



Jiná ověření:		Paré:	
Orientační schéma:		Razítko oprávněné osoby:	
		Podpis: Datum:	
Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
P01	15.01.2024	Dokumentace k přípomínkovému řízení	Ing. Petr Kortyš
Stavebník/Investor:		Správa železnic, státní organizace	
Adresa:		Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1	
Zástupce investora:		Stavební správa východ	
Adresa:		Nerudova 773/1, 779 00 Olomouc	
		 SPRÁVA ŽELEZNIC	
Zhotovitel díla:		SUDOP BRNO, spol. s r.o.	
Adresa:		Kounicova 26, 611 36 Brno	
Kontakt:		T: +420 972 625 804 E: sudop@sudop-brno.cz	
			
Zhotovitel části/objektu:		SUDOP BRNO, spol. s r.o.	
Adresa:		Kounicova 26, 611 36 Brno	
Kontakt:		T: +420 972 625 804 E: sudop@sudop-brno.cz	
			
Hlavní projektant (HIP):		Ing. Radoslav Molák	Specialista: Ing. Jan Zářecký
Název stavby/akce:	Zvýšení disponibilít výkonu TNS Nedakonice v systému AC 25 kV		Označení investora: S622000551
			Zakázka: 23070-01
Název části:	Silnoproudá technologie trakčních napájecích stanic		Označení části: D.1.3.3
Název objektu/díle části:	TNS Nedakonice, technologické zařízení		Označení objektu/komplexu: PK 12-03-14
Název přílohy:	Studie připojitelnosti		Číslo přílohy (typ/pořadí): 3. 002
Název díle části přílohy:			
Odpovědný projektant:	Zpracovatel přílohy:	Měřítko: -	Stupeň dokumentace:
Ing. Vítězslav Šimáček	Ing. Vítězslav Šimáček	Formáty: -	DUSL
Kraj:	Katastrální území:	TUDU:	Smluvní datum zpracování:
Zlínský, Jihomoravský	viz. příloha A.	viz. příloha A.	15.01.2024
Označení investora:	Stupeň dokumentace: Část:	Objekt:	Podoba: Příloha: Revize:
S 6 2 2 0 0 0 5 5 1	D U S L X - D 1 3 0 3	- P K 1 2 0 3 1 4	- X X - 3 - 0 0 2 P 0 1



ZVÝŠENÍ DISPONIBILITY VÝKONU TNS NEDAKONICE V SYSTÉMU AC 25 KV



prosinec 2023

ZHOTOVITEL

EGÚ Brno, a.s., Hudcova 487/76a, Medlánky, 612 00 Brno

OBJEDNATEL

SUDOP Brno, spol. s r.o., Kounicova 688/26, Veveří, 602 00 Brno

SMLOUVA O DÍLO

Ev.č. 23 136 (EGÚ Brno, a.s.)

Ev.č. 23070-K02 (SUDOP Brno, spol. s r.o.)

NÁZEV

Zvýšení disponibility výkonu TNS Nedakonice v systému AC 25 kV

ZPRACOVALI

Jiří Ptáček

Jakub Uher

Petr Modlitba

a kolektiv.

OBSAH

1	Úvod	7
2	Připojení TNS Nedakonice do DS 110 kV	8
2.1	Charakteristika trakčního odběru TNS Nedakonice	9
2.2	Distribuční síť 110 kV	13
3	Vliv odběru TNS Nedakonice na zatěžování sítí 110 kV	14
3.1	Vliv TNS Nedakonice na zatěžování sítí 110 kV	14
3.2	Změny napětí ve 110 kV síti vlivem odběru TNS Nedakonice	17
3.3	Flikr	18
3.4	Vyšší harmonické	18
3.5	Nesymetrie napětí	20
3.6	Dopady TNS na signál HDO	21
3.7	Rekuperace – komentář k dodávce výkonu z trakce do DS	22
4	Závěr	24

1 ÚVOD

Studie připojitelnosti trakční napájecí stanice (TNS) Nedakonice do distribuční soustavy 110 kV EG.D byla zpracována na základě objednávky firmy SUDOP Brno, spol. s r.o., která připravuje podklady projektové dokumentace akce

„Zvýšení disponibilní výkonu TNS Nedakonice v systému AC 25 kV“.

V současnosti je TNS Nedakonice provozována, avšak s nižšími požadavky na odběr a napájení z jednofázových transformátorů. Mění se požadovaná velikost odběrů a uplatnění nové měničové technologie.

Studie posuzuje možnost připojení trakční napájecí stanice vybavené technologií výkonových měničů při navýšení rezervovaného výkonu (RP) pro napájení trakce ze současné hodnoty 10 MW na požadovanou novou hodnotu RP 20 MW. V rekonstruované TNS Nedakonice se předpokládají 2 výkonové měniče po 15 MVA.

Studie je zaměřena na prověření vlivů připojení TNS na distribuční síť 110 kV EG.D, a to z hlediska zatěžování sítě 110 kV a provozního napětí v místě připojení k distribuční síti. Jedná se o vyhodnocení toků výkonů a velikostí, a změn napětí vyvolaných připojením odběru trakce do distribuční sítě při základním provozním zapojení sítě a při neúplném schématu zapojení sítě (stavy N-1).

Z hlediska hodnocení zpětných vlivů, vyvolaných připojením trakčního napájecího zařízení na síť, je studie zaměřena na vyhodnocení emisí vyšších harmonických a vlivu na útlum signálu HDO.

Studie byla dle dodatečného požadavku objednatele též doplněna hodnocením vlivu nesymetrického odběru v místě připojení v případě použití stávající technologie napájení trakce 1-fázovými transformátory se zapojením vinutí do V.

Termín realizace a uvedení do provozu TNS Nedakonice s novou technologií výkonových měničů se předpokládá v roce 2028.

Posouzení připojitelnosti je provedeno podle Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS) a podle Podnikových norem energetiky pro rozvod elektrické energie, zejména dle PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav.

Studie připojitelnosti byla zpracována v součinnosti i s EG.D – poskytnutí vstupních podkladů a konzultace k řešení.

2 PŘIPOJENÍ TNS NEDAKONICE DO DS 110 KV

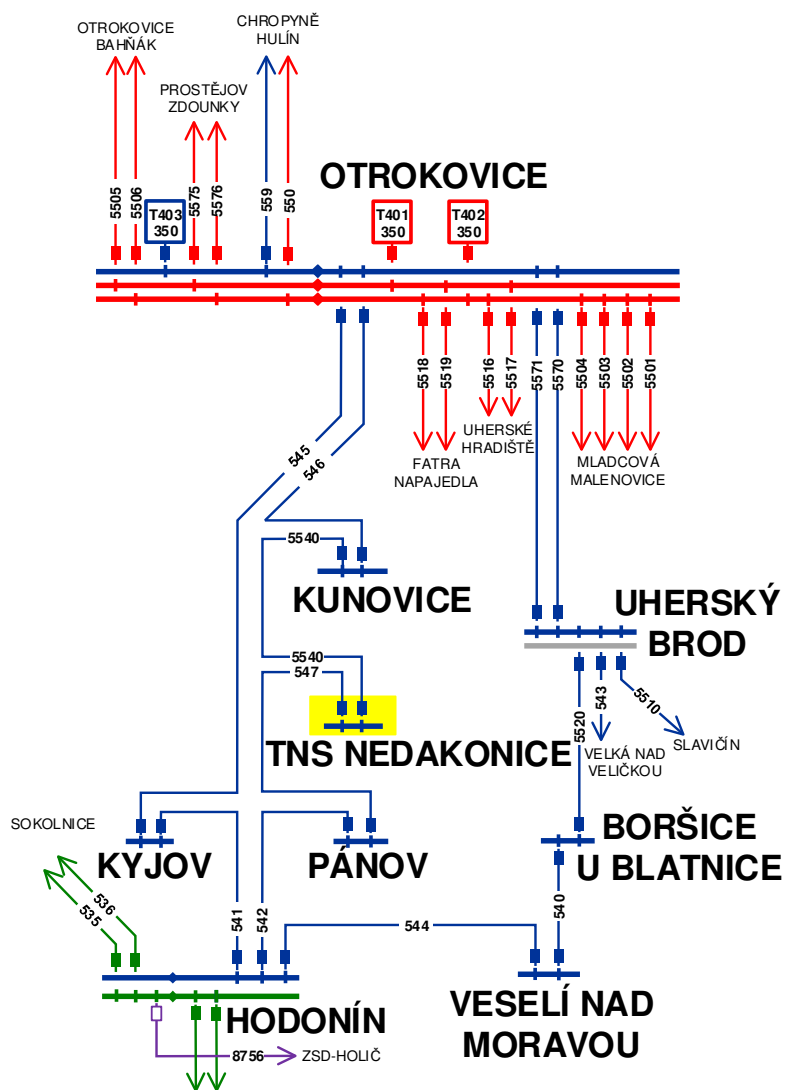
TNS Nedakonice je připojena do DS 110 kV EG.D v uzlové oblasti 110 kV, která je v současnosti napájena z TR 400/110 kV Otrokovice.

