,07 MVA. Tento stav navíc odpovídá nejnižšímu dostupnému zkratovému výkonu napájecí distribuční sítě, tudíž lze objektivně předpokládat, že zkratový výkon bude vyšší a vlivy nesymetrie tedy ekvivalentně nižší.

11 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.

Ověření filtračně-kompenzačního zařízení pro trakční transformovnu

Trakční transformovna (TNS): **TNS Kadaň**
 Ověřované spektrum: **S1 - obvyklé**

konfigurace: **1**

Základní vstupní údaje napájecí sítě a trakčního transformátoru

třífázový zkratový proud sítě 110 kV: $I_{kS} = 5,300 \text{ kA}$
 náhradní indukčnost sítě 110 kV přepočtená na hladinu 27,5 kV: $LV = 2,383 \text{ mH}$
 náhradní indukčnost trakčního transformátoru: $LT = 24,070 \text{ mH}$

Obsah napěťových složek ve stavu bez filtrace a ověřované spektrum trakčního proudu

harmonická	napěťové složky bez filtrace			ověřované spektrum trakčního proudu
	v trakčním napětí	v přípojném místě		
řádu 1 (50 Hz)	27500,0 V			
řádu 3 (150 Hz)	3399,6 V	1,114 %		25,00 % I1
řádu 5 (250 Hz)	2487,3 V	0,815 %		10,00 % I1
řádu 7 (350 Hz)	2039,3 V	0,668 %		5,00 % I1
řádu 9 (450 Hz)	2038,6 V	0,668 %		3,00 % I1
řádu 11 (550 Hz)	2636,1 V	0,864 %		2,00 % I1
řádu 13 (650 Hz)	5268,9 V	1,726 %		1,00 % I1

Elektrické parametry prvků FKZ

		filtrační LC větve		dekompenzační větve
		3.h	5.h	
kapacita kondenzátoru	C [μF]	10,317	3,580	
tang_delta kondenzátoru	tg δ [%]	0,400	0,400	
jalový výkon tlumivky	Q [kvar]			4 931,01
indukčnost tlumivky	L [mH]	114,940	114,030	488,18
jakost tlumivky	QL [-]	30,000	30,000	
odpor tlumivky	RL [Ω]	1,204	1,194	
ladění větve	fr [Hz]	146,15	249,10	
	nr [-]	2,923	4,982	

Stav s filtrací

harmonická	napěťová složka v trakčním napětí	procentní hodnoty		omezení filtrem napětí v příp. místě
		zbytek v proudu TT	napětí v příp. místě	
řádu 3 (150 Hz)	625,2 V	19,31 %	0,20 %	18,39 %
řádu 5 (250 Hz)	118,7 V	5,50 %	0,04 %	4,77 %
řádu 7 (350 Hz)	1014,4 V	67,13 %	0,33 %	49,74 %
řádu 9 (450 Hz)	1001,9 V	85,96 %	0,33 %	49,15 %
řádu 11 (550 Hz)	1055,7 V	111,15 %	0,35 %	40,05 %
řádu 13 (650 Hz)	904,1 V	161,09 %	0,30 %	17,16 %

Proudové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota proudu složky		větev 5. harmonické hodnota proudu složky	
	absolutně	vůči proudu I1	absolutně	vůči proudu I1
řádu 1 (50 Hz)	100,95 A		32,23 A	
řádu 3 (150 Hz)	109,91 A	84,63 % I1	3,31 A	2,55 % I1
řádu 5 (250 Hz)	1,00 A	1,92 % I1	49,96 A	96,18 % I1
řádu 7 (350 Hz)	4,86 A	18,71 % I1	8,20 A	31,55 % I1
řádu 9 (450 Hz)	3,45 A	22,11 % I1	4,48 A	28,74 % I1
řádu 11 (550 Hz)	2,86 A	27,52 % I1	3,37 A	32,43 % I1
řádu 13 (650 Hz)	2,03 A	39,04 % I1	2,28 A	43,80 % I1
celkový proud (efektivní h.)	149,40 A		60,41 A	

