



Jiná ověření:

Paré:

Orientační schéma:




Razítko oprávněné osoby:

Podpis:

Datum:

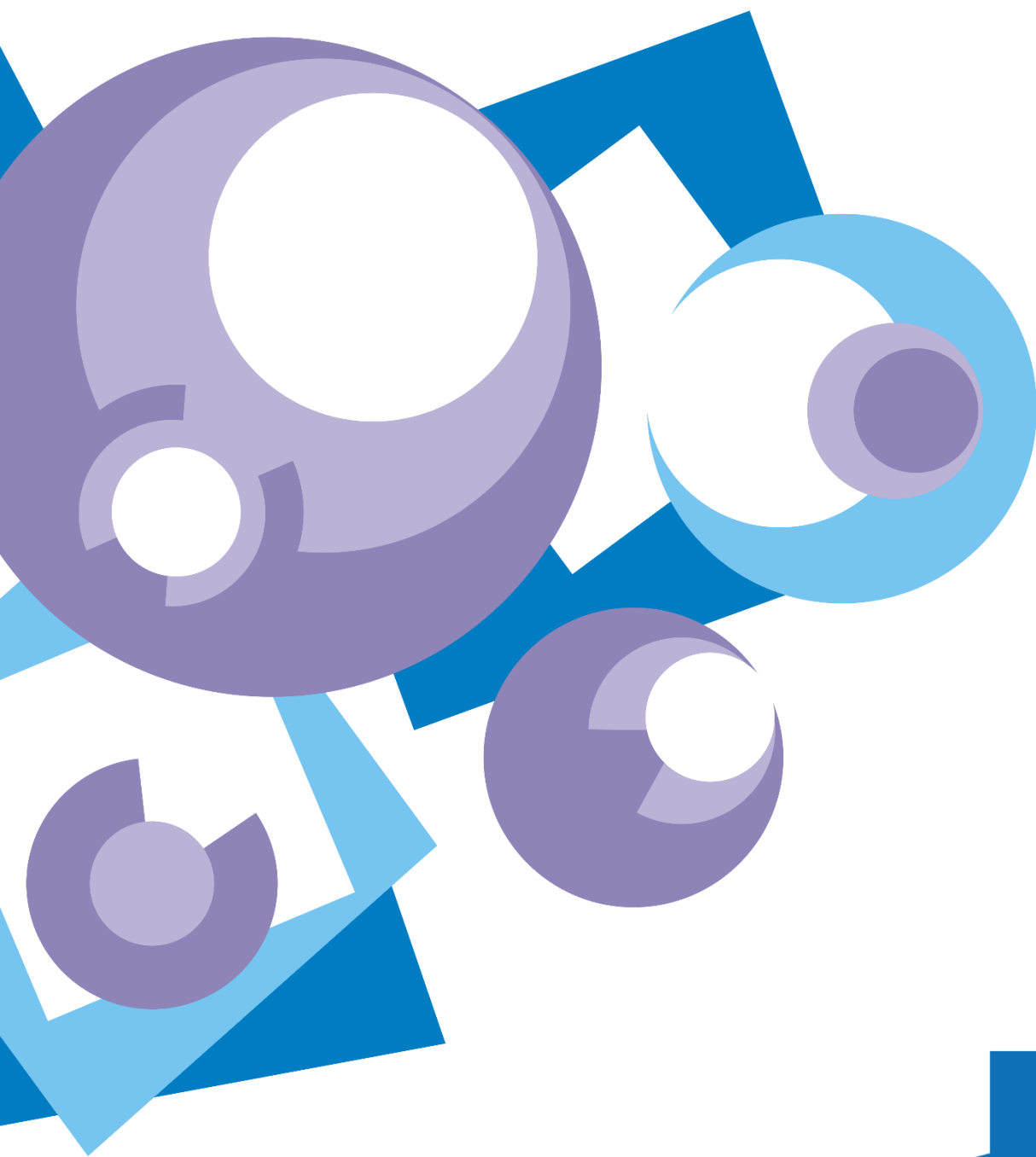
Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
001	29.1.2023	Definitivní odevzdání dokumentace	Ing. Jan Zářecký

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	

Zhotovitel díla:	SUDOP Brno, spol. s r.o.	
Adresa:	Kounicova 688/26, 611 36 Brno	
Kontakt:	T: +420 972 625 804 E: sudop@sudop-brno.cz	
Zhotovitel objektu:	SUDOP Brno, spol. s r.o.	
Adresa:	Kounicova 688/26, 611 36 Brno	
Kontakt:	T: +420 972 625 804 E: sudop@sudop-brno.cz	
Hlavní projektant (HIP):	Ing. Jiří Pelc	Specialista: Ing. Jan Zářecký

Název stavby/akce:	Státní hranice Slovenská republika (Střelná) – Vsetín (mimo) - konverze		Označení Investora:	S621800296
			Označení zhotovitele:	21097-01-0922
Název části:	Silnoproudá technologie trakčních napájecích stanic Silnoproudá technologie trakčních spínacích stanic		Označení části:	D.1.3.3 D.1.3.4
Název objektu/dílčí části:	-		Označení objektu/komplexu:	
Název přílohy:	TNS, Studie připojitelnosti		Číslo přílohy:	3.002
Název dílčí části přílohy:	-			
Odpovědný projektant:	Zpracovatel přílohy:	Měřítko:	Stupeň dokumentace: DÚR	
Ing. Jan Zářecký	Ing. Vítězslav Šimáček	Formáty: A4		
Kraj:	Katastrální území:	TUDU:	Smluvní datum zpracování: 29.01.2023	
Zlínský	viz část A. dokumentace	viz část A. dokumentace		

Označení investora:											Stupeň dokumentace:				Část:				Objekt:				Podobný:				Příloha:				Revize:											
S	6	2	1	8	0	0	2	9	6	-	D	U	R	X	-	D	1	3	3	4	-	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	-	3	-	0	0	2	-	0	0	1



Studie připojitelnosti trakční napájecí stanice Střelná

duben 2022

Objednatel: SUDOP Brno, spol. s r.o.

Zhotovitel: EGÚ Brno, a. s., sekce Provoz a rozvoj energetické soustavy

Evidenční čísla smluv: 11097 - 09/21 (SUDOP Brno, spol. s r.o.)
22 119 (EGÚ Brno, a.s.)

Studie připojitelnosti trakční napájecí stanice Střelná

Zpracovali za zhotovitele: Petr Modlitba
Jan Kroulík
Tomáš Mendl
Petr Modlitba, jr.
a kolektiv sekce 0100

Obsah

1	Úvod	7
2	Připojení R Střelná do DS 110 kV	8
2.1	Charakteristika místa připojení	8
2.2	Charakteristika TNS Střelná a průběh rekonstrukce	9
2.3	Charakteristika trakčního odběru TNS Střelná	10
3	Vliv odběru a dodávky výkonu TNS Střelná na síť 110 kV	13
3.1	Vliv na zatěžování sítě 110 kV	13
3.2	Změny napětí	21
3.3	Limity zpětných vlivů na distribuční soustavu	24
3.4	Nesymetrie napětí	25
3.5	Flikr	26
3.6	Vyšší harmonické	26
3.7	Dopady TNS na signál HDO	33
3.8	Zařízení v režimu kompenzace	35
4	Závěr	38

1 Úvod

Studie připojitelnosti trakční napájecí stanice (TNS) Střelná do distribuční sítě 110 kV byla zpracována na základě objednávky firmy SUDOP Brno, spol. s r.o., která připravuje podklady záměru projektu a přípravné dokumentace stavby „Státní hranice Slovenská republika (Střelná) – Vsetín (mimo) – konverze“ ve stupni DUR + FIDIC.

V současné době se připravují projekty rekonstrukce, rozšiřování a přechod elektrifikovaných tratí dosud napájených stejnosměrným systémem 3 kV na jednotný systém napájení AC 25 kV na východní Moravě a v dalších oblastech ČR. Nová koncepce napájení systému 25 kV vychází z aplikace zařízení s moderními polovodičovými technologiemi, které by nahrazovaly tradičně (od roku 1965) používané pojetí střídavých trakčních napájecích stanic s dvojicí jednofázových transformátorů zapojených do V. Nová technologie je založena na kaskádě dvojice měničů 3AC/DC a DC/1AC.

V kontextu s touto systémovou konverzí napájení železniční trakce bude rekonstruována trakční napájecí stanice Střelná. V současné době je TNS Střelná vybavena trakčními transformátory 2 x 12 MVA (V-zapojení) a usměrňovači, které napájí stejnosměrný systém trakce o napětí 3 kV. V rámci rekonstrukce bude stávající TNS vybavena dvěma novými transformátory 2 x 30 MVA a polovodičovými SFC měniči 2 x 20 MW, které budou napájet trakční systém o střídavém napětí 25 kV. Bude též navýšen rezervovaný příkon TNS Střelná ze stávajících 10 MW na 12,1 MW.

Studie připojitelnosti má za cíl posoudit, zda je možné připojit do distribuční sítě 110 kV ČEZ Distribuce trakční napájecí stanici v lokalitě Střelná při jejím vybavení výkonovými měniči. Posuzováno je zejména hledisko vlivu TNS na distribuční síť 110 kV, aniž by byly překročeny meze dovolené zatížitelnosti prvků sítě a meze provozního napětí v místě připojení k distribuční síti. Jedná se o vyhodnocení toků výkonů, velikostí a změn napětí vyvolané připojením odběru trakce, resp. zpětnou dodávkou výkonu z trakce do distribuční sítě.

Z hlediska hodnocení zpětných vlivů vyvolaných připojením trakčního napájecího zařízení s výkonovými měniči na síť je studie zaměřena na vyhodnocení vlivu na emise vyšších harmonických a vlivu na útlum signálu HDO v distribuční síti 110 kV ČEZ Distribuce a na odběry distribuce (ČEZ Distribuce a EG.D) na napěťové hladině 22 kV napájené ze stanice Střelná..

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.*

2 Připojení R Střelná do DS 110 kV

2.1 Charakteristika místa připojení

Trakční napájecí stanice Střelná je napájena přes venkovní rozvodnu 110 kV v zapojení „H“. Rozvodna 110 kV Střelná je připojena smyčkou mezi linkami V566 od Ústí u Vsetína (TNS Leskovec) a V7778 od Povážské Bystrice (SK). Přeshraniční vedení V7778 Střelná – Povážská Bystrica je za normálního provozního stavu obvykle vypnuto. Napájení R110 kV Střelná je tedy obvykle realizováno radiální připojením z rozvodny Vsetín linkou V565 Vsetín – Ústí u V. (TNS Leskovec) a dále linkou V566 Ústí u V. – Střelná. Délka vedení 110 kV ze Vsetína do Střelné je 19,3 km (5,8 km (V565) + 13,5 km (V566)).