Připojení TNS do sítě 110 kV je realizováno smyčkou mezi vedeními V5540 z Kunovic a V547, které pokračuje do Pánova.

Předávacím místem mezi zařízením Žadatele a zařízením Provozovatele DS EG.D jsou svorky vývodu z přípojnice 110 kV TNS Nedakonice pro trakci (pro napájení trakční transformovny).

Na následujícím obrázku je schematicky znázorněno připojení TNS Nedakonice do distribuční sítě 110 kV EG.D:

Obr. 2.1 Připojení TNS Nedakonice do sítě 110 kV EG.D – širší okolí



2.1 CHARAKTERISTIKA TRAKČNÍHO ODBĚRU TNS NEDAKONICE

Trakční odběr je silně proměnlivý. Zadavatelem byly poskytnuty hodnoty očekávaných odběrů v TNS Nedakonice z Dopravně energetických výpočtů (DEV) řešících budoucí výkonové potřeby trakční napájecí stanice TNS Nedakonice s ohledem na uvažovanou dopravu. Na základě simulace očekávaného ročního průběhu železniční dopravy v této oblasti, výsledky dopravně energetických výpočtů představují potřebu trakčního výkonu v TNS Nedakonice.

Simulační výpočty a výsledky DEV odpovídají dvěma zadaným variantám odběru trakce:

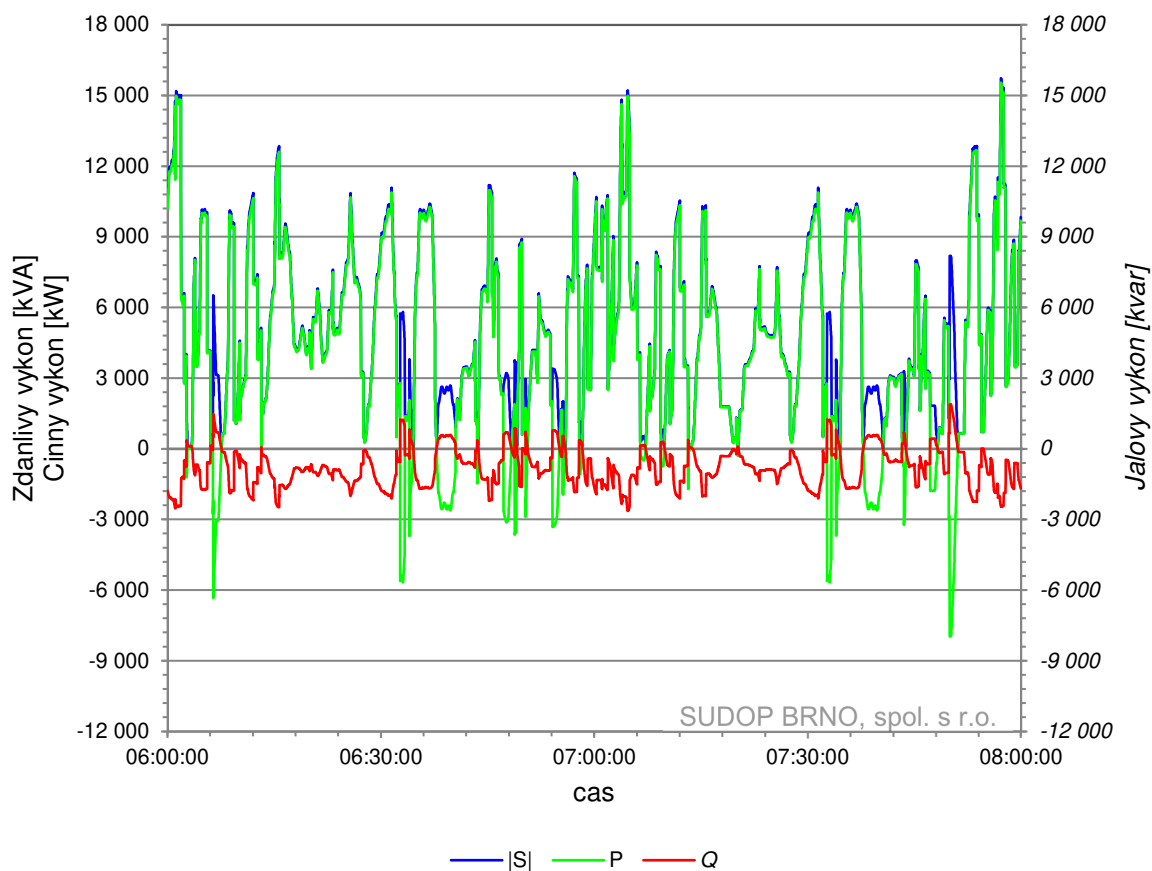
Varianta 1 - trakční odběr vyvolán samostatným provozem TNS Nedakonice

Varianta 2 - výluka sousední TNS Břeclav/Otrokovice, tzn. trakční odběr tvořen TNS Nedakonice a sousední TNS

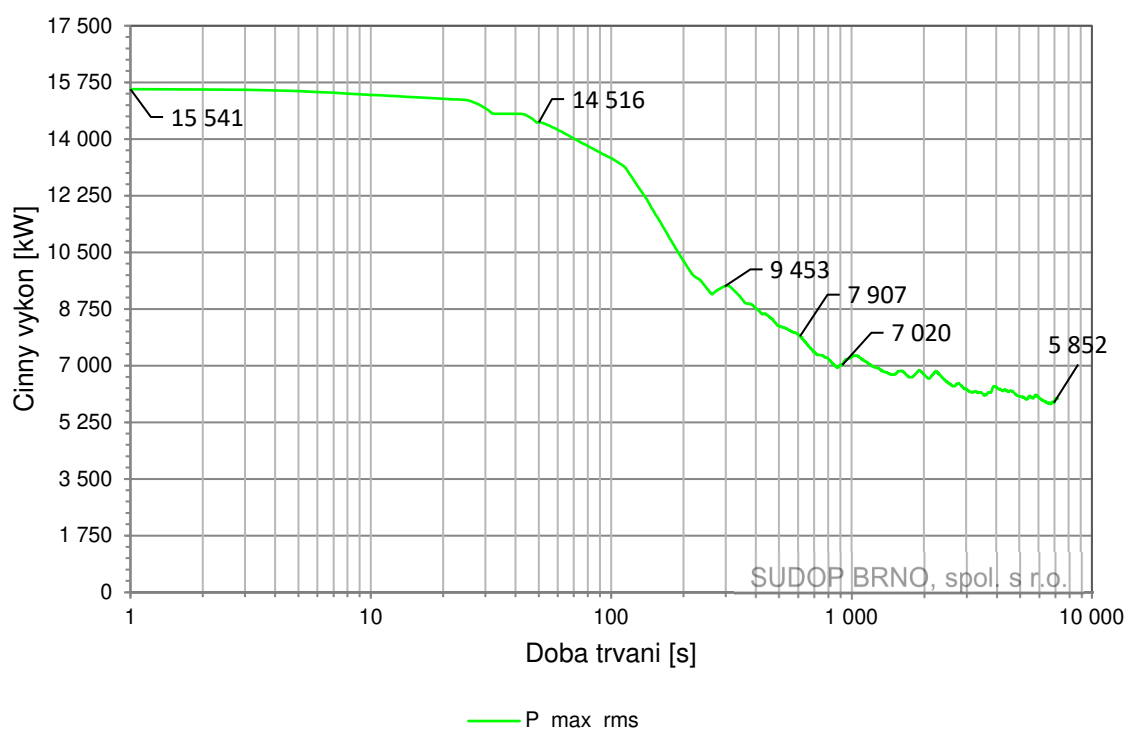
Z dopravně energetických výpočtů byly převzaty výkonové průběhy pro špičkovou dvouhodinu s rozlišením 1 s. Jedná se o modelový maximalistický budoucí stav s ohledem na výhledovou dopravu, který se využívá pro dimenzování výkonové kapacity TNS.