Napěťové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota napětí složky		větev 5. harmonické hodnota napětí složky	
	na kondenzátoru	na tlumivce	na kondenzátoru	na tlumivce
řádu 1 (50 Hz)	31 144,8 V	3 647,1 V	28 654,5 V	1 155,1 V
řádu 3 (150 Hz)	11 303,5 V	11 907,6 V	980,8 V	355,7 V
řádu 5 (250 Hz)	61,6 V	180,3 V	8 884,6 V	8 949,7 V
řádu 7 (350 Hz)	214,2 V	1 228,6 V	1 040,9 V	2 055,2 V
řádu 9 (450 Hz)	118,1 V	1 120,0 V	442,6 V	1 444,4 V
řádu 11 (550 Hz)	80,2 V	1 135,9 V	272,4 V	1 328,0 V
řádu 13 (650 Hz)	48,1 V	952,2 V	155,6 V	1 059,7 V
celkové napětí (efektivní h.)	33 133,7 V	12 652,5 V	30 039,2 V	9 526,5 V
maximální napětí (vrchol.h.)	60 769,7 V		57 178,6 V	

Odhad ztrát ve filtrech a výpočet kompenzačního výkonu

	odhad činných ztrát			kompenzační výkon kapacitní
	v tlumivce	v kondenzátoru	ve větvi celkem	
filtrační větev 3. harmonické	30 627 W	17 553 W	48 179 W	2 775 990 var
filtrační větev 5. harmonické	6 602 W	5 530 W	12 132 W	886 253 var
celkově			60 311 W	3 662 243 var

Vypočtené impedance TNS jako celku na kmitočtu HDO v místě připojení

stav prvků FKZ - TV + kabely - trakční odběr	impedance			
	absolutní hodnota	komplexní hodnota		
připojeno - odpojeno - bez odběru	1 628 Ω	54 + j.	1 627	Ω
připojeno - připojeno - bez odběru	1 875 Ω	79 + j.	1 873	Ω
připojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 082 Ω	565 + j.	922	Ω
odpojeno - připojeno - bez odběru	6 416 Ω	0 - j.	6 416	Ω
odpojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 113 Ω	1 007 + j.	473	Ω

Ověření filtračně-kompenzačního zařízení pro trakční transformovnu

Trakční transformovna (TNS): **TNS Kadaň**
 Ověřované spektrum: **S2 - pesimistické**

konfigurace: **1**

Základní vstupní údaje napájecí sítě a trakčního transformátoru

třífázový zkratový proud sítě 110 kV: $I_{kS} = 5,300 \text{ kA}$
 náhradní indukčnost sítě 110 kV přepočtená na hladinu 27,5 kV: $LV = 2,383 \text{ mH}$
 náhradní indukčnost trakčního transformátoru: $LT = 24,070 \text{ mH}$

Obsah napěťových složek ve stavu bez filtrace a ověřované spektrum trakčního proudu

harmonická	napěťové složky bez filtrace			ověřované spektrum trakčního proudu
	v trakčním napětí	v přípojném místě		
řádu 1 (50 Hz)	27500,0 V			
řádu 3 (150 Hz)	4759,4 V	1,559 %		35,00 % I1
řádu 5 (250 Hz)	6218,3 V	2,037 %		25,00 % I1
řádu 7 (350 Hz)	6117,8 V	2,004 %		15,00 % I1
řádu 9 (450 Hz)	8154,6 V	2,671 %		12,00 % I1
řádu 11 (550 Hz)	13180,7 V	4,318 %		10,00 % I1
řádu 13 (650 Hz)	47420,0 V	15,534 %		9,00 % I1

Elektrické parametry prvků FKZ

		filtrační LC větve		dekompenzační větve
		3.h	5.h	
kapacita kondenzátoru	C [μF]	10,317	3,580	
tang_delta kondenzátoru	tg δ [%]	0,400	0,400	
jalový výkon tlumivky	Q [kvar]			4 931,01
indukčnost tlumivky	L [mH]	114,940	114,030	488,18
jakost tlumivky	QL [-]	30,000	30,000	
odpor tlumivky	RL [Ω]	1,204	1,194	
ladění větve	fr [Hz]	146,15	249,10	
	nr [-]	2,923	4,982	