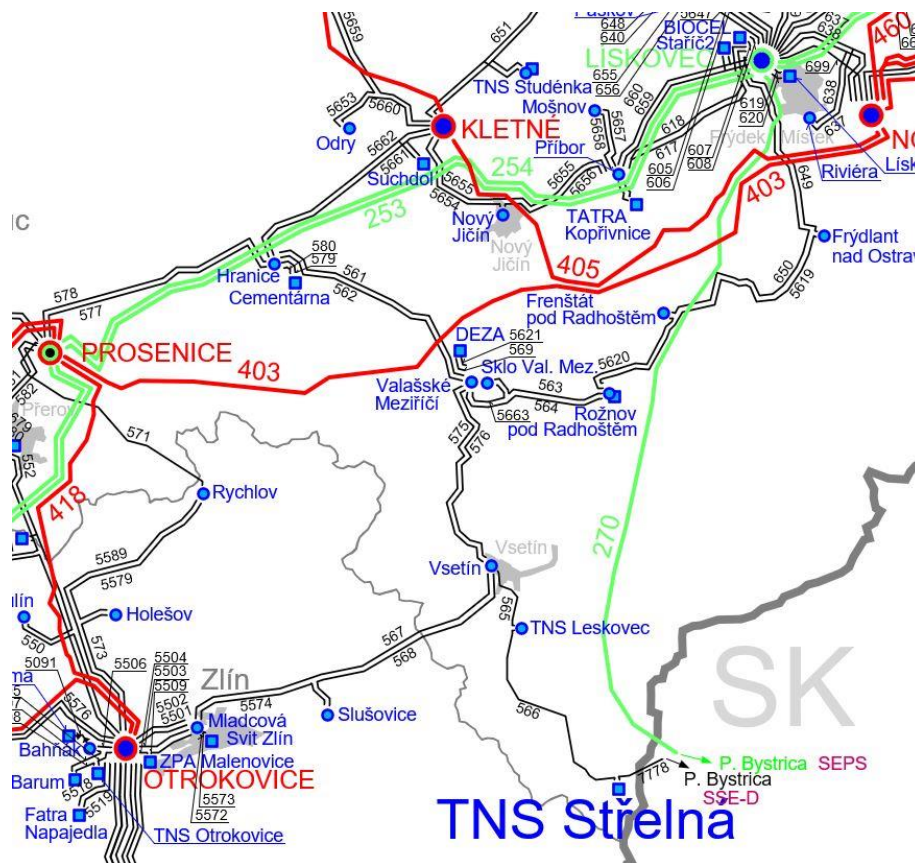
TNS Střelná je v základním provozním zapojení napájena z uzlové oblasti 110 kV z TR Kletné.

Při změně provozního zapojení sítě 110 kV může být R110 kV Střelná napájena:

- z UO Prosenice – převedení linek V561/562 v R110 kV Hranice n.M. na UO Prosenice
- z UO Otrokovice – převedení linek V567/568 v R 110 kV Vsetín na UO Otrokovice (EG.D)
- z UO Pov.Bystrica (SSD) – přes V7778 z R110 kV Pov.Bystrica – při vypnutém vedení V565 Vsetín-Ústí u V., případně vypnutém V566 Ústí u V – Střelná.

Na následujícím obrázku je znázorněno připojení TNS Střelná do sítě 110 kV.

Obrázek 2.1 Připojení TNS Střelná do sítě 110 kV



2.2 Charakteristika TNS Střelná a průběh rekonstrukce

TNS Střelná je specifická ve způsobu provozování: i když jsou transformátory T101 a T102, 110/22 kV v majetku Správy železnic, tak na straně 22 kV jsou kromě technologie TNS napájeny i linky 22 kV ČEZd a EG.D.

Současný stav:

Rozvodna 110 kV Střelná je venkovního provedení v zapojení typu „H“. V rozvodně jsou v samostatných krytých stáních umístěny dva transformátory T101 a T102 110 kV/23 kV, každý o výkonu 16 MVA, ze kterých je napojen rozvaděč 22 kV Správy železnic. Z tohoto rozvaděče jsou napájeny 4 usměrňovačové transformátory 22 kV / 2 x 2,5 kV s usměrňovači 3 kV. Dále jsou z rozvaděče 22 kV SŽ napájeny transformátory vlastní spotřeby a transformátory pro napájení vnitřní rozvodné soustavy 6 kV.

Dále je k rozvaděči 22 kV SŽ napojen dvěma vývody samostatný rozvaděč 22 kV sloužící pro distribuci ČEZd a EG.D. Z tohoto distribučního rozvaděče jsou napojeny linky 22 kV: VN223 (ČEZd) a VN65 a VN89 (EG.D).

Navrhovaný budoucí stav (po rekonstrukci):

Venkovní rozvodna 110 kV Střelná zůstává stejná – beze změn. Ve stávajících trafokomorách bude provedena výměna transformátorů T101 a T102 (2 x 16 MVA) za transformátory o výkonu 2 x 30 MVA.

Rozvaděč 22 kV SŽ bude přezbrojen tak, aby vyhovoval napájení z transformátorů 2 x 30 MVA (navýšení proudové zatížitelnosti rozvaděče ze 630 A na 1250 A, nové MTP, nové fakturační elektroměry ČEZd, atd.). K takto upravenému rozvaděči budou připojeny transformátory pro napájení výkonových měničů 2x SFC 20 MW.

Napojení distribučního rozvaděče 22 kV včetně jeho výzbroje zůstává stávající.

V technologické budově budou po demontáži usměrňovačových transformátorů a rozvaděče 3 kV instalovány vstupní a výstupní transformátory výkonových SFC měničů. Z nových SFC měničů 2 x 20 MW bude napojen nový rozvaděč 25 kV.

Napájení trakce a distribuce v průběhu rekonstrukce TNS:

Při rekonstrukci TNS bude využita pro napájení stejnosměrné trakce převozná měnírna 2 x 5 MW. Rekonstrukce TNS bude probíhat po polovinách, tj. transformátor T101 s přívodem do rozvaděče 22 kV, přezbrojení pole a výměna MTP ve vývodu na měnič M1, a pak obdobně transformátor T102 s přívodem, přezbrojením pole a výměnou MTP ve vývodu na měnič M2.

Napájení distribuce 22 kV by mělo zůstat nepřerušeno.

Součástí stavby bude rovněž nová vlastní spotřeba TNS. Z rozvaděčů vlastní spotřeby bude zachováno napájení vlastní spotřeby ČEZd a EG.D.

2.3 Charakteristika trakčního odběru TNS Střelná

V současné době je dle zimních měření dlouhodobě výkon odebíraný ze sítě 110 kV v rozvodně Střelná ve velikosti 4,4 MW (ZM 2021). Z tohoto výkonu je cca 2 MW odběr distribuce (ČEZd a EG.D) a 2,2 MW odběr trakce.

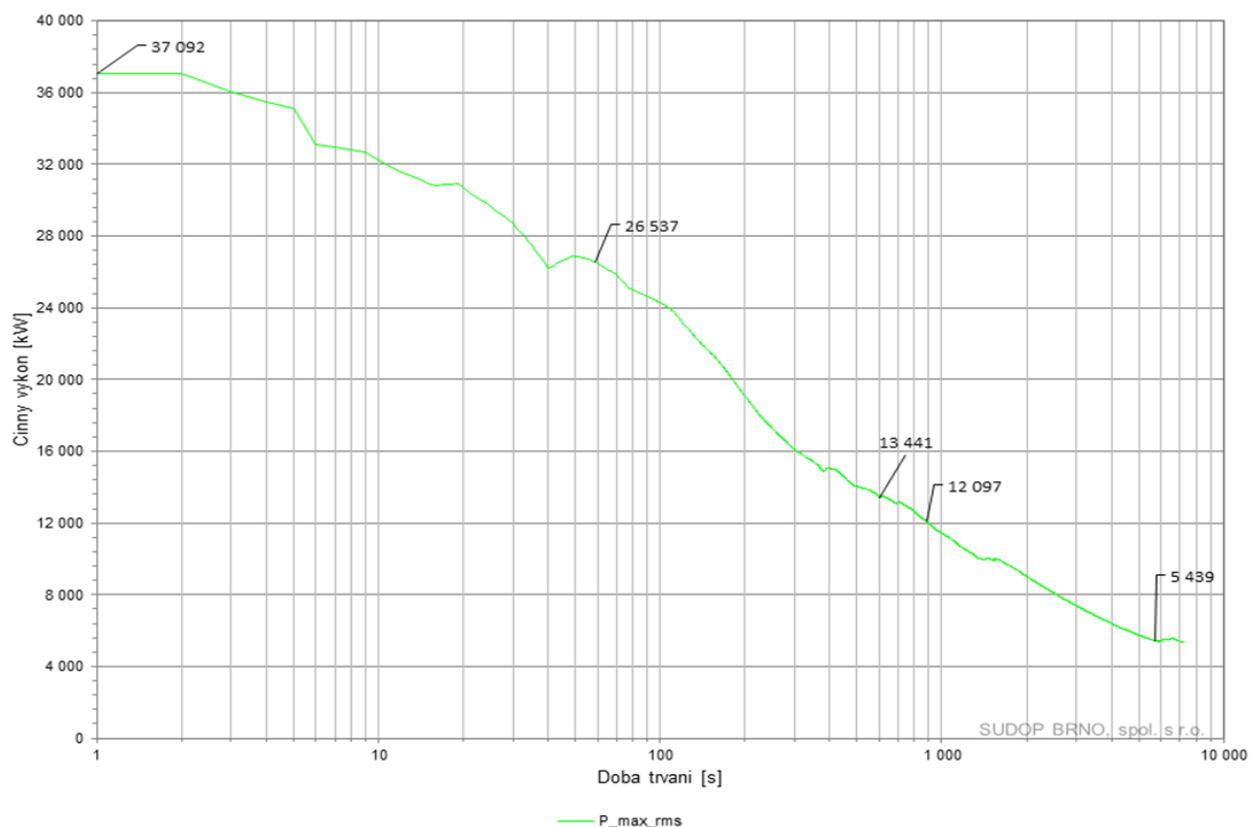
Stávající rezervovaný příkon TNS Střelná je 10 MW. Po rekonstrukci je požadovaný rezervovaný příkon 12,1 MW.