Z průběhů byly sestaveny hodnoty doby trvání zatížení a hodnoty očekávaného příkonu trakce v jednotlivých časových kategoriích, a to pro oba stavy odběru trakce (viz. Tabulka 2.1).

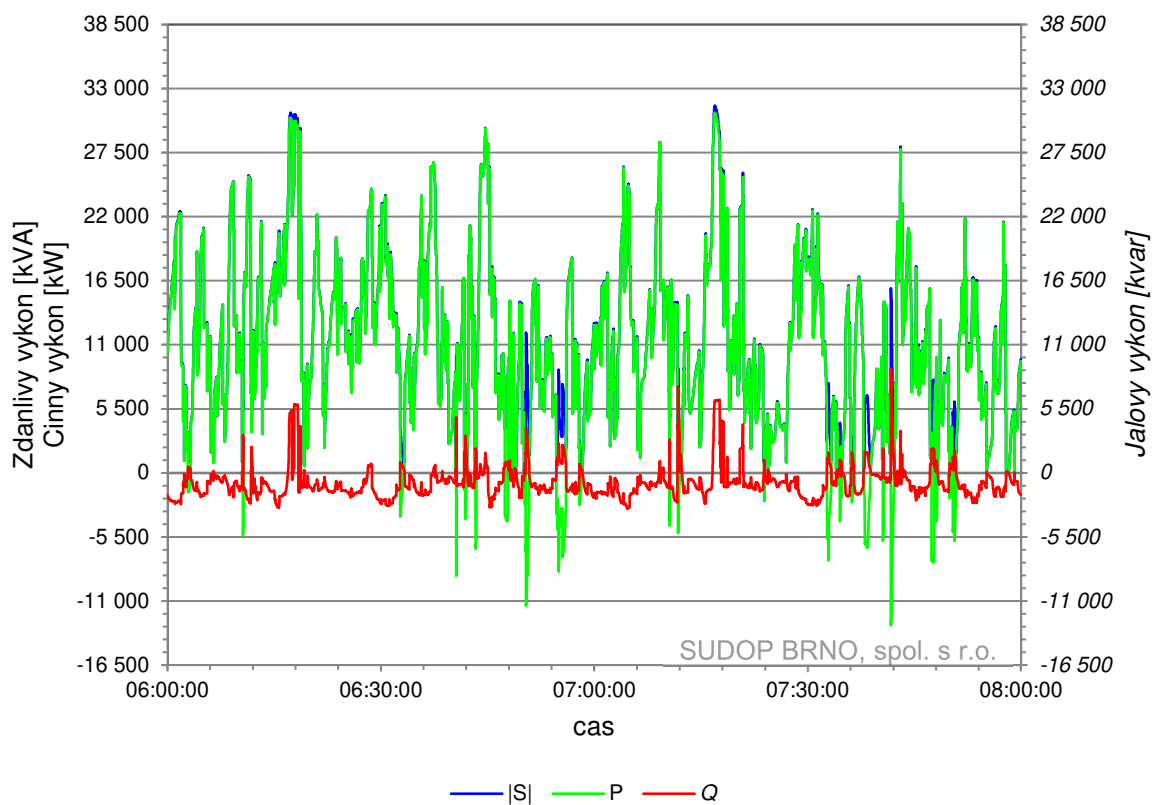
Obr. 2.2 Varianta 1 - průběh trakčního odběru v 2h okně, v sekundovém členění



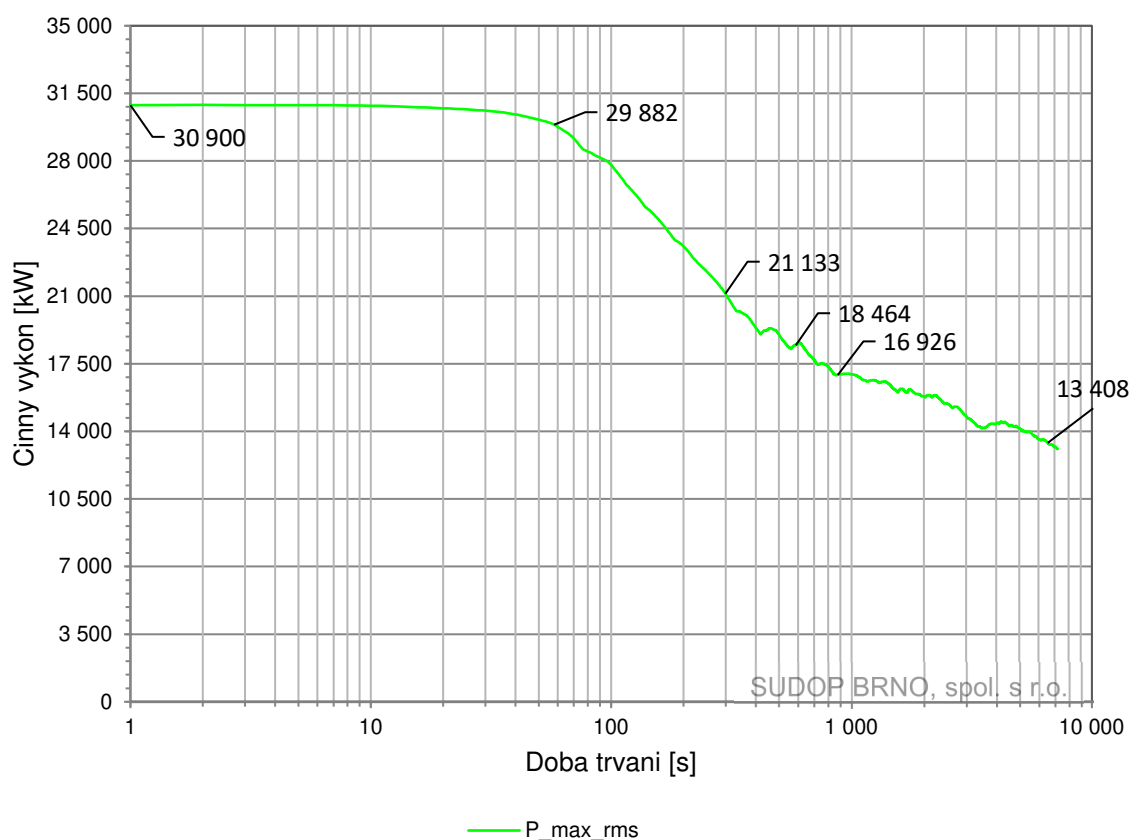
Obr. 2.3 Varianta 1 – čára doby trvání zatížení a hodnoty očekávaného příkonu trakce v TNS Nedakonice s vyznačením charakteristických hodnot odběru