Stav s filtrací

harmonická	napěťová složka v trakčním napětí	procentní hodnoty		omezení filtrem napětí v příp. místě
		zbytek v proudu TT	napětí v příp. místě	
řádu 3 (150 Hz)	875,2 V	19,31 %	0,29 %	18,39 %
řádu 5 (250 Hz)	296,7 V	5,50 %	0,10 %	4,77 %
řádu 7 (350 Hz)	3043,2 V	67,13 %	1,00 %	49,74 %
řádu 9 (450 Hz)	4007,7 V	85,96 %	1,31 %	49,15 %
řádu 11 (550 Hz)	5278,3 V	111,15 %	1,73 %	40,05 %
řádu 13 (650 Hz)	8136,5 V	161,09 %	2,67 %	17,16 %

Proudové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota proudu složky		větev 5. harmonické hodnota proudu složky	
	absolutně	vůči proudu I1	absolutně	vůči proudu I1
řádu 1 (50 Hz)	100,95 A		32,23 A	
řádu 3 (150 Hz)	153,87 A	84,63 % I1	4,63 A	2,55 % I1
řádu 5 (250 Hz)	2,50 A	1,92 % I1	124,91 A	96,18 % I1
řádu 7 (350 Hz)	14,58 A	18,71 % I1	24,59 A	31,55 % I1
řádu 9 (450 Hz)	13,78 A	22,11 % I1	17,92 A	28,74 % I1
řádu 11 (550 Hz)	14,30 A	27,52 % I1	16,85 A	32,43 % I1
řádu 13 (650 Hz)	18,25 A	39,04 % I1	20,48 A	43,80 % I1
celkový proud (efektivní h.)	186,58 A		135,24 A	

Napěťové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota napětí složky		větev 5. harmonické hodnota napětí složky	
	na kondenzátoru	na tlumivce	na kondenzátoru	na tlumivce
řádu 1 (50 Hz)	31 144,8 V	3 647,1 V	28 654,5 V	1 155,1 V
řádu 3 (150 Hz)	15 824,9 V	16 670,6 V	1 373,1 V	497,9 V
řádu 5 (250 Hz)	154,1 V	450,8 V	22 211,6 V	22 374,3 V
řádu 7 (350 Hz)	642,7 V	3 685,8 V	3 122,8 V	6 165,5 V
řádu 9 (450 Hz)	472,6 V	4 480,2 V	1 770,2 V	5 777,7 V
řádu 11 (550 Hz)	401,0 V	5 679,3 V	1 361,9 V	6 640,1 V
řádu 13 (650 Hz)	433,2 V	8 569,7 V	1 400,5 V	9 536,9 V
celkové napětí (efektivní h.)	34 949,1 V	20 754,9 V	36 510,6 V	26 620,1 V
maximální napětí (vrchol.h.)	69 400,1 V		84 703,8 V	

Odhad ztrát ve filtrech a výpočet kompenzačního výkonu

	odhad činných ztrát			kompenzační výkon kapacitní
	v tlumivce	v kondenzátoru	ve větvi celkem	
filtrační větev 3. harmonické	52 156 W	22 436 W	74 591 W	2 775 990 var
filtrační větev 5. harmonické	39 174 W	15 457 W	54 631 W	886 253 var
celkově			129 222 W	3 662 243 var

Vypočtené impedance TNS jako celku na kmitočtu HDO v místě připojení

stav prvků FKZ - TV + kabely - trakční odběr	impedance			
	absolutní hodnota	komplexní hodnota		
připojeno - odpojeny - bez odběru	1 628 Ω	54 + j.	1 627	Ω
připojeno - připojeny - bez odběru	1 875 Ω	79 + j.	1 873	Ω
připojeno - připojeny - plný trakční odběr	1 082 Ω	565 + j.	922	Ω
odpojeno - připojeny - bez odběru	6 416 Ω	0 - j.	6 416	Ω
odpojeno - připojeny - plný trakční odběr	1 113 Ω	1 007 + j.	473	Ω

Ověření filtračně-kompenzačního zařízení pro trakční transformovnu

Trakční transformovna (TNS): **TNS Kadaň**
 Ověřované spektrum: **S1 - obvyklé**

konfigurace: **2a**

Základní vstupní údaje napájecí sítě a trakčního transformátoru

třífázový zkratový proud sítě 110 kV: $I_{kS} = 5,300 \text{ kA}$
 náhradní indukčnost sítě 110 kV přepočtená na hladinu 27,5 kV: $LV = 2,383 \text{ mH}$
 náhradní indukčnost trakčního transformátoru: $LT = 24,070 \text{ mH}$