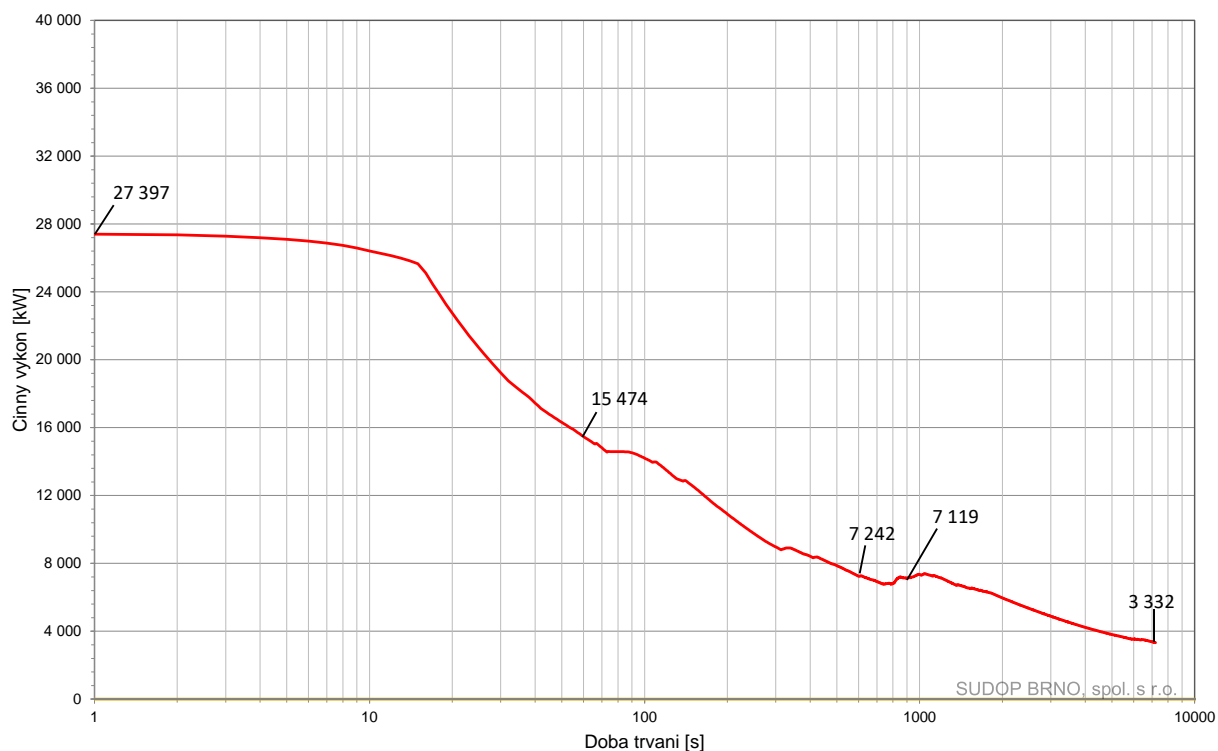
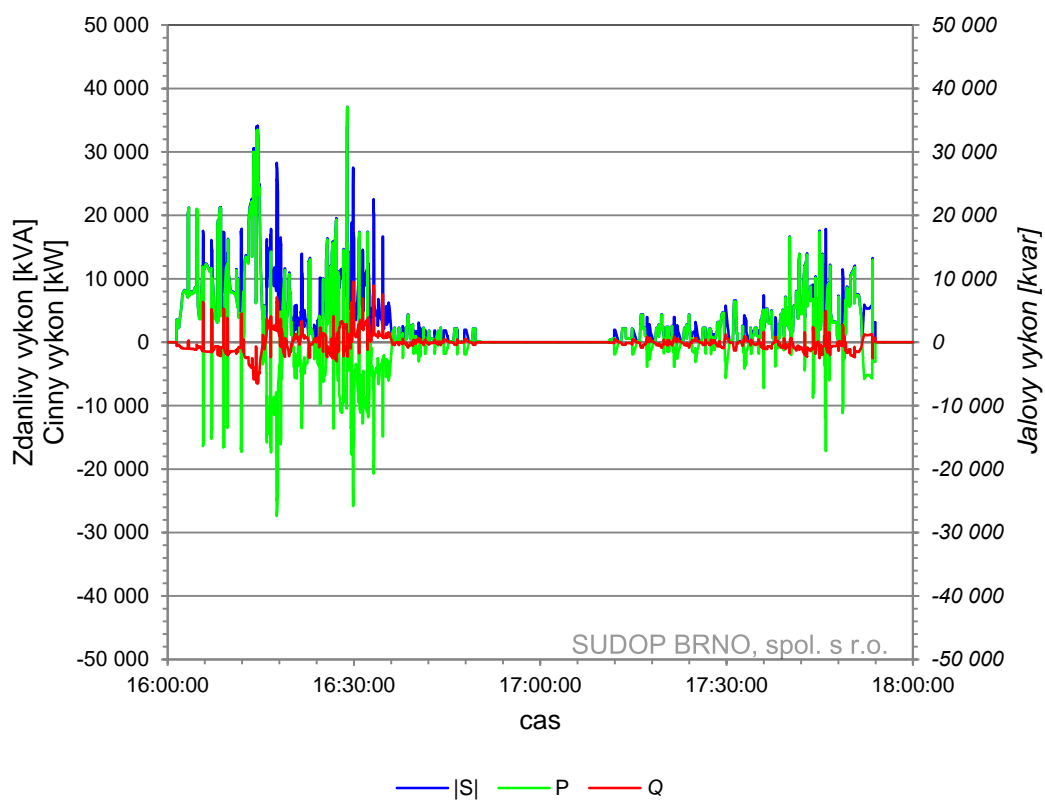
Trakční odběr je silně proměnlivý. Zadavatelem byl poskytnut materiál Dopravně energetických výpočtů řešících dimenzování napájecí stanice TNS Střelná s ohledem na budoucí uvažovanou dopravu, který vycházel ze simulace očekávaného ročního průběhu potřeby trakčního výkonu v TNS Střelná. Z hlediska využití energie rekuperované při brzdění je systém navržen tak, že umožňuje výměnu energie s jinými vlaky. Trakční napájecí stanice umožňuje přetok energie zpět do distribuční soustavy.

Z dopravně energetických výpočtů zpracovaných firmou SUDOP Brno byl převzat výkonový průběh 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.

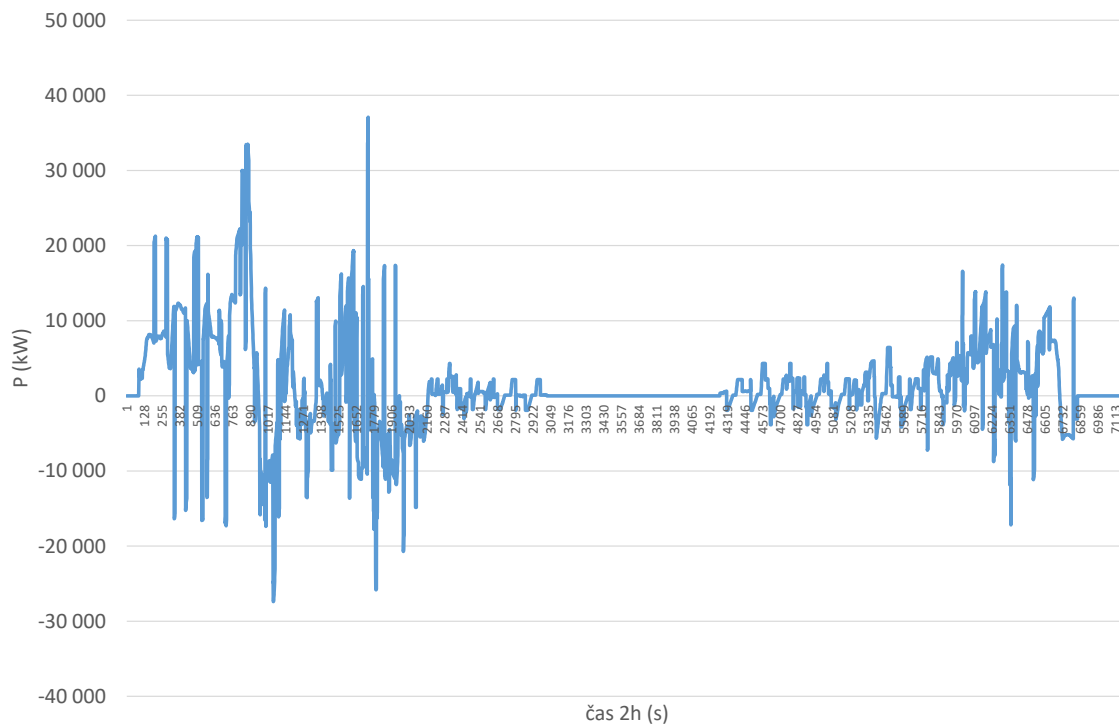
Z průběhů byly sestaveny hodnoty doby trvání zatížení a hodnoty očekávaného příkonu a dodávky z trakce v jednotlivých časových kategoriích.

Obrázek 2.2 Doba trvání odběru činného výkonu trakce TNS Střelná z DS

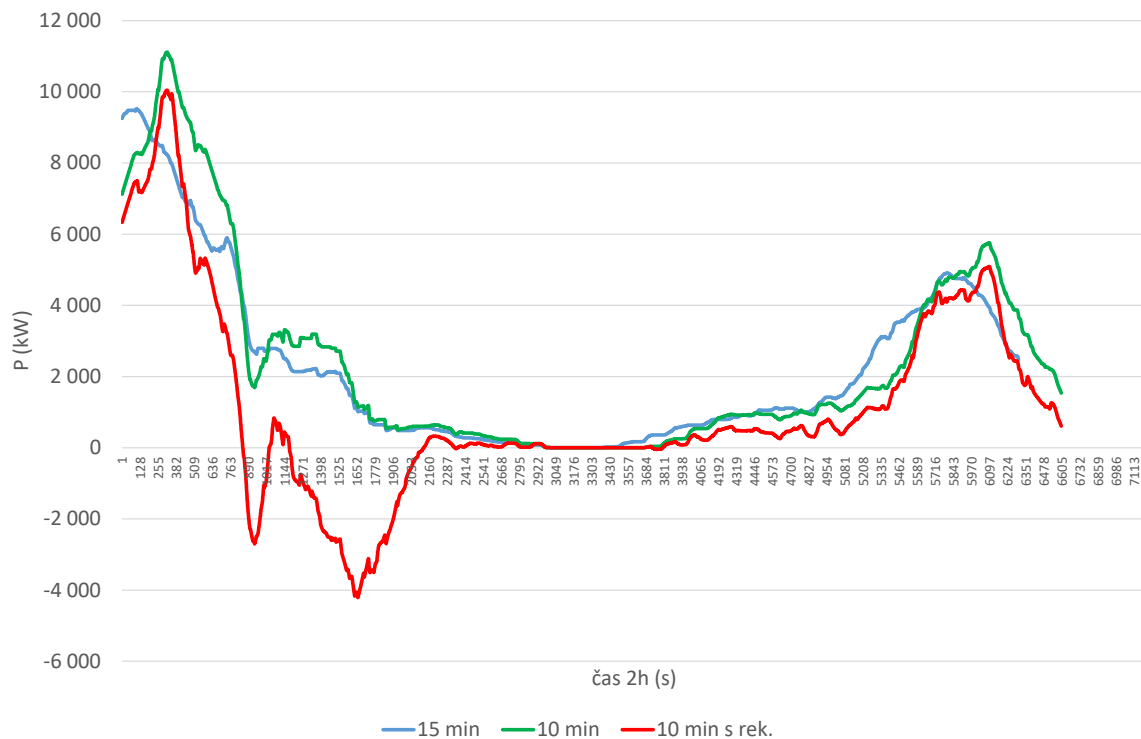


Obrázek 2.3 Doba trvání dodávky výkonu (rekuperace) trakce z TNS Střelná do DS**Obrázek 2.4** Průběh trakčního odběru včetně rekuperace za 2h špičku v sekundovém členění

Obrázek 2.5 Průběh budoucího trakčního odběru činného výkonu za 2h špičku v sekundovém členění



Obrázek 2.6 Průběh budoucího trakčního odběru včetně rekuperace za 2h špičku – průměrné hodnoty pro plovoucí okno 10 min (včetně rekuperace) a 15 min



Z materiálu Dopravně energetických výpočtů vyplynuly následující hodnoty odběru / dodávky trakce v TNS Střelná.

Tabulka 2.1 Předpokládané hodnoty odběru a dodávky výkonu trakce v TNS Střelná

TNS Střelná		
výkon	odběr (MW)	dodávka (MW)
$P_{1s, \max}$	37,1	27,4
$P_{1\min, \max}$	26,5	15,5
$P_{10\min, \max}$	13,4	7,2
$P_{15\min, \max}$	12,1	7,1
P_{2h}	5,4	3,3

3 Vliv odběru a dodávky výkonu TNS Střelná na síť 110 kV

3.1 Vliv na zatěžování sítě 110 kV

Kapitola prověřuje zatěžování vedení 110 kV ve stavu bez a s trakčním odběrem / dodávkou výkonu TNS Střelná. Výpočty jsou provedeny pro očekávaná bilanční stav sítě 110 kV v zimním maximu roku 2025. Hodnocení je provedeno pro očekávané časové hodnoty trakčního odběru a dodávky v TNS Střelná stanovené z energeticko-dopravních simulačních výpočtů provozu trakce v dané lokalitě.

Výpočty zatěžování sítě 110 kV jsou provedeny pro 4 různé možnosti zapojení DS 110 kV pro napájení rozvodny Střelná:

1. Napájení z UO Kletné – základní provozní zapojení
2. Napájení z UO Prosenice – převedení V561/562 v R Hranice na UO Prosenice
3. Napájení z UO Otrokovice – převedení V565 na V567/568 v R Vsetín
4. Napájení z UO Pov.Bystrica – V565 – V566 vypnuto, napájení z V7778 Pov.Bystrica (SK)

Výpočty pro všechny 4 způsoby napájení R110 kV Střelná byly provedeny pro plné zapojení sítě 110 kV a pro stavy (N-1). Při výpočtu (N-1) jsou analyzovány dopady výpadků vybraných prvků sítě 110 kV.