Obr. 2.4 Varianta 2 - průběh trakčního odběru v 2h okně, v sekundovém členění



Obr. 2.5 Varianta 2 – čára doby trvání zatížení a hodnoty očekávaného příkonu trakce v TNS Nedakonice s vyznačením charakteristických hodnot odběru



Požadované hodnoty trakčního odběru TNS Nedakonice byly převzaty z materiálu Dopravně energetických výpočtů (DEV). V následující tabulce jsou uvedeny 2 varianty odběru TNS Nedakonice, které byly ve Studii hodnoceny:

Tab. 2.1 Předpokládané hodnoty příkonu trakce v TNS Nedakonice pro Varianty 1 a 2

TNS Nedakonice		
Varianta	Var.1 samostatný provoz TNS	Var.2 odběr TNS Nedakonice + sousední TNS
příkon	odběr TNS (MW)	odběr TNS (MW)
$P_{1s, max}$	15,54	30,90
$P_{10min,}$	7,91	18,46
$P_{15min,}$	7,02	16,93
RP	20,00	20,00

Z hodnot příkonů TNS Nedakonice predikovaných dle Dopravně energetických výpočtů jsou pro Studii připojitelnosti určující následující údaje (Varianta 1 / Varianta 2):

1-sekundová špička odběru (dimenzování ochran) $P_{1s, \max} = 15,54 / 30,9 \text{ MW}$

10-min.hodnota (v plovoucím okně 2 h maxima – zpětné vlivy) $P_{10\min, \max} = 7,91 / 18,46 \text{ MW}$

15-min hodnota (požadovaný smluvní příkon TNS) $P_{15\min, \max} = 7,02 / 16,93 \text{ MW}$

Zasmluvněný rezervovaný příkon trakce $RP = 20 / 20 \text{ MW}$

Z hlediska provozu distribuční sítě je důležitá špičková maximální hodnota odběru ($P_{1s, \max}$), která nesmí překročit nastavenou hodnotu maximálního zatěžování DS (nastavení ochran v DS).

Z hlediska zpětných vlivů jsou kontrolní analýzy zpětných vlivů zaměřeny tak, aby jejich výsledky byly porovnatelné s přípustnými hodnotami podle Pravidel provozování distribuční soustavy (PPDS) a podle příslušné Podnikové normy energetiky (PNE 333430-0). Analýza zpětných vlivů se provádí pro 10-minutovou hodnotu z plovoucího okna ve zjištěném 2-hodinovém maximu ($P_{10\min, \max}$).

Dvoufázový trakční transformátor způsobuje nesymetrický odběr z distribuční sítě 110 kV. Nesymetrie odběru je hlavním omezujícím faktorem pro připojení a provoz TNS. Proto je provedena analýza a vyhodnocení nesymetrie odběru a její porovnání s mezní hodnotou přípustnou podle PPDS a podle PNE 333430-0.

15-minutová hodnota ($P_{15\min, \max}$), je hodnota příkonu uváděná v žádosti o připojení do DS, která charakterizuje nejvyšší průměrný 15-minutový příkon z plovoucího okna ve zjištěném 2-hodinovém maximu.

Poznámka:

Charakter samostatných provozních úseků trakce dle předaných podkladů pro studii (hodnoty příkonu Var.1, Var.2) napájených z TNS spíše odpovídá napájení z jednofázových trakčních transformátorů.

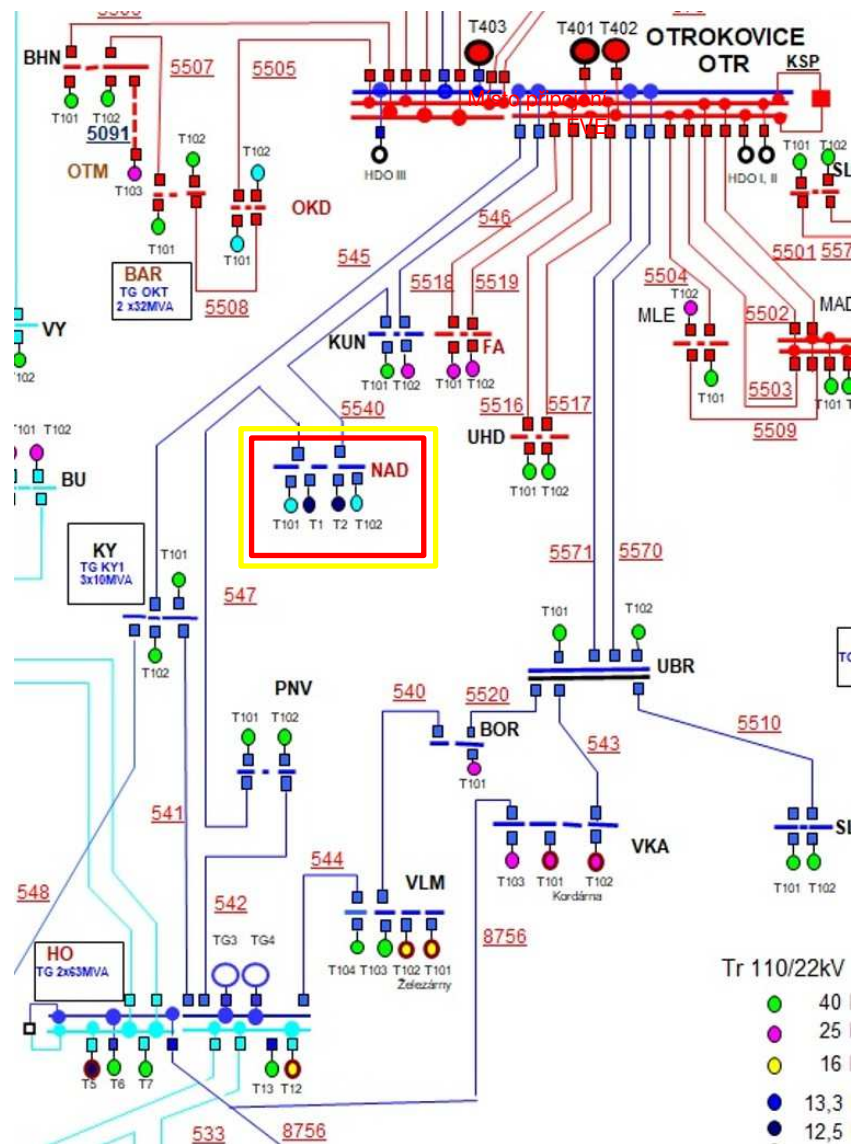
Při uplatnění předpokládaného měničového napájení TNS Nedakonice je provoz trakce řešen ve společném (neděleném režimu) se sousedními TNS napájenými rovněž z měničové technologie (např. TNS Otrokovice).

2.2 DISTRIBUČNÍ SÍŤ 110 kV

Distribuční společnost EG.D poskytla následující data pro zpracování studie:

Napětí DS v napájecím uzlu PS/110 kV TR Otrokovice: 117 kV.

Obr. 2.6 Schéma DS 110 kV – výřez



Provozovatel DS EG.D také poskytl pro výpočty hodnoty výrob a spotřeb činného výkonu v řešené oblasti, a to včetně zaevidovaných žádostí na připojení nových zdrojů do DS, které byly ve výpočtech také respektovány – vše pro zimní stav chodu sítě.