Obsah napěťových složek ve stavu bez filtrace a ověřované spektrum trakčního proudu

harmonická	napěťové složky bez filtrace			ověřované spektrum trakčního proudu
	v trakčním napětí	v přípojném místě		
řádu 1 (50 Hz)	27500,0 V			
řádu 3 (150 Hz)	3418,6 V	1,120 %		25,00 % I1
řádu 5 (250 Hz)	2530,1 V	0,829 %		10,00 % I1
řádu 7 (350 Hz)	2121,7 V	0,695 %		5,00 % I1
řádu 9 (450 Hz)	2223,7 V	0,728 %		3,00 % I1
řádu 11 (550 Hz)	3284,0 V	1,076 %		2,00 % I1
řádu 13 (650 Hz)	77508,3 V	25,390 %		1,00 % I1

Elektrické parametry prvků FKZ

		filtrační LC větve		dekompenzační větev
		3.h	5.h	
kapacita kondenzátoru	C [μF]	10,317	3,580	
tang_delta kondenzátoru	tg δ [%]	0,400	0,400	
jalový výkon tlumivky	Q [kvar]			4 931,01
indukčnost tlumivky	L [mH]	114,940	114,030	488,18
jakost tlumivky	QL [-]	30,000	30,000	
odpor tlumivky	RL [Ω]	1,204	1,194	
ladění větve	fr [Hz]	146,15	249,10	
	nr [-]	2,923	4,982	

Stav s filtrací

harmonická	napěťová složka v trakčním napětí	procentní hodnoty		omezení filtrem napětí v příp. místě
		zbytek v proudu TT	napětí v příp. místě	
řádu 3 (150 Hz)	625,8 V	19,33 %	0,20 %	18,31 %
řádu 5 (250 Hz)	118,8 V	5,50 %	0,04 %	4,69 %
řádu 7 (350 Hz)	1034,4 V	68,46 %	0,34 %	48,75 %
řádu 9 (450 Hz)	1044,6 V	89,62 %	0,34 %	46,98 %
řádu 11 (550 Hz)	1146,2 V	120,68 %	0,38 %	34,90 %
řádu 13 (650 Hz)	1076,1 V	191,75 %	0,35 %	1,39 %

Proudové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota proudu složky		větev 5. harmonické hodnota proudu složky	
	absolutně	vůči proudu I1	absolutně	vůči proudu I1
řádu 1 (50 Hz)	100,95 A		32,23 A	
řádu 3 (150 Hz)	110,02 A	84,72 % I1	3,31 A	2,55 % I1
řádu 5 (250 Hz)	1,00 A	1,92 % I1	49,99 A	96,22 % I1
řádu 7 (350 Hz)	4,96 A	19,08 % I1	8,36 A	32,17 % I1
řádu 9 (450 Hz)	3,59 A	23,06 % I1	4,67 A	29,97 % I1
řádu 11 (550 Hz)	3,10 A	29,88 % I1	3,66 A	35,22 % I1
řádu 13 (650 Hz)	2,41 A	46,48 % I1	2,71 A	52,14 % I1
celkový proud (efektivní h.)	149,49 A		60,50 A	

Napěťové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota napětí složky		větev 5. harmonické hodnota napětí složky	
	na kondenzátoru	na tlumivce	na kondenzátoru	na tlumivce
řádu 1 (50 Hz)	31 144,8 V	3 647,1 V	28 654,5 V	1 155,1 V
řádu 3 (150 Hz)	11 314,8 V	11 919,4 V	981,8 V	356,0 V
řádu 5 (250 Hz)	61,7 V	180,4 V	8 888,9 V	8 954,0 V
řádu 7 (350 Hz)	218,4 V	1 252,8 V	1 061,4 V	2 095,7 V
řádu 9 (450 Hz)	123,2 V	1 167,8 V	461,4 V	1 506,0 V
řádu 11 (550 Hz)	87,1 V	1 233,3 V	295,8 V	1 441,9 V
řádu 13 (650 Hz)	57,3 V	1 133,4 V	185,2 V	1 261,4 V
celkové napětí (efektivní h.)	33 137,6 V	12 694,3 V	30 041,9 V	9 589,8 V
maximální napětí (vrchol.h.)	60 821,5 V		57 316,6 V	