Výpočty zatížení jsou provedeny pro bilančně výkonové stavy zimního zatížení sítě predikované pro časový horizont roku 2025 a to bez nasazení výroby / dodávky ve zdrojích v dané oblasti sítě 110 kV, do které je R Střelná připojena. Pro zjištění vlivu odběru / dodávky TNS Střelná na zatěžování vedení 110 kV jsou výpočty provedeny ve 2 krocích s odběrem trakce TNS z distribuční sítě 110 kV a s dodávkou trakce do DS 110 kV:

- pro bilanční stavy s odběrem TNS:

7,5 MW odběr (odběr trakce P2h 5,5 MW + ost.odběr distr. 2 MW)

14,1 MW odběr (odběr trakce P15min 12,1 MW + ost.odběr distr. 2 MW)

28,6 MW odběr (odběr trakce P1min 26,6 MW + ost.odběr distr. 2 MW)

39,1 MW odběr (odběr trakce P1s špička 37,1 MW + ost.odběr distr. 2 MW)

- pro bilanční stavy s dodávkou z TNS Střelná do DS

dodávka 7,1 MW (rekuperace – dodávka P15min do DS)

dodávka 27,4 MW (špička dodávky trakce do DS – dle DS)

V tabulkách je vyhodnoceno zatížení vybraných vedení 110 kV v napájecím směru pro nejméně příznivý výpadek jednotlivých linek 110 kV v daném stavu.

3.1.1 Analýza zatížení vedení 110 kV v očekávaném zimním stavu roku 2025 – napájení R 110 kV Střelná z UO Kletné

Tabulka 3.1 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 7,5 MW v TNS Střelná (5,5 MW trakce + 2 MW ostatní odběr) – napájení z TR Kletné

Napájeno z TR Kletné							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 7,5 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
5661	Kletné	Hranice na Moravě	62,81	36,72	126,28	74,34	5662
5662	Kletné	Hranice na Moravě	62,82	36,72	126,28	74,34	5661
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	44,37	44,79	89,71	91,04	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	44,37	44,79	89,71	91,04	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	23,74	24,34	47,48	49,05	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	23,74	24,34	47,48	49,05	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	8,04	8,28	8,04	8,42	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	7,51	7,74	7,51	7,87	561

Tabulka 3.2 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 14,1 MW v TNS Střelná (12,1 MW trakce + 2 MW ostatní odběr) – napájení z TR Kletné

Napájeno z TR Kletné							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 14,1 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
5661	Kletné	Hranice na Moravě	66,28	38,82	133,30	78,70	5662
5662	Kletné	Hranice na Moravě	66,29	38,83	133,30	78,70	5661
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	47,80	48,37	96,76	98,50	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	47,80	48,37	96,76	98,50	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	27,06	27,85	54,12	56,20	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	27,06	27,85	54,12	56,20	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	14,68	15,13	14,68	15,40	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	14,15	14,58	14,15	14,85	561

Tabulka 3.3 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 28,6 MW v TNS Střelná (26,6 MW trakce + 2 MW ostatní odběr distribuce) – napájení z TR Kletné

Napájeno z TR Kletné							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 28,6 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
5661	Kletné	Hranice na Moravě	74,00	43,56	148,98	88,62	5662
5662	Kletné	Hranice na Moravě	74,01	43,57	148,98	88,62	5661
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	55,44	56,44	112,49	115,47	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	55,44	56,44	112,49	115,47	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	34,40	35,76	68,81	72,39	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	34,40	35,76	68,81	72,39	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	29,36	30,52	29,38	31,23	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	28,79	29,98	28,80	30,68	561

Tabulka 3.4 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 39,1 MW v TNS Střelná (37,1 MW 1s odběr trakce + 2 MW ostatní odběr distribuce) – napájení z TR Kletné

Napájeno z TR Kletné							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 39,1 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
5661	Kletné	Hranice na Moravě	79,69	47,15	160,56	96,20	5662
5662	Kletné	Hranice na Moravě	79,70	47,15	160,56	96,20	5661
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	61,06	62,51	124,15	128,48	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	61,06	62,51	124,15	128,48	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	39,76	41,70	79,54	84,66	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	39,76	41,70	79,54	84,66	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	40,09	42,03	40,11	43,22	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	39,47	41,49	39,49	42,66	561

Tabulka 3.5 Zatížení vedení 110 kV – stav s dodávkou výkonu 7,1 MW z TNS Střelná do DS – napájení z TR Kletné

Napájeno z TR Kletné							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 7,1 MW dodávka TNS do DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
5661	Kletné	Hranice na Moravě	47,51	27,30	95,37	55,02	5662
5662	Kletné	Hranice na Moravě	47,52	27,30	95,37	55,02	5661
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	31,15	30,86	62,76	62,35	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	31,15	30,86	62,76	62,35	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	12,36	12,37	24,71	24,83	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	12,36	12,37	24,71	24,83	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	-6,59	6,65	-6,59	6,71	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	-7,09	7,13	-7,09	7,20	561

Tabulka 3.6 Zatížení vedení 110 kV – stav s dodávkou výkonu 27,4 MW z TNS Střelná do DS – napájení z TR Kletné

Napájeno z TR Kletné							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 27,4 MW dodávka TNS do DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
5661	Kletné	Hranice na Moravě	37,24	21,33	74,70	42,91	5662
5662	Kletné	Hranice na Moravě	37,25	21,34	74,70	42,91	5661
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	20,95	20,68	42,09	41,64	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	20,95	20,68	42,09	41,64	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	2,30	2,39	4,60	4,79	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	2,30	2,39	4,60	4,79	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	-26,70	26,49	-26,70	26,67	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	-27,24	26,99	-27,24	27,17	561

V základním provozním stavu při plném zapojení všech prvků sítě 110 kV trakční odběr ani dodávka výkonu z TNS Střelná nezpůsobují z pohledu zatěžování vedení v síti 110 kV problémy.

Při neúplného zapojení sítě (kontrola podle kritéria N-1) dochází při odběru TNS 14 MW a více k přetěžování vedení 561/562 Hranice n.M. – Valašské Meziříčí. Při vypnutí jedné linie z dvojitého vedení 561/562 dosahuje zatížení zbývajících linky 128 % I_{max} (maximální dovolené proudové zatížitelnosti) při sekundové špičce odběru TNS 39,1 MW. Pro požadovaný (P_{15min}) odběr TNS ve výši 14 MW bylo zjištěno nejvyšší zatížení V561/562 při N-1 ve velikosti výši 98 % I_{max} .

3.1.2 Analýza zatížení vedení 110 kV v očekávaném zimním stavu roku 2025 – napájení R 110 kV Střelná z UO Prosenice

Tabulka 3.7 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 7,5 MW v TNS Střelná (5,5 MW trakce + 2 MW ostatní odběr) – napájení z TR Prosenice

Napájeno z TR Prosenice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 7,5 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
577	Prosenice	Hranice na Moravě	61,84	36,70	124,52	74,39	578
578	Prosenice	Hranice na Moravě	61,84	36,70	124,52	74,39	577
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	44,39	45,58	89,79	92,67	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	44,39	45,58	89,79	92,67	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	23,74	24,77	47,48	49,92	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	23,74	24,77	47,48	49,92	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	8,04	8,43	8,04	8,57	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	7,51	7,88	7,51	8,01	561

Tabulka 3.8 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 14,1 MW v TNS Střelná (12,1 MW trakce + 2 MW ostatní odběr) – napájení z TR Prosenice

Napájeno z TR Prosenice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 14,1 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
577	Prosenice	Hranice na Moravě	65,32	38,83	131,60	78,82	578
578	Prosenice	Hranice na Moravě	65,32	38,83	131,60	78,82	577
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	47,83	49,21	96,85	100,25	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	47,83	49,21	96,85	100,25	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	27,06	28,34	54,12	57,19	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	27,06	28,34	54,12	57,19	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	14,68	15,39	14,68	15,68	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	14,15	14,84	14,15	15,12	561

Tabulka 3.9 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 28,6 MW v TNS Střelná (26,6 MW trakce + 2 MW ostatní odběr distribuce) – napájení z TR Prosenice

Napájeno z TR Prosenice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 28,6 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
577	Prosenice	Hranice na Moravě	73,09	43,64	147,43	88,90	578
578	Prosenice	Hranice na Moravě	73,09	43,64	147,43	88,90	577
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	55,48	57,40	112,63	117,48	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	55,48	57,40	112,63	117,48	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	34,41	36,37	68,82	73,64	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	34,41	36,37	68,82	73,64	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	29,37	31,04	29,39	31,79	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	28,80	30,49	28,81	31,22	561

Tabulka 3.10 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 39,1 MW v TNS Střelná (37,1 MW 1s odběr trakce + 2 MW ostatní odběr distribuce) – napájení z TR Prosenice

Napájeno z TR Prosenice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 39,1 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
577	Prosenice	Hranice na Moravě	78,80	47,18	159,12	96,39	578
578	Prosenice	Hranice na Moravě	78,80	47,18	159,12	96,39	577
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	61,10	63,43	124,30	130,32	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	61,10	63,43	124,30	130,32	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	39,77	42,32	79,55	85,93	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	39,77	42,32	79,55	85,93	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	40,10	42,66	40,13	43,86	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	39,48	42,11	39,50	43,29	561

Tabulka 3.11 Zatížení vedení 110 kV – stav s dodávkou výkonu 7,1 MW z TNS Střelná do DS – napájení z TR Prosenice

Napájeno z TR Prosenice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 7,1 MW dodávka TNS do DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
577	Prosenice	Hranice na Moravě	30,01	17,68	60,20	35,54	578
578	Prosenice	Hranice na Moravě	30,01	17,68	60,20	35,54	577
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	31,17	31,66	62,81	63,98	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	31,17	31,66	62,81	63,98	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	12,36	12,69	24,71	25,48	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	12,36	12,69	24,71	25,48	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	-6,59	6,81	-6,59	6,88	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	-7,09	7,31	-7,09	7,38	561

Tabulka 3.12 Zatížení vedení 110 kV – stav s dodávkou výkonu 27,4 MW z TNS Střelná do DS – napájení z TR Prosenice

Napájeno z TR Prosenice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 27,4 MW dodávka TNS do DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté v
577	Prosenice	Hranice na Moravě	19,75	11,61	39,57	23,30	578
578	Prosenice	Hranice na Moravě	19,75	11,61	39,57	23,30	577
561	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	20,96	21,24	42,13	42,77	562
562	Hranice na Moravě	Valašské Meziříčí	20,96	21,24	42,13	42,77	561
575	Valašské Meziříčí	Vsetín	2,30	2,47	4,61	4,95	576
576	Valašské Meziříčí	Vsetín	2,30	2,47	4,61	4,95	575
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	-26,69	27,19	-26,69	27,37	561
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	-27,24	27,69	-27,23	27,88	561

3.1.3 Analýza zatížení vedení 110 kV v očekávaném zimním stavu roku 2025 – napájení R 110 kV Střelná z UO Otrokovice

Tabulka 3.13 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 7,5 MW v TNS Střelná (5,5 MW trakce + 2 MW ostatní odběr) – napájení z TR Otrokovice

Napájeno z TR Otrokovice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 7,5 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté ve
5501	Otrokovice	Mladcová	22,72	25,45	30,87	34,56	5503
5502	Otrokovice	Mladcová	22,74	25,48	30,85	34,54	5503
5503	Otrokovice	Mladcová	24,12	26,97	32,43	36,24	5504
5504	Otrokovice	Malenovice	23,95	19,65	31,89	26,16	5503
5509	Malenovice	Mladcová	21,86	24,44	29,79	33,31	5503
5574	Mladcová	Slušovice	42,35	47,41	71,24	79,86	567
567	Mladcová	Vsetín	28,09	31,57	71,33	81,06	5574
568	Slušovice	Vsetín	19,69	22,19	48,07	54,47	567
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	8,04	7,97	8,04	8,14	5574
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	7,51	7,44	7,51	7,61	5574