Provozovatel DS EG.D dále poskytl hodnoty jednofázových a třífázových minimálních zkratových proudů a výkonů v napájecí R Nedakonice:

$$3\text{-f.}: S_{k''min,3f} = 980 \text{ MVA} / I_{k''min,3f} = 5,2 \text{ kA}$$

$$1\text{-f.}: S_{k''min,1f} = 867 \text{ MVA} / I_{k''min,1f} = 4,6 \text{ kA}$$

Všechny výše zmíněné vstupní podklady byly použity pro výpočty působení jednotlivých zpětných vlivů vznikajících při odběru výkonu TNS Nedakonice ze sítě 110 kV.

3 VLIV ODBĚRU TNS NEDAKONICE NA ZATĚŽOVÁNÍ SÍTÍ 110 KV

3.1 VLIV TNS NEDAKONICE NA ZATĚŽOVÁNÍ SÍTÍ 110 KV

Tato podkapitola prověřuje zatěžování vedení 110 kV ve stavu bez a s trakčním odběrem výkonu v TNS Nedakonice. Výpočty jsou provedeny pro očekávaný bilanční stav sítě 110 kV v zimním maximu roku 2028, a to pro dva možné scénáře odběru. Hodnocení je provedeno pro očekávané časové hodnoty trakčního odběru v TNS Nedakonice stanovené z orientačních energetických výpočtů provozu trakce v dané lokalitě.

Výpočty zatěžování sítě 110 kV jsou provedeny pro 2 možné varianty odběru TNS Nedakonice:

1. Varianta – trakční odběr vyvolán samostatným provozem TNS Nedakonice
2. Varianta – výluka sousední TNS Břeclav/Otrokovice, tzn. trakční odběr TNS Nedakonice navýšen o odběr a sousední TNS

Výpočty pro obě varianty odběru v R110 kV Nedakonice byly provedeny pro plné zapojení sítě 110 kV a pro neúplný stav sítě (N-1). Při výpočtu (N-1) jsou analyzovány dopady výpadků vybraných prvků sítě 110 kV.

Výpočty zatížení jsou provedeny pro bilančně výkonové stavy očekávaného zimního zatížení v roce 2028, které bylo odvozeno ze zimního měření 2023. Pro zjištění vlivu odběru TNS Nedakonice na zatěžování vedení 110 kV jsou výpočty provedeny pro charakteristické odběry trakce TNS v obou variantách provozu TNS z distribuční sítě 110 kV.

Tab. 3.1 Kontrola sítí 110 kV při N-1, zimní stav, při odběru TNS Nedakonice – Varianta 1

	TNS Nedakonice - Varianta 1 - samostatný provoz TNS							
	číslo vedení	uzel A	uzel B	výchozí stav		kontrola N-1		
				P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vyp. ved.
P_{1s}, odb. 15,541 MW	541	Hodonín	Kyjov	-7,0	7,8	21,7	23,8	545
	542	Hodonín	Pánov	2,9	3,2	41,3	45,5	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-7,8	8,6	30,3	33,6	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	23,4	25,3	32,6	35,5	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-29,0	31,0	-42,7	45,9	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-38,2	40,9	-47,7	51,1	545
P_{10min}, odb. 7,907 MW	541	Hodonín	Kyjov	-6,2	7,0	21,7	23,8	545
	542	Hodonín	Pánov	0,2	0,3	33,4	36,7	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-10,6	11,5	22,5	24,8	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	18,5	20,0	27,5	29,8	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-28,1	30,1	-40,0	42,9	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-33,2	35,6	-42,4	45,4	545
P_{15min}, odb. 7,020 MW	541	Hodonín	Kyjov	-6,1	6,9	21,7	23,8	545
	542	Hodonín	Pánov	-0,1	0,3	32,5	35,6	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-10,9	11,8	21,6	23,8	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	18,0	19,4	26,9	29,2	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-28,0	30,0	-39,7	42,5	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-32,7	35,0	-41,8	44,8	545
RV, odb. 20 MW	541	Hodonín	Kyjov	-7,5	8,4	-21,8	24,0	546
	542	Hodonín	Pánov	4,5	5,0	45,9	50,7	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-6,2	6,8	34,9	38,8	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	26,3	28,5	35,7	38,8	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-29,5	31,6	-44,3	47,6	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-41,2	44,1	-50,8	54,5	545

Varianta odběru 1–v nejnejpříznivějších stavech sítě (N-1) v zimním období, s vypnutým vedením 545 Kyjov – Otrokovice, dosáhne tok výkonu po vedení 546 v úseku Kunovice – Otrokovice nejvýše 47,7 MW (51,1 % max. proudové zatížitelnosti vedení 546), a to s odběrem trakčního špičkového maximálního výkonu 15,541 MW. Provoz TNS Nedakonice tedy nezpůsobí nepřipustné zatěžování sítě 110 kV v zimním období.

Tab. 3.2 Kontrola sítí 110 kV při N-1, zimní stav, při odběru TNS Nedakonice – Varianta 2

	TNS Nedakonice - Varianta 2 - odběr TNS Nedakonice + sousední TNS							
	číslo vedení	uzel A	uzel B	výchozí stav		kontrola N-1		
				P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vyp. ved.
P_{1s}, odb. 30,9 MW	541	Hodonín	Kyjov	-8,7	9,6	-25,6	28,2	546
	542	Hodonín	Pánov	8,5	9,3	57,3	63,7	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-2,3	2,7	46,2	51,7	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	33,3	36,1	43,0	47,0	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-30,7	32,9	-48,3	52,0	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-48,3	51,8	-58,4	62,7	545
P_{10min}, odb. 18,464 MW	541	Hodonín	Kyjov	-7,3	8,2	21,7	23,9	545
	542	Hodonín	Pánov	4,0	4,4	44,3	48,9	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-6,8	7,4	33,3	37,0	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	25,3	27,4	34,6	37,6	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-29,3	31,4	-43,7	47,0	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-40,1	43,0	-49,7	53,3	545
P_{15min}, odb. 16,926 MW	541	Hodonín	Kyjov	-7,1	8,0	21,7	23,9	545
	542	Hodonín	Pánov	3,4	3,8	42,7	47,1	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-7,3	8,0	31,8	35,2	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	24,3	26,3	33,6	36,5	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-29,1	31,2	-43,2	46,4	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-39,1	41,9	-48,7	52,1	545
RV, odb. 20 MW	541	Hodonín	Kyjov	-7,5	8,4	-21,8	24,0	546
	542	Hodonín	Pánov	4,5	5,0	45,9	50,7	546
	547	Pánov	TNS Nedakonice	-6,2	6,8	34,9	38,8	546
	5540	Kunovice	TNS Nedakonice	26,3	28,5	35,6	38,8	545
	545	Kyjov	Otrokovice	-29,5	31,6	-44,3	47,6	546
	546	Kunovice	Otrokovice	-41,2	44,1	-50,8	54,5	545

Varianta odběru 2 – v nejnepříznivějších stavech sítě (N-1) v zimním období, s vypnutým vedením 546 Kunovice – Otrokovice, dosáhne tok výkonu po vedení 542 v úseku Hodonín – Pánov nejvýše 57,3 MW (63,7 % max. proudové zatížitelnosti vedení 542), a to s odběrem trakčního špičkového maximálního výkonu 30,9 MW. Provoz TNS Nedakonice tedy nezpůsobí nepřijatelné zatěžování sítě 110 kV v zimním období.

Z hlediska zatěžování vedení 110 kV, při odběru špičkového maximálního výkonu TNS Nedakonice v zimním stavu, provoz vyhovuje požadavkům na zatěžování sítě 110 kV při úplném zapojení i v neúplných stavech N-1.

3.2 ZMĚNY NAPĚTÍ VE 110 KV SÍTI VLIVEM ODBĚRU TNS NEDAKONICE

V této podkapitole se analyzují změny napětí vyvolané odběrem výkonu TNS Nedakonice při konstantním výchozím napětí v síti 110 kV. Výpočty jsou provedeny pro bilanční stav sítě 110 kV očekávaný v zimním maximu roku 2028. Cílem je ukázat vliv odběru s ohledem na riziko vybočení hodnoty napětí mimo meze. Hodnocení je provedeno pro očekávané časové hodnoty trakčního odběru v TNS Nedakonice stanovené z energeticko-dopravních simulačních výpočtů provozu trakce v dané lokalitě.