Odhad ztrát ve filtrech a výpočet kompenzačního výkonu

	odhad činných ztrát			kompenzační výkon kapacitní
	v tlumivce	v kondenzátoru	ve větvi celkem	
filtrační větev 3. harmonické	30 686 W	17 563 W	48 250 W	2 775 990 var
filtrační větev 5. harmonické	6 644 W	5 535 W	12 178 W	886 253 var
celkově			60 428 W	3 662 243 var

Vypočtené impedance TNS jako celku na kmitočtu HDO v místě připojení

stav prvků FKZ - TV + kabely - trakční odběr	impedance			
	absolutní hodnota	komplexní hodnota		
připojeno - odpojeno - bez odběru	1 628 Ω	54 + j.	1 627	Ω
připojeno - připojeno - bez odběru	1 908 Ω	82 + j.	1 907	Ω
připojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 085 Ω	574 + j.	921	Ω
odpojeno - připojeno - bez odběru	5 730 Ω	0 - j.	5 730	Ω
odpojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 107 Ω	1 008 + j.	457	Ω

Ověření filtračně-kompenzačního zařízení pro trakční transformovnu

Trakční transformovna (TNS): **TNS Kadaň**
 Ověřované spektrum: **S1 - obvyklé**

konfigurace: **2b**

Základní vstupní údaje napájecí sítě a trakčního transformátoru

třífázový zkratový proud sítě 110 kV: $I_{kS} = 5,300 \text{ kA}$
 náhradní indukčnost sítě 110 kV přepočtená na hladinu 27,5 kV: $LV = 2,383 \text{ mH}$
 náhradní indukčnost trakčního transformátoru: $LT = 24,070 \text{ mH}$

Obsah napěťových složek ve stavu bez filtrace a ověřované spektrum trakčního proudu

harmonická	napěťové složky bez filtrace			ověřované spektrum trakčního proudu
	v trakčním napětí	v přípojném místě		
řádu 1 (50 Hz)	27500,0 V			
řádu 3 (150 Hz)	3620,7 V	1,186 %		25,00 % I1
řádu 5 (250 Hz)	3056,2 V	1,001 %		10,00 % I1
řádu 7 (350 Hz)	3561,0 V	1,167 %		5,00 % I1
řádu 9 (450 Hz)	24102,5 V	7,895 %		3,00 % I1
řádu 11 (550 Hz)	2252,9 V	0,738 %		2,00 % I1
řádu 13 (650 Hz)	569,5 V	0,187 %		1,00 % I1

Elektrické parametry prvků FKZ

		filtrační LC větve		dekompenzační větve
		3.h	5.h	
kapacita kondenzátoru	C [μF]	10,317	3,580	
tang_delta kondenzátoru	tg δ [%]	0,400	0,400	
jalový výkon tlumivky	Q [kvar]			4 931,01
indukčnost tlumivky	L [mH]	114,940	114,030	488,18
jakost tlumivky	QL [-]	30,000	30,000	
odpor tlumivky	RL [Ω]	1,204	1,194	
ladění větve	fr [Hz]	146,15	249,10	
	nr [-]	2,923	4,982	

Stav s filtrací

harmonická	napěťová složka v trakčním napětí	procentní hodnoty		omezení filtrem napětí v příp. místě
		zbytek v proudu TT	napětí v příp. místě	
řádu 3 (150 Hz)	632,1 V	19,52 %	0,21 %	17,46 %
řádu 5 (250 Hz)	119,3 V	5,53 %	0,04 %	3,90 %
řádu 7 (350 Hz)	1288,2 V	85,26 %	0,42 %	36,18 %
řádu 9 (450 Hz)	1821,2 V	156,24 %	0,60 %	7,56 %
řádu 11 (550 Hz)	8046,0 V	847,15 %	2,64 %	357,15 %
řádu 13 (650 Hz)	1190,7 V	212,16 %	0,39 %	209,09 %

Proudové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota proudu složky		větev 5. harmonické hodnota proudu složky	
	absolutně	vůči proudu I1	absolutně	vůči proudu I1
řádu 1 (50 Hz)	100,95 A		32,23 A	
řádu 3 (150 Hz)	111,13 A	85,57 % I1	3,35 A	2,58 % I1
řádu 5 (250 Hz)	1,00 A	1,93 % I1	50,22 A	96,68 % I1
řádu 7 (350 Hz)	6,17 A	23,76 % I1	10,41 A	40,07 % I1
řádu 9 (450 Hz)	6,26 A	40,20 % I1	8,14 A	52,25 % I1
řádu 11 (550 Hz)	21,79 A	209,76 % I1	25,68 A	247,21 % I1
řádu 13 (650 Hz)	2,67 A	51,43 % I1	3,00 A	57,69 % I1
celkový proud (efektivní h.)	151,99 A		66,45 A	