Tabulka 3.14 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 14,1 MW v TNS Střelná (12,1 MW trakce + 2 MW ostatní odběr) – napájení z TR Otrokovice

Napájeno z TR Otrokovice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 14,1 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté ve
5501	Otrokovice	Mladcová	24,42	27,35	33,17	37,14	5503
5502	Otrokovice	Mladcová	24,44	27,37	33,15	37,11	5503
5503	Otrokovice	Mladcová	25,92	28,98	34,80	38,90	5504
5504	Otrokovice	Malenovice	25,60	21,01	34,13	28,02	5503
5509	Malenovice	Mladcová	23,51	26,30	32,03	35,83	5503
5574	Mladcová	Slušovice	45,76	51,28	78,23	87,81	567
567	Mladcová	Vsetín	31,45	35,40	78,25	89,17	5574
568	Slušovice	Vsetín	23,06	26,02	54,90	62,36	567
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	14,67	14,51	14,68	14,87	5574
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	14,14	13,98	14,14	14,34	5574

Tabulka 3.15 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 28,6 MW v TNS Střelná (26,6 MW trakce + 2 MW ostatní odběr distribuce) – napájení z TR Otrokovice

Napájeno z TR Otrokovice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 28,6 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté ve
5501	Otrokovice	Mladcová	28,18	31,58	38,29	42,90	5503
5502	Otrokovice	Mladcová	28,20	31,60	38,26	42,86	5503
5503	Otrokovice	Mladcová	29,89	33,46	40,05	44,83	5504
5504	Otrokovice	Malenovice	29,27	24,06	39,11	32,15	5503
5509	Malenovice	Mladcová	27,18	30,44	37,01	41,46	5503
5574	Mladcová	Slušovice	53,35	59,92	93,84	105,68	567
567	Mladcová	Vsetín	38,89	43,93	93,67	107,45	5574
568	Slušovice	Vsetín	30,53	34,56	70,08	80,09	567
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	29,34	29,12	29,36	30,03	5574
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	28,77	28,60	28,79	29,50	5574

Tabulka 3.16 Zatížení vedení 110 kV – stav s odběrem výkonu 39,1 MW v TNS Střelná (37,1 MW 1s odběr trakce + 2 MW ostatní odběr distribuce) – napájení z TR Otrokovice

Napájeno z TR Otrokovice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 39,1 MW odběr TNS z DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté ve
5501	Otrokovice	Mladcová	30,95	34,70	42,05	47,15	5503
5502	Otrokovice	Mladcová	30,97	34,73	42,02	47,11	5503
5503	Otrokovice	Mladcová	32,81	36,77	43,91	49,22	5504
5504	Otrokovice	Malenovice	31,97	26,31	42,77	35,21	5503
5509	Malenovice	Mladcová	29,87	33,50	40,66	45,62	5503
5574	Mladcová	Slušovice	58,92	66,30	105,38	119,04	567
567	Mladcová	Vsetín	44,33	50,22	105,02	121,15	5574
568	Slušovice	Vsetín	35,99	40,86	81,25	93,33	567
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	40,04	39,91	40,07	41,37	5574
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	39,43	39,39	39,46	40,83	5574

Tabulka 3.17 Zatížení vedení 110 kV – stav s dodávkou výkonu 7,1 MW z TNS Střelná do DS – napájení z TR Otrokovice

Napájeno z TR Otrokovice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 7,1 MW dodávka TNS do DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté ve
5501	Otrokovice	Mladcová	1,35	5,53	1,87	7,38	5503
5502	Otrokovice	Mladcová	1,37	5,54	2,39	7,40	5504
5503	Otrokovice	Mladcová	1,60	5,84	2,72	7,79	5504
5504	Otrokovice	Malenovice	3,15	4,39	3,72	5,68	5503
5509	Malenovice	Mladcová	1,07	5,24	1,63	7,04	5503
5574	Mladcová	Slušovice	-11,58	12,86	-22,46	24,96	568
567	Mladcová	Vsetín	-2,31	2,80	-13,12	14,74	568
568	Slušovice	Vsetín	-10,82	12,14	-22,38	25,10	5574
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	-6,57	6,40	-6,57	6,43	5574
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	-7,09	6,87	-7,09	6,90	5574

Tabulka 3.18 Zatížení vedení 110 kV – stav s dodávkou výkonu 27,4 MW z TNS Střelná do DS – napájení z TR Otrokovice

Napájeno z TR Otrokovice							
číslo vedení	uzel A	uzel B	Zimní stav 27,4 MW dodávka TNS do DS				
			výchozí stav		kontrola N-1		
			P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	vypnuté ve
5501	Otrokovice	Mladcová	3,60	6,43	4,85	8,62	5503
5502	Otrokovice	Mladcová	3,58	6,42	4,82	8,60	5503
5503	Otrokovice	Mladcová	3,66	6,80	4,93	8,98	5509
5504	Otrokovice	Malenovice	1,70	3,77	2,86	5,30	5503
5509	Malenovice	Mladcová	3,78	6,55	4,94	8,69	5503
5574	Mladcová	Slušovice	1,53	1,74	22,46	24,93	568
567	Mladcová	Vsetín	12,30	13,62	33,03	36,43	568
568	Slušovice	Vsetín	20,85	23,13	33,03	36,55	567
565	Vsetín	TNS Ústí Leskovec	26,70	25,58	26,70	25,60	5574
566	TNS Ústí Leskovec	TNS Střelná	27,25	26,07	27,25	26,09	5574

3.1.4 Analýza zatížení vedení 110 kV v očekávaném zimním stavu roku 2025 – napájení R 110 kV Střelná z UO Povážská Bystrica

Tabulka 3.19 Zatížení vedení 110 kV v očekávaném zimním stavu roku 2025 – napájení R110 kV Střelná z TR Povážská Bystrica (SK) radiálním vedením V7778

Napájeno z TR Povážská Bystrica							
vedení 7778		odběr 39,1 MW		odběr 28,6 MW		odběr 14,1 MW	
uzel A	uzel B	P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)
Povážská Bystrica	TNS Střelná	39,56	39,61	28,84	28,81	14,15	14,13
vedení 7778		odběr 7,5 MW		dodávka 7,1 MW		dodávka 27,4 MW	
uzel A	uzel B	P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)	P (MW)	Zat (%)
Povážská Bystrica	TNS Střelná	7,51	7,56	7,10	7,12	27,40	26,96

3.2 Změny napětí

Kapitola řeší změny napětí vyvolané odběrem / dodávkou výkonu TNS Střelná při konstantním výchozím napětí v síti 110 kV. Cílem je ukázat vliv nového odběru s ohledem na riziko vybočení napětí mimo meze.

Byl proveden výpočet změny napětí v uzlu 110 kV Střelná vlivem maximálního odběru / dodávky výkonu TNS v zimním stavu zatížení. Změny napětí byly analyzovány pro základní provozní stav zapojení a pro neúplné zapojení prvků sítě – stavy N-1.

Odběr i dodávka výkonu je uvažována s neutrálním účínkem. Kolísání napětí je uvedeno v % z výchozího stavu bez zatížení TNS.

Pro analyzované stavy při úplném základním provozním zapojení sítě se pokles napětí vlivem odběru TNS pohybuje pro 1s odběr do 4 % U_n a pro požadovaný odběr v 15-minutovém intervalu do 1,3 % U_n . Nárůst napětí vlivem dodávky se pohybuje do 2 % U_n pro 1s špičku dodávky a do 0,6 % U_n pro 15-minutovou hodnotu dodávky.

Při zahrnutí kontroly N-1 (neúplné zapojení sítě) se pokles napětí vlivem odběru TNS pohybuje pro 1s odběr do 6,1 % U_n a pro požadovaný 15-minutový odběr do 2,5 % U_n . Nárůst napětí vlivem dodávky při N-1 se pohybuje do 2,6 % U_n pro 1s špičku a do 0,7 % U_n pro 15-minutovou hodnotu dodávky.

Zjištěné hodnoty kolísání napětí vlivem největšího odběru / dodávky TNS Střelná nejsou z hlediska provozu distribuční sítě 110 kV problematické a nezpůsobují vybočení napětí mimo povolené meze.

3.2.1 Změny napětí v síti 110 kV – napájení R 110 kV Střelná z UO Kletné

Tabulka 3.20 Změny napětí vlivem odběru výkonu TNS Střelná z DS – napájení z TR Kletné

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Kletné									
	bez odběru trakce		odběr trakce 39,1 MW				odběr trakce 28,6 MW			
	plné schéma	N-1	plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Kletné	119,5	119,2	118,3	1,1	117,6	1,4	118,7	0,8	118,1	0,9
Hranice na Moravě	118,8	117,5	117,1	1,5	114,9	2,4	117,6	1,0	115,7	1,6
Valašské Meziříčí	117,6	115,9	115,2	2,2	112,2	3,4	115,9	1,5	113,4	2,3
Vsetín	117,1	115,4	114,1	2,7	111,1	4,0	115,0	1,9	112,4	2,7
TNS Ústí Leskovec	117,1	116,9	113,8	3,0	110,8	5,6	114,8	2,1	112,2	4,3
TNS Střelná	117,1	116,4	112,7	4,0	109,7	6,1	114,1	2,8	111,4	4,5

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Kletné									
	bez odběru trakce		odběr trakce 14,1 MW				odběr trakce 7,5 MW			
	plné schéma	N-1	Plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Kletné	119,5	119,2	119,1	0,3	118,7	0,4	119,3	0,2	118,9	0,2
Hranice na Moravě	118,8	117,5	118,3	0,5	116,7	0,7	118,5	0,2	117,1	0,4
Valašské Meziříčí	117,6	115,9	116,8	0,7	114,8	1,1	117,2	0,3	115,4	0,5
Vsetín	117,1	115,4	116,1	0,9	114,1	1,2	116,6	0,4	114,7	0,6
TNS Ústí Leskovec	117,1	116,9	116,1	0,9	114,0	2,7	116,6	0,5	114,7	2,1
TNS Střelná	117,1	116,4	115,7	1,3	113,6	2,5	116,4	0,7	114,5	1,7

Tabulka 3.21 Změny napětí vlivem dodávky výkonu z TNS Střelné do DS – napájení z TR Kletné

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Kletné									
	bez odběru trakce		dodávka trakce 27,4 MW				dodávka trakce 7,1 MW			
	plné schéma	N-1	Plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Kletné	119,7	119,4	120,1	-0,4	120,0	-0,5	119,8	-0,1	119,6	-0,2
Hranice na Moravě	119,0	117,8	119,6	-0,6	118,9	-0,9	119,2	-0,2	118,2	-0,3
Valašské Meziříčí	117,9	116,5	119,0	-1,0	118,1	-1,5	118,2	-0,3	116,9	-0,4
Vsetín	117,5	116,0	118,9	-1,3	118,0	-1,8	117,9	-0,4	116,6	-0,5
TNS Ústí Leskovec	117,5	116,0	119,1	-1,4	118,2	-2,0	118,0	-0,4	116,7	-0,6
TNS Střelná	117,5	116,1	119,8	-2,0	118,9	-2,6	118,2	-0,6	116,9	-0,7

3.2.2 Změny napětí v síti 110 kV – napájení R 110 kV Střelná z UO Prosenice

Tabulka 3.22 Změny napětí vlivem odběru výkonu TNS Střelná z DS – napájení z TR Prosenice