Změny napětí v síti 110 kV byly prověřeny na dva možné stavy odběru výkonu TNS Nedakonice (Varianta 1 a Varianta 2) za obdobných předpokladů jako při analýze zatěžování vedení 110 kV.

Odběr výkonu je uvažován s neutrálním účínkem. Kolísání napětí je uvedeno v % změny, a to pro plné schéma a stav N-1, vůči výchozímu stavu bez odběru TNS.

Tab. 3.3 Změny napětí v R110 kV vlivem odběru výkonu TNS Nedakonice – Varianta 1

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Nedakonice - Varianta 1													
	bez příkonu trakce		příkon trakce $P_{1s,max}$ 15,54 MW				příkon trakce $P_{10min,max}$ 7,91 MW				příkon trakce $P_{15min,max}$ 7,02 MW			
	plné schéma	N-1	plné schéma	ΔU	N-1	ΔU	plné schéma	ΔU	N-1	ΔU	plné schéma	ΔU	N-1	ΔU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Otrokovice	118,7	118,5	118,6	0,1	118,3	0,2	118,6	0,1	118,4	0,1	118,6	0,0	118,4	0,1
Kunovice	117,8	114,9	117,3	0,4	113,2	1,6	117,6	0,2	114,2	0,7	117,6	0,2	114,3	0,6
Nedakonice	117,7	115,0	117,1	0,5	113,3	1,6	117,4	0,2	114,3	0,7	117,5	0,2	114,4	0,6
Kyjov	117,1	115,2	116,9	0,2	114,9	0,2	117,0	0,1	115,1	0,1	117,0	0,1	115,1	0,1
Pánov	117,1	115,7	116,7	0,3	114,7	0,9	116,9	0,1	115,2	0,4	116,9	0,1	115,3	0,3
Hodonín	117,0	116,0	116,8	0,2	115,2	0,7	116,9	0,1	115,6	0,3	116,9	0,1	115,7	0,3

Změny napětí ve Variantě 1 vyvolané odběrem výkonu trakcí nepřekračují hranici 2 % U_n , a to ani ve stavech N-1. K největší změně napětí dochází při stavu N-1 v R 110 kV Nedakonice a Kunovice, a to ve velikosti 1,6 %.

Tab. 3.4 Změny napětí v R110 kV vlivem odběru výkonu TNS Nedakonice – Varianta 2

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Nedakonice - Varianta 2													
	bez příkonu trakce		příkon trakce $P_{1s,max}$ 30,9 MW				příkon trakce $P_{10min,max}$ 18,46 MW				příkon trakce $P_{15min,max}$ 16,93 MW			
	plné schéma	N-1	plné schéma	ΔU	N-1	ΔU	plné schéma	ΔU	N-1	ΔU	plné schéma	ΔU	N-1	ΔU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Otrokovice	118,7	118,5	118,4	0,3	118,0	0,4	118,5	0,1	118,2	0,2	118,5	0,1	118,3	0,2
Kunovice	117,8	114,9	116,8	0,9	111,2	3,4	117,2	0,5	112,8	1,9	117,3	0,5	113,0	1,7
Nedakonice	117,7	115,0	116,5	1,1	111,3	3,4	117,0	0,6	112,9	1,9	117,1	0,5	113,1	1,7
Kyjov	117,1	115,2	116,6	0,5	114,5	0,6	116,8	0,3	114,9	0,3	116,9	0,2	114,9	0,3
Pánov	117,1	115,7	116,4	0,6	113,5	2,0	116,7	0,4	114,4	1,1	116,7	0,3	114,6	1,0
Hodonín	117,0	116,0	116,5	0,5	114,2	1,6	116,7	0,3	115,0	0,9	116,7	0,3	115,1	0,8

Největší změny napětí ve Variantě 2 vyvolané odběrem výkonu trakcí, a to zejména ve stavech N-1 při odběru $P_{1s,max} = 30,9$ MW, jsou v R 110 kV Kunovice a Nedakonice až 3,4 % U_n .

Tab. 3.5 Změny napětí v R110 kV vlivem odběru TNS Nedakonice – RP pro Varianty 1 a 2

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Nedakonice - Varianta 1/2					
	bez příkonu trakce		rezervovaný příkon trakce 20 MW			
	plné schéma	N-1	plné schéma	ΔU	N-1	ΔU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Otrokovice	118,7	118,5	118,5	0,2	118,2	0,3
Kunovice	117,8	114,9	117,2	0,6	112,6	2,1
Nedakonice	117,7	115,0	117,0	0,7	112,7	2,1
Kyjov	117,1	115,2	116,8	0,3	114,8	0,3
Pánov	117,1	115,7	116,6	0,4	114,3	1,2
Hodonín	117,0	116,0	116,7	0,3	114,9	1,0

Při odběru výkonu trakcí ve velikosti požadovaného RP = 20 MW je největší změna napětí ve velikosti 2,1 % U_n v R110 kV Kunovice a Nedakonice, a to ve stavech N-1 v síti 110 kV.

3.3 FLIKR

Provoz trakce nemá charakter odběru způsobujícího flickr. Trakční výkon nevykazuje chování s periodickým kolísáním výkonu. Změny výkonu mají poměrně velkou časovou konstantu, náběh výkonu je v naprosté většině případů rozložen na čas typicky pohybující se v okolí 10 s. Toto je násobně více než délka pulzu, se kterou pracuje například norma PNE 33 3430-0, kde je délka pulsu maximálně 1 s.

3.4 VYŠŠÍ HARMONICKÉ

V případě vybavení TNS trakčními transformátory není tato vazba mezi distribuční a trakční soustavou zdrojem harmonických proudů či napětí. Nasazované moderní lokomotivy mají omezenou produkci harmonických už na úrovni vazby na trakční systém. Za této situace se nepředpokládají hodnoty harmonických proudů, nebo napětí do DS nad limity uvedené v PPDS.

Na základě nesplnění kritéria nesymetrie napětí se však předpokládá provoz TNS Nedakonice s měničovou technologií.

Vliv na tvar průběhu napětí závisí na frekvenčně závislé impedanci sítě. Její hodnota závisí na všech indukčnostech a kapacitách v oblasti a je tedy proměnná pro různá zapojení i provozní stavy. Prakticky je tedy úroveň harmonických nejpřesněji určena měřením.

Emise řádů násobků tří, které by limitní hodnoty překračovaly se pro symetrický odběr výkonu typický pro měničovou technologii mohou uzavřít ve vinutí transformátorů zapojeném do trojúhelníka a kvalitu napětí neovlivní. V případě použití trakčních napájecích transformátorů, kdy je odběr nesymetrický, budou i harmonické násobky tří ovlivňovat kvalitu napětí

Přípustné emise vyšších harmonických pro minimální provozní zkratový výkon v místě připojení (R110 kV Nedakonice) ve velikosti 980 MVA jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 3.6 Přípustné limity a úrovně harmonických proudů TNS Nedakonice pro Sk“ 980 MVA.