Napěťové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota napětí složky		větev 5. harmonické hodnota napětí složky	
	na kondenzátoru	na tlumivce	na kondenzátoru	na tlumivce
řádu 1 (50 Hz)	31 144,8 V	3 647,1 V	28 654,5 V	1 155,1 V
řádu 3 (150 Hz)	11 428,6 V	12 039,3 V	991,6 V	359,6 V
řádu 5 (250 Hz)	61,9 V	181,3 V	8 931,2 V	8 996,6 V
řádu 7 (350 Hz)	272,0 V	1 560,2 V	1 321,9 V	2 609,9 V
řádu 9 (450 Hz)	214,7 V	2 035,9 V	804,5 V	2 625,6 V
řádu 11 (550 Hz)	611,3 V	8 657,2 V	2 076,0 V	10 121,8 V
řádu 13 (650 Hz)	63,4 V	1 254,1 V	205,0 V	1 395,7 V
celkové napětí (efektivní h.)	33 183,0 V	15 536,3 V	30 142,6 V	14 160,0 V
maximální napětí (vrchol.h.)	61 938,0 V		60 789,5 V	

Odhad ztrát ve filtrech a výpočet kompenzačního výkonu

	odhad činných ztrát			kompenzační výkon kapacitní
	v tlumivce	v kondenzátoru	ve větvi celkem	
filtrační větev 3. harmonické	33 510 W	17 722 W	51 232 W	2 775 990 var
filtrační větev 5. harmonické	10 166 W	5 798 W	15 964 W	886 253 var
celkově			67 196 W	3 662 243 var

Vypočtené impedance TNS jako celku na kmitočtu HDO v místě připojení

stav prvků FKZ - TV + kabely - trakční odběr	impedance			
	absolutní hodnota	komplexní hodnota		
připojeno - odpojeno - bez odběru	1 628 Ω	54 + j.	1 627	Ω
připojeno - připojeno - bez odběru	2 363 Ω	141 + j.	2 359	Ω
připojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 115 Ω	668 + j.	894	Ω
odpojeno - připojeno - bez odběru	2 643 Ω	0 - j.	2 643	Ω
odpojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 029 Ω	986 + j.	295	Ω

Ověření filtračně-kompenzačního zařízení pro trakční transformovnu

Trakční transformovna (TNS): **TNS Kadaň**
 Ověřované spektrum: **S2 - pesimistické**

konfigurace: **2b**

Základní vstupní údaje napájecí sítě a trakčního transformátoru

třífázový zkratový proud sítě 110 kV: $I_{kS} = 5,300 \text{ kA}$
 náhradní indukčnost sítě 110 kV přepočtená na hladinu 27,5 kV: $LV = 2,383 \text{ mH}$
 náhradní indukčnost trakčního transformátoru: $LT = 24,070 \text{ mH}$

Obsah napěťových složek ve stavu bez filtrace a ověřované spektrum trakčního proudu

harmonická	napěťové složky bez filtrace			ověřované spektrum trakčního proudu
	v trakčním napětí	v přípojném místě		
řádu 1 (50 Hz)	27500,0 V			
řádu 3 (150 Hz)	5069,0 V	1,660 %		35,00 % I1
řádu 5 (250 Hz)	7640,5 V	2,503 %		25,00 % I1
řádu 7 (350 Hz)	10683,0 V	3,500 %		15,00 % I1
řádu 9 (450 Hz)	96410,0 V	31,582 %		12,00 % I1
řádu 11 (550 Hz)	11264,3 V	3,690 %		10,00 % I1
řádu 13 (650 Hz)	5125,3 V	1,679 %		9,00 % I1

Elektrické parametry prvků FKZ

		filtrační LC větve		dekompenzační větev
		3.h	5.h	
kapacita kondenzátoru	C [μF]	10,317	3,580	
tang_delta kondenzátoru	tg δ [%]	0,400	0,400	
jalový výkon tlumivky	Q [kvar]			4 931,01
indukčnost tlumivky	L [mH]	114,940	114,030	488,18
jakost tlumivky	QL [-]	30,000	30,000	
odpor tlumivky	RL [Ω]	1,204	1,194	
ladění větve	fr [Hz]	146,15	249,10	
	nr [-]	2,923	4,982	