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Prosenice									
	bez odběru trakce		odběr trakce 39,1 MW				odběr trakce 28,6 MW			
	plné schéma	N-1	plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Prosenice	118,9	118,6	118,0	0,8	117,4	1,1	118,3	0,6	117,8	0,7
Hranice na Moravě	118,1	116,8	116,6	1,3	114,3	2,2	117,1	0,9	115,1	1,5
Valašské Meziříčí	116,9	115,3	114,7	2,0	111,8	3,2	115,4	1,4	112,9	2,2
Vsetín	116,4	114,8	113,6	2,5	110,7	3,7	114,5	1,7	111,9	2,6
TNS Ústí Leskovec	116,4	114,8	113,3	2,8	110,4	4,0	114,3	1,9	111,7	2,8
TNS Střelná	116,4	114,8	112,3	3,8	109,3	5,0	113,5	2,7	111,0	3,5

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Prosenice									
	bez odběru trakce		odběr trakce 14,1 MW				odběr trakce 7,5 MW			
	plné schéma	N-1	Plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Prosenice	118,9	118,6	118,6	0,3	118,2	0,3	118,8	0,1	118,4	0,2
Hranice na Moravě	118,1	116,8	117,7	0,4	116,0	0,7	117,9	0,2	116,4	0,3
Valašské Meziříčí	116,9	115,3	116,2	0,6	114,2	1,0	116,6	0,3	114,7	0,5
Vsetín	116,4	114,8	115,5	0,8	113,5	1,2	115,9	0,4	114,1	0,6
TNS Ústí Leskovec	116,4	114,8	115,4	0,9	113,4	1,3	115,9	0,5	114,1	0,6
TNS Střelná	116,4	114,8	115,1	1,2	113,0	1,6	115,7	0,6	113,9	0,8

Tabulka 3.23 Změny napětí vlivem dodávky výkonu z TNS Střelné do DS – napájení z TR Prosenice

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Prosenice									
	bez odběru trakce		dodávka trakce 27,4 MW				dodávka trakce 7,1 MW			
	plné schéma	N-1	Plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Prosenice	119,0	118,7	119,4	-0,3	119,2	-0,4	119,1	-0,1	118,9	-0,1
Hranice na Moravě	118,3	117,1	118,9	-0,5	118,1	-0,9	118,4	-0,2	117,4	-0,3
Valašské Meziříčí	117,2	115,8	118,2	-0,9	117,3	-1,4	117,5	-0,3	116,2	-0,4
Vsetín	116,8	115,3	118,1	-1,2	117,2	-1,7	117,2	-0,3	115,9	-0,5
TNS Ústí Leskovec	116,8	115,3	118,3	-1,3	117,4	-1,9	117,2	-0,4	115,9	-0,5
TNS Střelná	116,8	115,4	119,0	-2,0	118,1	-2,5	117,4	-0,6	116,1	-0,7

3.2.3 Změny napětí v síti 110 kV – napájení R 110 kV Střelná z UO Otrokovice

Tabulka 3.24 Změny napětí vlivem odběru výkonu TNS Střelná z DS – napájení z TR Otrokovice

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Otrokovice									
	bez odběru trakce		odběr trakce 39,1 MW				odběr trakce 28,6 MW			
	plné schéma	N-1	plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Otrokovice	119,3	119,1	118,8	0,4	118,5	0,6	118,9	0,3	118,7	0,4
Malenovice	119,2	118,9	118,7	0,5	118,3	0,6	118,9	0,3	118,5	0,4
Mladcová	119,1	118,9	118,4	0,6	118,0	0,8	118,6	0,4	118,3	0,5
SVIT Zlín	119,1	118,9	118,4	0,6	118,1	0,8	118,6	0,4	118,3	0,5
Slušovice	118,2	114,3	117,1	1,0	110,7	3,3	117,4	0,7	111,8	2,3
Vsetín	117,8	115,2	115,9	1,7	111,6	3,3	116,5	1,2	112,7	2,3
TNS Ústí Leskovec	117,8	115,2	115,7	1,9	111,3	3,6	116,3	1,4	112,5	2,5
TNS Střelná	117,8	115,3	114,6	2,9	110,2	4,6	115,5	2,1	111,7	3,2

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Otrokovice									
	bez odběru trakce		odběr trakce 14,1 MW				odběr trakce 7,5 MW			
	plné schéma	N-1	Plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Otrokovice	119,3	119,1	119,1	0,1	118,9	0,2	119,2	0,1	119,0	0,1
Malenovice	119,2	118,9	119,1	0,1	118,7	0,2	119,1	0,1	118,8	0,1
Mladcová	119,1	118,9	118,9	0,2	118,6	0,2	119,0	0,1	118,8	0,1
SVIT Zlín	119,1	118,9	118,9	0,2	118,6	0,2	119,0	0,1	118,8	0,1
Slušovice	118,2	114,3	117,8	0,3	113,1	1,1	118,0	0,2	113,7	0,6
Vsetín	117,8	115,2	117,2	0,5	114,0	1,1	117,4	0,3	114,6	0,6
TNS Ústí Leskovec	117,8	115,2	117,1	0,6	114,0	1,2	117,4	0,3	114,6	0,6
TNS Střelná	117,8	115,3	116,7	1,0	113,6	1,5	117,2	0,5	114,4	0,8

Tabulka 3.25 Změny napětí vlivem dodávky výkonu z TNS Střelné do DS – napájení z TR Otrokovice

uzel 110 kV	zimní stav zatížení - napájení z TR Otrokovice									
	bez odběru trakce		dodávka trakce 27,4 MW				dodávka trakce 7,1 MW			
	plné schéma	N-1	Plné schéma	DU	N-1	DU	Plné schéma	DU	N-1	DU
	U [kV]	U [kV]	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)	U [kV]	(%)
Otrokovice	119,8	119,7	120,0	-0,2	120,0	-0,2	119,9	0,1	119,8	-0,1
Malenovice	119,8	119,7	120,1	-0,2	120,0	-0,3	119,9	0,1	119,8	-0,1
Mladcová	119,8	119,7	120,1	-0,3	120,0	-0,3	119,9	0,1	119,8	-0,1
SVIT Zlín	119,8	119,7	120,1	-0,3	120,1	-0,3	119,9	0,1	119,8	-0,1
Slušovice	119,0	115,5	119,6	-0,5	117,4	-1,7	119,2	0,1	116,1	-0,5
Vsetín	118,7	116,4	119,7	-0,9	118,3	-1,7	119,0	0,2	116,9	-0,5
TNS Ústí Leskovec	118,7	116,4	119,8	-1,0	118,5	-1,9	119,0	0,3	117,0	-0,5
TNS Střelná	118,7	116,5	120,6	-1,7	119,2	-2,5	119,2	0,5	117,2	-0,7

3.2.4 Změny napětí v síti 110 kV – napájení R 110 kV Střelná z UO Povážská Bystrica

Tabulka 3.26 Změny napětí vlivem odběru/dodávky výkonu TNS Střelná z DS – napájení z TR Povážská Bystrica (SK) radiálně vedením V7778

zimní stav zat. - napájení z TR Povážská Bystrica		
TNS Střelná	plné schéma	DU
bez odběru trakce	118,4	-
odběr 39,1 MW	116,1	2,36
odběr 28,6 MW	116,8	1,64
odběr 14,1 MW	117,7	0,76
odběr 7,5 MW	118,1	0,39
dodávka 7,1 MW	118,8	-0,35
dodávka 27,4 MW	119,7	-1,22

3.3 Limity zpětných vlivů na distribuční soustavu

Veškerá odběrná zařízení připojovaná na distribuční soustavu musí splňovat požadavky na maximální přípustnou úroveň zpětných vlivů na elektrizační soustavu. Limity pro úroveň zpětných vlivů způsobovaných jedním odběratelem z distribuční soustavy stanovuje PNE 33 3430 – 0.

Trakční výkonové měniče jsou zdrojem emisí vyšších harmonických a mají vliv na útlum signálu HDO. Proto je v případě jejich užití nutná kontrola především těchto dvou faktorů a porovnání s plánovacími úrovněmi těchto veličin podle příslušné normy a PPDS, případně podle mezních hodnot daných provozovatelem DS.

Pozornost je věnována především těmto vlivům:

Nesymetrie napětí způsobená jedním spotřebitelským zařízením (k_u) nesmí být větší než 0,7 %.

Flikr – limity pro jedno odběrové zařízení jsou:

- dlouhodobá míra flikru: $P_{lt} = 0,25$
- krátkodobá míra flikru: $P_{st} = 0,35$

Vyšší harmonické – přípustné hodnoty jednotlivých harmonických napětí musí být splňovat limity dle PNE 33 3430.

Přípustné úrovně jednotlivých harmonických proudů na hladině 110 kV jsou pro liché harmonické v rozmezí: 5,48 A (pro 3.harmonickou) až 0,27 A (pro 25.harmonickou). Pro harmonické větší jak 25.harmonická je přípustná úroveň 0,10 A.

3.4 Nesymetrie napětí

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 určovat je ho třeba v 10-minutovém plovoucím okně ve 2 hodinovém intervalu maximálního odběru. V případě, že žadatelem požadovaný výkon je větší než mezní hodnota daná normou pro nesymetrický odběr, jsou nutná opatření na straně odběratele.

Hodnocení nesymetrie podle normy PNE 33 3430-0: Charakteristickým kritériem je stupeň nesymetrie napětí k_u , jehož hodnota musí být menší nebo nejvýše rovna 0,7 % U_n .

SUDOP Brno provedl výpočet nesymetrie pro vybavení TNS klasickými trakčními transformátory (zapojení do „V“). Cílem tohoto výpočtu bylo prokázat, jak velký výkon by bylo možné v TNS Střelná odebírat, aby bylo kritérium nesymetrie napětí dle normy splněno.

TNS Střelná je specifická ve způsobu provozování. I když jsou transformátory T101 a T102, 110/22 kV v majetku Správy železnic, tak na straně 22kV jsou kromě technologie TNS napájeny i linky 22 kV ČEZ Distribuce a EG.D. Norma PNE 33 3430-0 ed.5 neřeší nesymetrii pouze na straně 110 kV, ale i na straně 22 kV, přičemž povolené hodnoty pro jednoho odběratele jsou totožné. Proto je nutno zkontrolovat povolenou nesymetrii i na straně 22 kV.

Pro dvofázové zátěže mezi dvěma fázovými vodiči a jednofázové zátěže mezi fázovým a střední vodičem platí přibližně vztah:

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

k_u stupeň nesymetrie

S_A výkon jedno/dvofázového zatížení

S_k'' zkratový výkon sítě v místě odběru

3-fázový zkratový výkon na straně 22 kV: $S_{k3\max} = 272,7 \text{ MVA} (6,646 \text{ kA})$

Pro dodržení požadované hodnoty kritéria nesymetrie (0,7 %) napájecí síť 22 kV v TNS Střelná při klasickém napájení s transformátory v zapojení do „V“ bez přídatných technických opatření, lze uvažovat maximálně s omezeným odběrem výkonu ve výši cca 1,9 MVA.

Z toho plyne, že požadovaný odběr trakce nemůže být realizován přes klasické trakční transformátory, ale je nezbytné řešení TNS se symetrickým odběrem ze všech 3 fází, tedy pomocí technologie trakčních měničů.

3.5 Flikr

Provoz trakce nemá charakter odběru způsobujícího flikr. 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. Měnič neprodukuje meziprojektové, které by mohly způsobovat negativní vlivy na síť. Vliv měniče na flikr na úrovni 110 kV bude po instalaci ověřen měřeními.