Řád harmonické	Limit PPDS	Celkový přípustný proud	Řád harmonické	Limit PPDS	Celkový přípustný proud
	A/GVA	A		A/GVA	A
2	2,625	2,573	21	0,239	0,234
3	1,313	1,286	22	0,239	0,234
4	1,313	1,286	23	0,460	0,451
5	2,600	2,548	24	0,219	0,214
6	0,875	0,858	25	0,320	0,314
7	3,750	3,675	26	0,202	0,198
8	0,656	0,643	27	0,188	0,184
9	0,525	0,515	28	0,188	0,184
10	0,525	0,515	29	0,181	0,177
11	2,400	2,352	30	0,175	0,172
12	0,438	0,429	31	0,169	0,166
13	1,600	1,568	32	0,164	0,161
14	0,375	0,368	33	0,154	0,151
15	0,328	0,322	34	0,154	0,151
16	0,328	0,322	35	0,150	0,147
17	0,920	0,902	36	0,146	0,143
18	0,292	0,286	37	0,142	0,139
19	0,700	0,686	38	0,138	0,135
20	0,263	0,257	39	0,131	0,129
21	0,239	0,234	40	0,131	0,129

Skutečné emise vyšších harmonických mohou být ze strany provozovatele PDS ověřeny měřeními během provozu pro ověření souladu. V případě nepřípustného vlivu zdroje může být vyžadována realizace dodatečných nápravných opatření.

O dodavateli technologie výkonových měničů není zatím rozhodnuto. Přes snahu zadavatele i řešitele získat použitelné podklady o emisích harmonických měničů toto nebylo dostatečně naplněno a nemohly být provedeny výpočty šíření harmonických. Dle vyjádření dodavatelů technologie jsou všichni schopni dodržet požadované limity harmonických. Samozřejmě příslušná technologie (filtry) jsou finančně nákladné.

3.5 NESYMETRIE NAPĚTÍ

Pro případ, kdyby TNS Nedakonice byla vybavena jednofázovými trakčními transformátory (a ne měničovou technologií) byl proveden výpočet nesymetrie napětí v dané lokalitě TNS Nedakonice. Kapitola hodnotí výkon nesymetrického odběru trakce vzhledem k dovolené mezní hodnotě nesymetrie napětí dané normou PNE 33 34 30. Stupeň nesymetrie k_u způsobený jedním spotřebitelským zařízením je omezen na $k_u \leq 0,7 \%$, přičemž je třeba při jeho určení vycházet z 10-minutového plovoucího okna (průměrná hodnota) ve 2-hodinovém intervalu odběru. V případě, že požadovaný výkon je větší než mezní hodnota daná normou pro nesymetrický odběr, je nutné přijmout opatření na straně odběratele na omezení této nesymetrie.

Byl proveden výpočet nesymetrie a jeho hodnocení podle PNE 33 3430-0. Charakteristickým kritériem je stupeň nesymetrie napětí k_u , jehož hodnota musí být menší nebo nejvýše rovna $0,7 \% U_n$.

Pro dvoufázové zátěže mezi dvěma fázovými vodiči a jednofázové zátěže mezi fázovým a středním vodičem platí přibližně vztah:

$$k_u \approx \frac{S_A}{S_k''}$$

k_u stupeň nesymetrie
 S_A výkon jedno/dvojfázového zatížení
 S_k'' zkratový výkon sítě v místě odběru

Minimální hodnota třífázového zkratového proudu v R110 kV Nedakonice byla převzata z podkladů od provozovatele DS EG.D: $I_{k''min} = 5,2 \text{ kA}$

Odpovídající hodnota minimálního třífázového zkratového výkonu na hladině 110 kV:

$$S_{k''min} = 980 \text{ MVA}$$

Koeficient nesymetrie k_u pro tuto hodnotu min. zkratového výkonu potom vychází pro jednotlivé varianty 10-minutového odběru TNS:

Varianta 1 $P_{10min} = 7,907 \text{ MW}$ $k_u = 0,806 \%$

Varianta 2 $P_{10min} = 18,464 \text{ MW}$ $k_u = 1,884 \%$

Nesymetrie napětí podle požadavku PNE 33 3430 není splněna ani pro jednu z variant.

Mezní minimální zkratový výkon pro dodržení koeficientu nesymetrie $k_u 0,7 \% U_n$.

Pro dodržení stupně nesymetrie napětí $k_u 0,7 \% U_n$ daného PPDS při odběru trakce dle Var. 1, resp. Var. 2, $P_{10min} = 7,907 \text{ MW}$, resp. $18,464 \text{ MW}$, byla stanovena hodnota mezního minimálního zkratového výkonu, který by měl být v rozvodně 110 kV Nedakonice ve velikosti $S_{k''} = 2637,7 \text{ MVA}$, aby obě Varianty vyhověly podmínkám PPDS.

Výpočty nesymetrie napětí prokázaly, že TNS Nedakonice musí být vybavena novou technologií výkonových měničů, neboť stávající napájení přes trakční jednofázové transformátory nevyhovuje kritériím nesymetrie napětí dle požadavků PNE 33 34 30.

3.6 DOPADY TNS NA SIGNÁL HDO

V kapitole je posouzeno snížení úrovně signálů HDO vyvolané připojením nového odběru a na základě výsledků modelového výpočtu vyšších harmonických je posouzeno riziko zarušení frekvenčního pásma blízkého signálu HDO.

Dle PNE 33 3430-6 zařízení připojovaná do sítí nn, vn a 110 kV smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 % jeho změřené hodnoty za předpokladu, že bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO 1,56 % Un. Tato úroveň musí být u sítí vn a vvn zaručena i při mimořádných zapojeních sítí.

Vzhledem k tomu, že není k dispozici měření aktuální úrovně signálu HDO, jsou výpočty šíření signálu HDO zpracovány s využitím simulačního modelu pro zvolené základní provozní zapojení sítě 110 kV.

Očekává se použití měničové technologie, která obvykle nezpůsobuje významné odsávání signálu HDO. Výpočty změn velikostí signálu HDO se v tomto případě týkají případného připojení TNS Nedakonice přes trakční transformátory.

Tab. 3.7 Velikost signálu HDO z TR Otrokovice a vliv TNS Nedakonice – Varianta 1

Rozvodna 110 kV	Velikost signálu HDO z TR Otrokovice - Varianta 1							
	Bez odběru TNS		Odběr TNS Nedakonice					
			P _{1s,max} = 15,54 MW		P _{10min,max} = 7,91 MW		P _{15min,max} = 7,02 MW	
Otrokovice	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %
Kunovice	1183 V	1,86 %	1167 V	1,84 %	1176 V	1,85 %	1177 V	1,85 %
Nedakonice	1166 V	1,84 %	1148 V	1,81 %	1159 V	1,83 %	1160 V	1,83 %
Kyjov	1050 V	1,65 %	1045 V	1,65 %	1048 V	1,65 %	1048 V	1,65 %
Pánov	1072 V	1,69 %	1036 V	1,63 %	1069 V	1,68 %	1069 V	1,68 %
Hodonín	1052 V	1,66 %	1045 V	1,65 %	1049 V	1,65 %	1049 V	1,65 %

Tab. 3.8 Snížení signálu HDO vlivem připojení TNS Nedakonice – Varianta 1

Snížení úrovně signálu HDO vlivem odběru TNS Nedakonice - Varianta 1			
Rozvodna 110 kV	Odběr TNS Nedakonice		
	P _{1s,max} = 15,54 MW	P _{10min,max} = 7,91 MW	P _{15min,max} = 7,02 MW
Otrokovice	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Kunovice	1,4 %	0,5 %	0,5 %
Nedakonice	1,6 %	0,6 %	0,5 %
Kyjov	0,5 %	0,2 %	0,2 %
Pánov	3,3 %	0,3 %	0,3 %
Hodonín	0,7 %	0,3 %	0,2 %