Stav s filtrací

harmonická	napěťová složka v trakčním napětí	procentní hodnoty		omezení filtrem napětí v příp. místě
		zbytek v proudu TT	napětí v příp. místě	
řádu 3 (150 Hz)	884,9 V	19,52 %	0,29 %	17,46 %
řádu 5 (250 Hz)	298,3 V	5,53 %	0,10 %	3,90 %
řádu 7 (350 Hz)	3864,6 V	85,26 %	1,27 %	36,18 %
řádu 9 (450 Hz)	7284,9 V	156,24 %	2,39 %	7,56 %
řádu 11 (550 Hz)	40229,8 V	847,15 %	13,18 %	357,15 %
řádu 13 (650 Hz)	10716,5 V	212,16 %	3,51 %	209,09 %

Proudové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota proudu složky		větev 5. harmonické hodnota proudu složky	
	absolutně	vůči proudu I1	absolutně	vůči proudu I1
řádu 1 (50 Hz)	100,95 A		32,23 A	
řádu 3 (150 Hz)	155,58 A	85,57 % I1	4,68 A	2,58 % I1
řádu 5 (250 Hz)	2,51 A	1,93 % I1	125,56 A	96,68 % I1
řádu 7 (350 Hz)	18,52 A	23,76 % I1	31,22 A	40,07 % I1
řádu 9 (450 Hz)	25,06 A	40,20 % I1	32,57 A	52,25 % I1
řádu 11 (550 Hz)	108,97 A	209,76 % I1	128,42 A	247,21 % I1
řádu 13 (650 Hz)	24,04 A	51,43 % I1	26,97 A	57,69 % I1
celkový proud (efektivní h.)	218,69 A		189,95 A	

Napěťové poměry ve filtračních větvích

harmonická	větev 3. harmonické hodnota napětí složky		větev 5. harmonické hodnota napětí složky	
	na kondenzátoru	na tlumivce	na kondenzátoru	na tlumivce
řádu 1 (50 Hz)	31 144,8 V	3 647,1 V	28 654,5 V	1 155,1 V
řádu 3 (150 Hz)	16 000,0 V	16 855,0 V	1 388,3 V	503,5 V
řádu 5 (250 Hz)	154,9 V	453,1 V	22 328,0 V	22 491,5 V
řádu 7 (350 Hz)	816,1 V	4 680,7 V	3 965,7 V	7 829,7 V
řádu 9 (450 Hz)	859,0 V	8 143,8 V	3 217,8 V	10 502,3 V
řádu 11 (550 Hz)	3 056,4 V	43 285,9 V	10 380,2 V	50 609,0 V
řádu 13 (650 Hz)	570,6 V	11 287,1 V	1 844,6 V	12 561,0 V
celkové napětí (efektivní h.)	35 172,4 V	48 855,8 V	38 194,0 V	58 293,3 V
maximální napětí (vrchol.h.)	74 390,1 V		101 511,0 V	

Odhad ztrát ve filtrech a výpočet kompenzačního výkonu

	odhad činných ztrát			kompenzační výkon kapacitní
	v tlumivce	v kondenzátoru	ve větvi celkem	
filtrační větev 3. harmonické	114 100 W	24 068 W	138 168 W	2 775 990 var
filtrační větev 5. harmonické	124 706 W	21 379 W	146 086 W	886 253 var
celkově			284 253 W	3 662 243 var

Vypočtené impedance TNS jako celku na kmitočtu HDO v místě připojení

stav prvků FKZ - TV + kabely - trakční odběr	impedance			
	absolutní hodnota	komplexní hodnota		
připojeno - odpojeno - bez odběru	1 628 Ω	54 + j.	1 627	Ω
připojeno - připojeno - bez odběru	2 363 Ω	141 + j.	2 359	Ω
připojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 115 Ω	668 + j.	894	Ω
odpojeno - připojeno - bez odběru	2 643 Ω	0 - j.	2 643	Ω
odpojeno - připojeno - plný trakční odběr	1 029 Ω	986 + j.	295	Ω