3.6 Vyšší harmonické

Při vybavení TNS trakčními měniči jsou tato zařízení realizována řízenými usměrňovači s technologií IGBT. Odpadají tak problémy s komutací. Jednotlivé měniče jsou složeny z paralelních sekcí, které mohou mít odlišné řízení. Tím je dosažen stav, kdy nedochází k násobení úrovně jednotlivých harmonických s rostoucím počtem paralelních jednotek nebo dokonce může docházet k vzájemnému vyrušení harmonických už na úrovni měniče. Dochází tak k podobnému efektu, který je dosahován u 12 pulzních standardních usměrňovačů. Na rozdíl od standardních usměrňovačů, které se chovají jako zdroj harmonických proudů, jsou řízené IGBT měniče zdrojem harmonických napětí. Emise harmonických proudů do sítě je tedy přímo závislá na impedanci sítě. Výsledné harmonické emise jsou dány koncepcí řízení měniče, impedancí síťového transformátoru a impedancí sítě. Neexistují unifikované parametry pro měnič, které by byly použitelné pro výpočet vyšších harmonických. V rámci návrhu zařízení si dodavatel měniče vyžádá průběh frekvenčně závislé impedance sítě spolu s limitními hodnotami harmonických a na základě těchto informací navrhuje řízení měniče a impedanci síťového transformátoru (případně filtrů) tak, aby nedošlo k překročení stanovených mezí úrovně harmonických.

Obecně platí, že IGBT měniče mají velmi nízký příspěvek harmonických, na rozdíl od standardních usměrňovačů se mohou objevovat výraznější příspěvky harmonických řádu >25. Tyto harmonické mohou být způsobovány samotným spínáním měniče.

Jako možný podklad pro dodavatele měniče byly zpracovány frekvenčně závislé impedance v místě připojení na úrovni 110 kV. Při stanovení frekvenčně závislých impedancí byly respektovány tyto parametry:

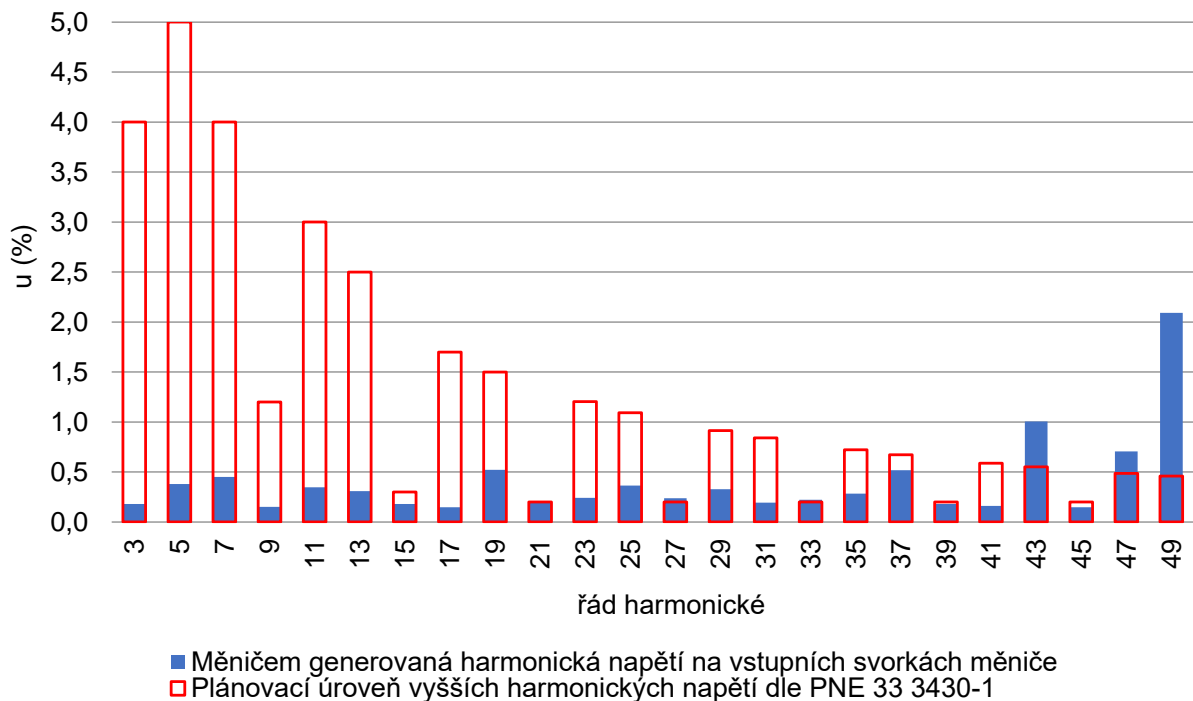
- Impedance přenosové soustavy určená zkratovým výkonem
- Vazební transformátory 400/110 kV a 220/110 kV
- Vedení 110 kV
- Transformátory 110 kV/22 kV
- Odběr, který odpovídá zatížení stanic 22 kV během zimního měření 3:00 (nízké zatížení)
- Ekvivalentní kapacity vedení 22 kV umístěné za transformátory 110/22 kV
- Velké zdroje (výroby) vyvedené do VN
- RLC ekvivalent vysílačů HDO

Pro výpočet byla použita data poskytnutá jedním z výrobců technologie, ze kterých byl sestaven model měniče. Jedná se o informativní výsledky, protože měniče jsou konstruovány a nastavovány na míru místu připojení, kdy jsou brány v potaz místní charakteristiky sítě a požadovaná omezení. Výpočet je proveden pro základní provozní zapojení sítě 110 kV. Velikost harmonických napětí je posuzována vůči plánovací úrovni uvedené v normě PNE 33 3430-1, nicméně tato úroveň je platná pro souhrn všech zdrojů

harmonických v oblasti. Pro TNS Střelná stanoví provozovatel distribuční sítě poměrnou část z plánovací úrovně, vůči které pak bude posuzován příspěvek harmonických z nové TNS.

Modelování měniče z hlediska vyšších harmonických je provedeno pomocí zdroje harmonických napětí, který je do sítě připojen přes transformátor s vysokým napětím nakrátko $e_k = 20 \%$. Z proudů protlačených napětovým zdrojem přes impedanci transformátoru a impedanci sítě je pak výpočtem určena hodnota harmonických napětí v místě připojení na úrovni 110 kV.

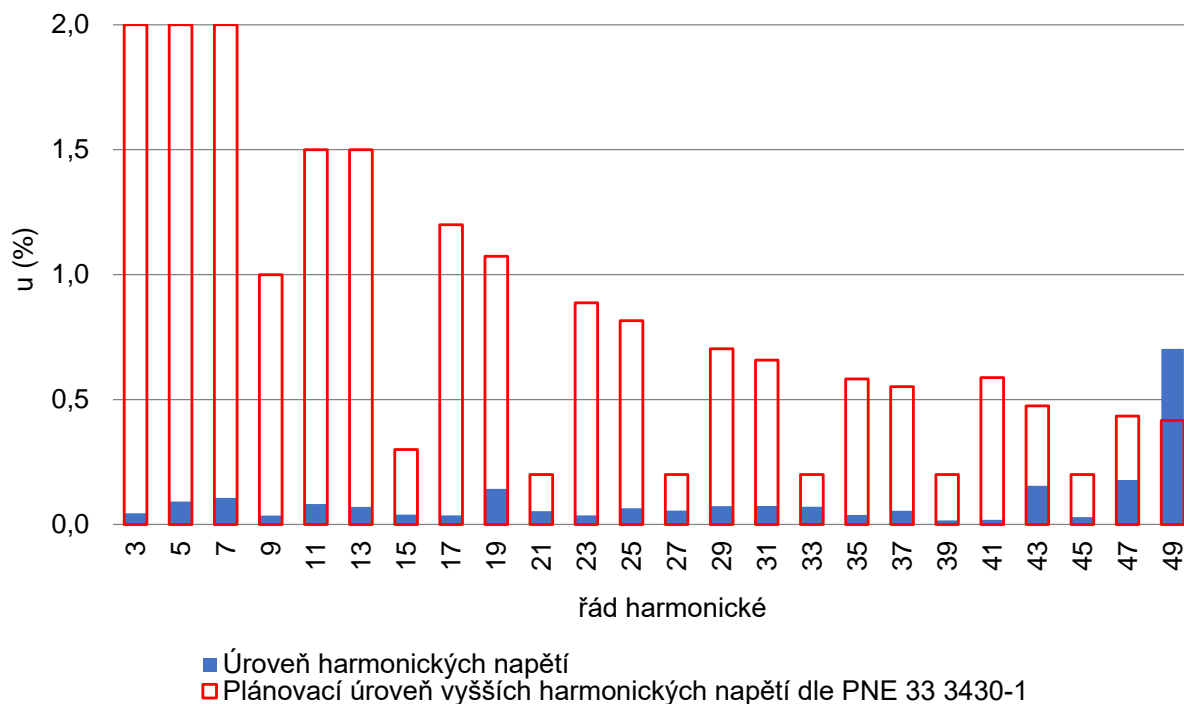
Obrázek 3.1 Harmonická napětí na síťových svorkách usměrňovače (modelový případ)



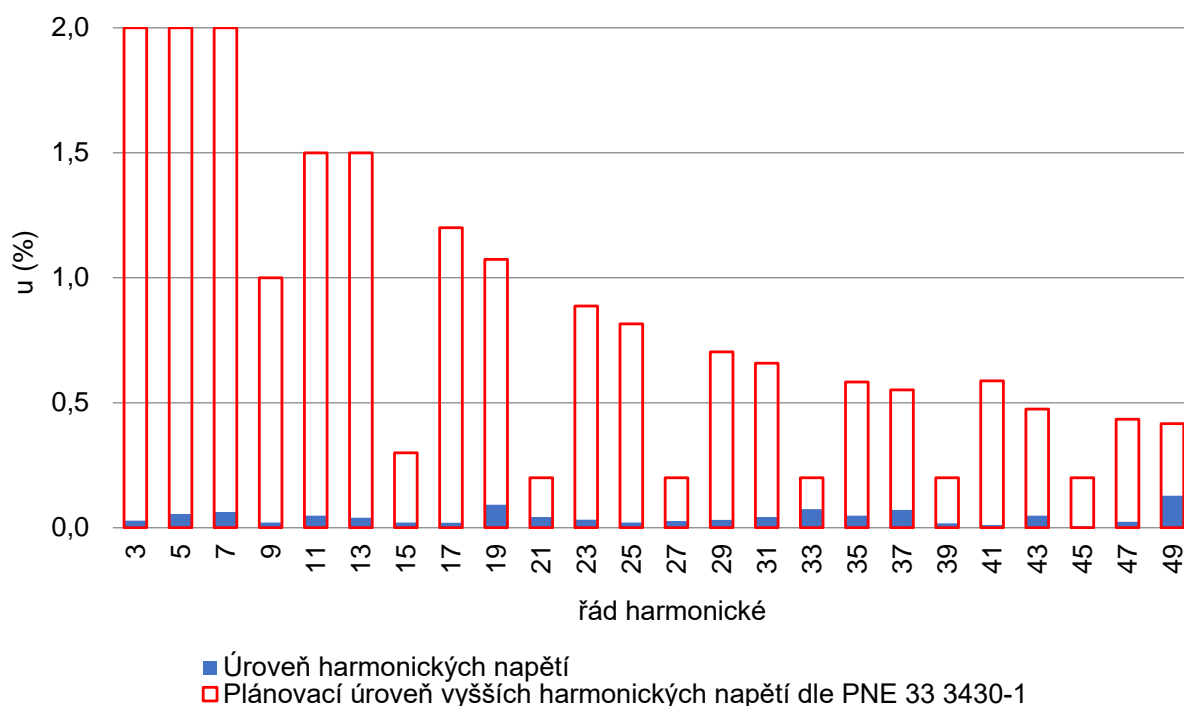
Vzhledem k tomu, že z rozvaděče 22 kV SŽ, ze kterého je napájen výkonový měnič TNS, je též připojen rozvaděč vn pro distribuci, do kterého jsou napojeny distribuční linky 22 kV: VN223 (ČEZd) a VN65 a VN89 (EG.D), musí být splněny limitní hodnoty pro šíření vyšších harmonických na úrovni DS 22 kV. Z analýzy vyplývá, že úroveň 21., 27., 33. a 39. harmonické je na limitních hodnotách, úroveň 43., 47. a 49. harmonické překračuje limity stanovené PNE 33 3430-1. Technologie nově připojované TNS musí být vybavena filtračním zařízením vyšších harmonických tak, aby byly splněny limity dle PNE.