Tab. 3.9 Velikost signálu HDO z TR Otrokovice a vliv TNS Nedakonice – Varianta 2

Rozvodna 110 kV	Velikost signálu HDO z TR Otrokovice - Varianta 2							
	Bez odběru TNS		Odběr TNS Nedakonice					
			$P_{1s,max} = 30,9 \text{ MW}$		$P_{10min,max} = 18,46 \text{ MW}$		$P_{15min,max} = 16,93 \text{ MW}$	
Otrokovice	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %
Kunovice	1183 V	1,86 %	1139 V	1,79 %	1162 V	1,83 %	1164 V	1,83 %
Nedakonice	1166 V	1,84 %	1116 V	1,76 %	1143 V	1,80 %	1146 V	1,80 %
Kyjov	1050 V	1,65 %	1037 V	1,63 %	1044 V	1,64 %	1044 V	1,64 %
Pánov	1072 V	1,69 %	1048 V	1,65 %	1061 V	1,67 %	1062 V	1,67 %
Hodonín	1052 V	1,66 %	1033 V	1,63 %	1043 V	1,64 %	1044 V	1,64 %

Tab. 3.10 Snížení signálu HDO vlivem připojení TNS Nedakonice – Varianta 2

Snížení úrovně signálu HDO vlivem odběru TNS Nedakonice - Varianta 2			
Rozvodna 110 kV	Odběr TNS Nedakonice		
	$P_{1s,max} = 30,9 \text{ MW}$	$P_{10min,max} = 18,46 \text{ MW}$	$P_{15min,max} = 16,93 \text{ MW}$
Otrokovice	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Kunovice	3,7 %	1,8 %	1,6 %
Nedakonice	4,3 %	2,0 %	1,8 %
Kyjov	1,2 %	0,6 %	0,6 %
Pánov	2,3 %	1,1 %	0,9 %
Hodonín	1,7 %	0,8 %	0,7 %

Simulačními výpočty bylo ověřeno, že provoz TNS Nedakonice nezpůsobí snížení úrovně signálu HDO pod stanovenou mez (991 V , $1,56 \% U_l$), a to ani v případě maximálního odběru TNS ze sítě.

3.7 REKUPERACE – KOMENTÁŘ K DODÁVCE VÝKONU Z TRAKCE DO DS

V technickém pojetí je při elektrickém brzdění vlakových souprav dosahováno krátkodobých přetoků z trakčního napájení železnice do distribuční sítě (rekuperace) běžně. V případě dálkové a osobní železniční dopravy se krátkodobě jedná až o 7-10 % z odebíraného výkonu. U regionální dopravy je toto vyšší – až ke 20 %. Obchodně tato záležitost mezi TNS a distributorem není řešena, technicky je tolerována.

Velikost výkonu dodávaného z trakce v TNS Nedakonice do DS byla zadavatelem sdělena ve výši $RV = 2 \text{ MW}$. Z dopravně energetických výpočtů vyplývá, že velikost rekuperace může krátkodobě dosahovat až 8 MW, ale trvání tohoto stavu je řádově 10 až 20 sekund. Vzhledem k obvyklé krátké době trvání rekuperace (řádově vteřiny) není v 15-minutovém obchodním intervalu dodávka do DS z rekuperace zaznamenána. Předpokládá, že většina rekuperované energie bude spotřebována v daném úseku trakčního vedení a přetok do DS 110 kV bude

minimální. K tomuto stavu dochází zejména v denních hodinách, kdy je výrazně hustější provoz železnice.

Dodávka výkonu z rekuperace ve výši cca 8 MW (i když krátkodobá, v trvání řádově 10 až 20 sekund) může v odlehčené síti 110 kV (noční hodiny) způsobit zvýšení napětí i nad dovolenou horní mez 121 kV. Proto je nutné zajistit, aby při dodávce výkonu z TNS do DS byl dodržen neutrální účinník $\cos(\phi)$ a nedocházelo tak k dodávce jalového výkonu z TNS do DS (který by ještě mohl zvyšovat napětí v odlehčené síti 110 kV).

V době, kdy může DS být zahlcena velkou dodávkou výkonu z FVE (v běžných denních hodinách) je potenciální dodávka výkonu z rekuperace z TNS do DS velmi nízká.

Na základě diskuse, která ve výše uvedeném smyslu proběhla mezi zástupci zadavatele SUDOP Brno, provozovatelem DS EG.D a řešitelskou organizací bylo konstatováno, že rekuperovaný výkon dodávaný z trakce do DS 110 kV je objemem zatím nízký a není tedy omezujícím činitelem pro připojení TNS Nedakonice do DS 110 kV EG.D. Proto bylo dohodnuto, že výpočty vlivu rekuperace v TNS Nedakonice na DS nebudou ve studii zatím prováděny.

Pozn: Výhledově se však situace s rekuperací energie z brzdících souprav bude měnit:

- 1) Rostou výkony lokomotiv i dopravní výkony a potenciální vlivy na DS mohou být tedy také vyšší.*
- 2) S měničovou technologií se prodlužují napájené úseky trakce s větším počtem souprav.*
- 3) Je zájmem provozovatele železnic v budoucnu maximálně využívat energie z brzděných souprava pro jiné soupravy v daném úseku.*

V budoucnu lze tedy předpokládat vyšší potřebu řešit jak technické, tak i obchodní souvislosti s rekuperací.

4 ZÁVĚR

Zatěžování sítě 110 kV

Provoz TNS Nedakonice, po rekonstrukci a navýšení odběrů, nezpůsobuje v žádném z analyzovaných provozních stavů nepřipustné zatěžování sítě 110 kV, a to ani při kontrole stavu N-1.

Největší zatížení vodičů bylo zjištěno při podmínkách: zimní stav, varianta 2, odběr TNS Nedakonice jednosekundového maximálního výkonu $P_{1s,max} = 30,9 \text{ MW}$. V tomto analyzovaném nejnejpříznivějším scénáři bylo při kontrole (N-1) dosaženo 63,7 % max. proudové zatížitelnosti (výkonem 57,3 MW) na vedení V542 Hodonín – Pánov při výpadku vedení V546 Kunovice – Otrokovice.

Změny napětí

Změny napětí v DS 110 kV ve Variantě 1 vyvolané odběrem výkonu trakcí nepřekračují hranici 2 % U_n , a to ani ve stavech N-1. K největší změně napětí dochází při stavu N-1 v R 110 kV Nedakonice a Kunovice, a to ve velikosti 1,6 %.

Největší změny napětí ve Variantě 2 vyvolané odběrem výkonu trakcí, a to zejména ve stavech N-1 při odběru $P_{1s,max} = 30,9 \text{ MW}$, jsou v R 110 kV Kunovice a Nedakonice až 3,4 % U_n .

Při odběru výkonu trakcí ve velikosti požadovaného $RP = 20 \text{ MW}$ je největší změna napětí ve velikosti 2,1 % U_n v R110 kV Kunovice a Nedakonice, a to ve stavech N-1 v síti 110 kV.

Flikr

Při předpokládaném použití moderních víceimpulsních měničů v TNS Nedakonice s nízkým činitelem flikru se nepředpokládá zhoršení celkové úrovně flikru v DS. Flikr tedy není omezující pro provoz zařízení TNS.

Vyšší harmonické

Při použití moderních měničů se neočekává výrazný vliv TNS Nedakonice na emitování vyšších harmonických proudů či napětí. Skutečný vliv provozu TNS Nedakonice bude ověřen měřeními v rámci Provozu pro ověření souladu, a v případě nesouladu s požadavky PPDS bude vyžadována realizace nápravných opatření.

HDO

Simulačními výpočty bylo ověřeno, že provoz TNS Nedakonice nezpůsobí snížení úrovně signálu HDO pod stanovenou mez (991 V, 1,56 % U_f), a to ani v případě maximálního odběru TNS ze sítě 110 kV.

Modernizace napájení trakce v TNS Nedakonice vybavením technologií výkonových měničů je nezbytné, neboť stávající napájení přes 1-fázové trakční transformátory nesplňuje kritéria nesymetrie napětí vůči distribuční síti 110 kV. I při použití měničové technologie napájení trakce je nutné tuto technologii v TNS Nedakonice před uvedením do běžného provozu ověřit měřením především z hlediska emisí vyšších harmonických.



S energií počítáme!