3.6.1 Analýza úrovně harmonických napětí při napájení R 110 kV Střelná z UO Kletné

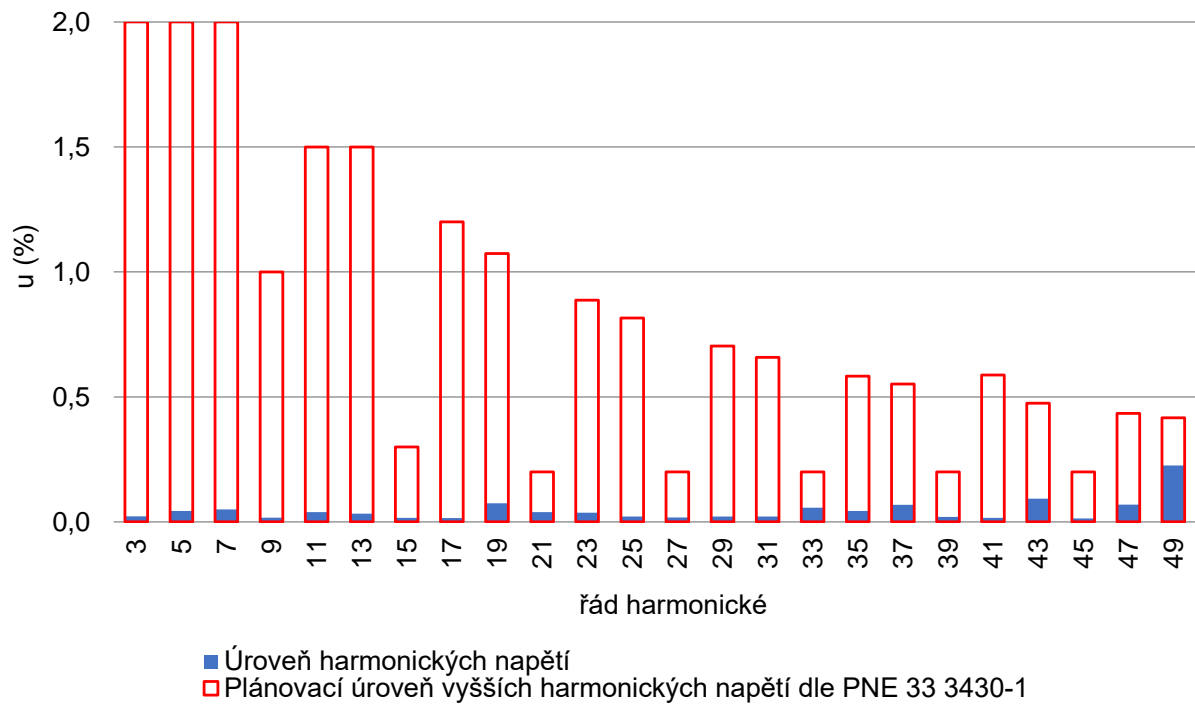
Obrázek 3.2 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV TNS Střelná způsobených měničem při odběru 12,1 MW – napájení z TR Kletné



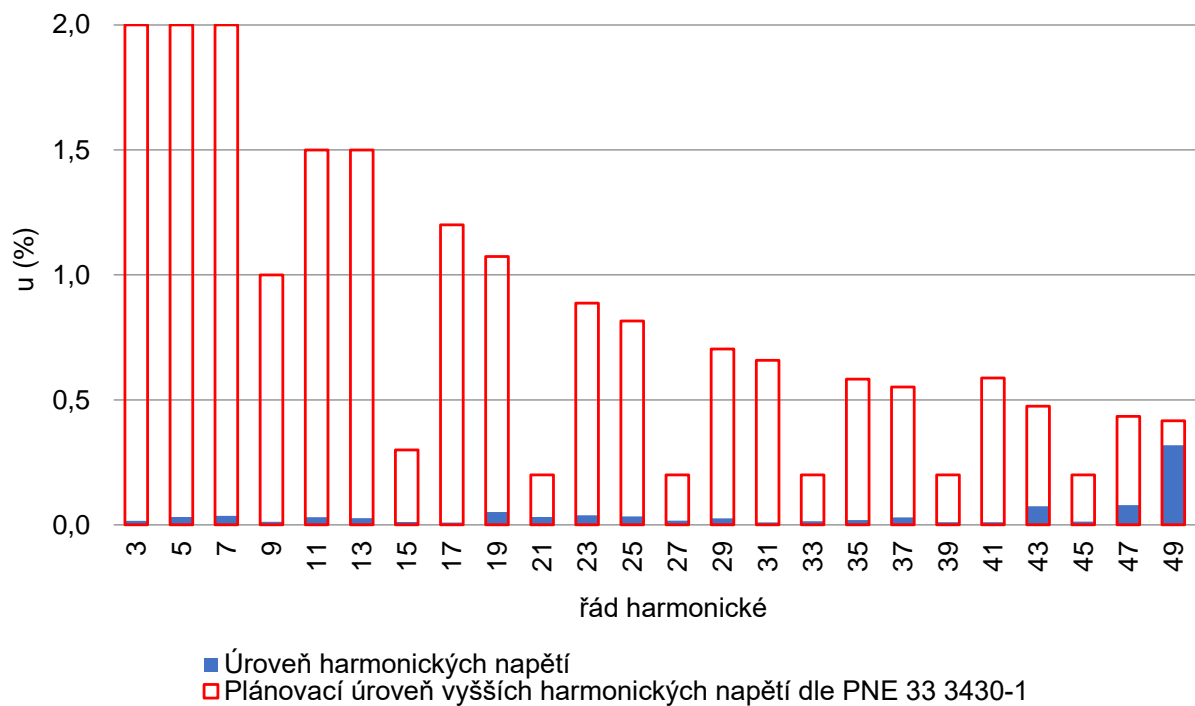
Obrázek 3.3 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Vsetín způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Kletné



Obrázek 3.4 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Valašské Meziříčí způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Kletné

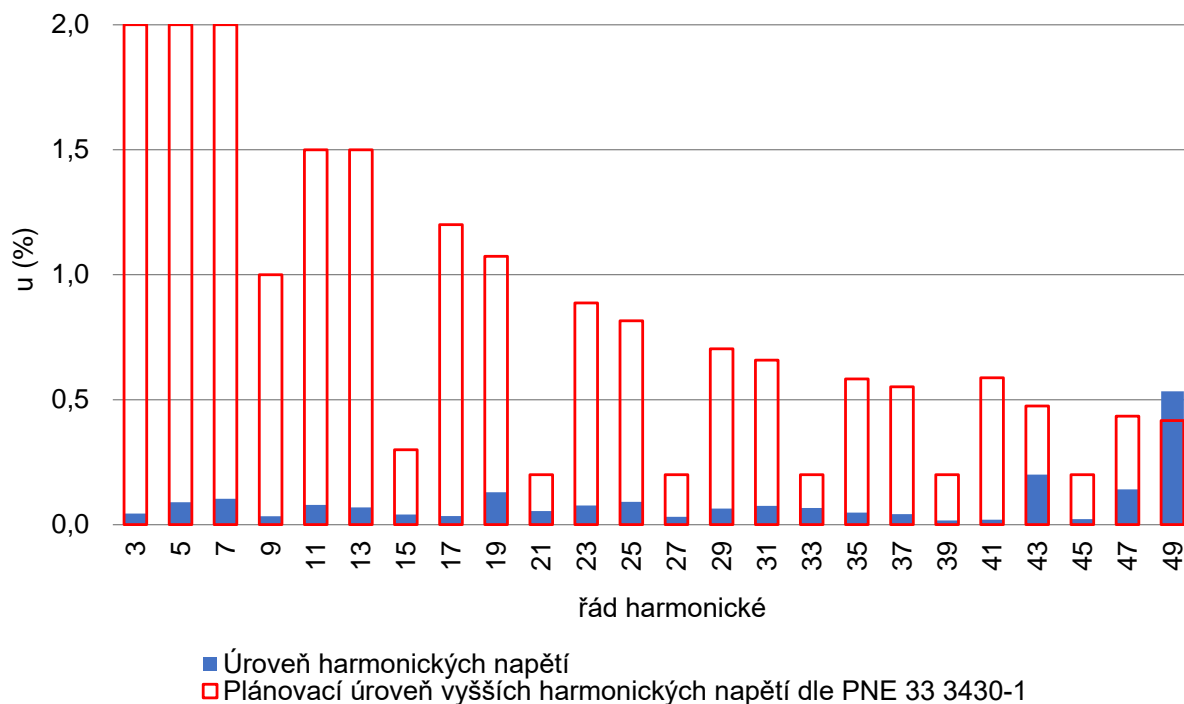


Obrázek 3.5 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Hranice n.M. způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Kletné

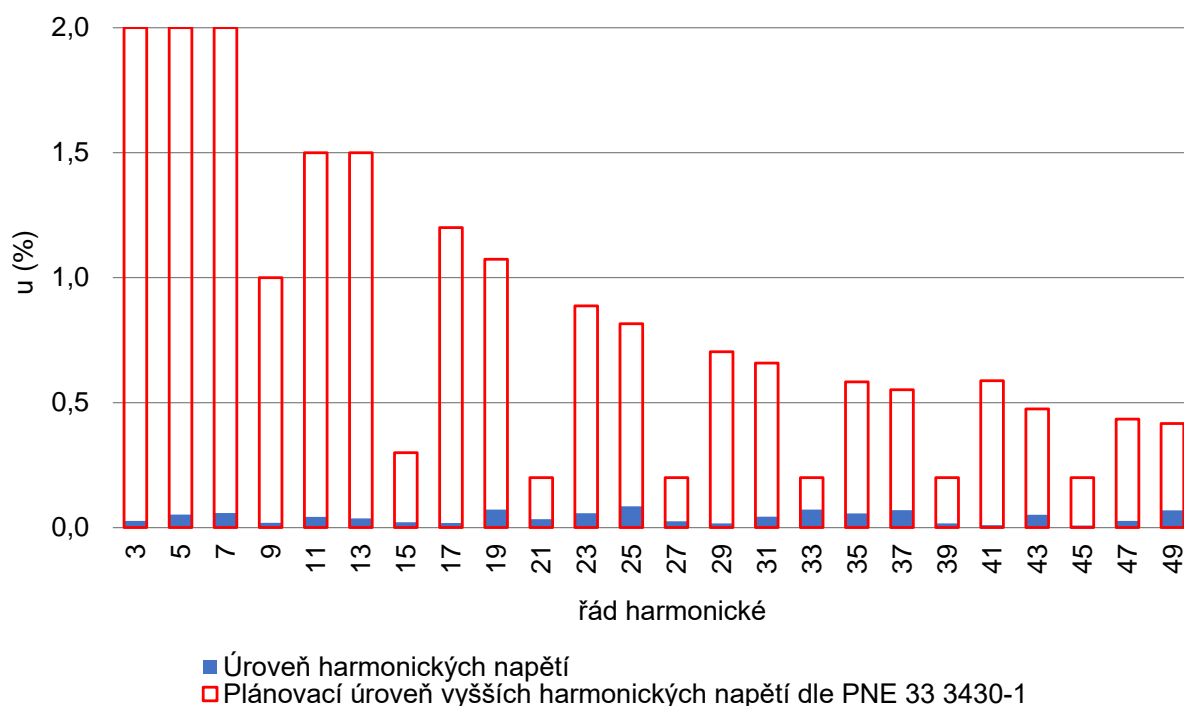


3.6.2 Analýza úrovně harmonických napětí při napájení R 110 kV Střelná z UO Prosenice

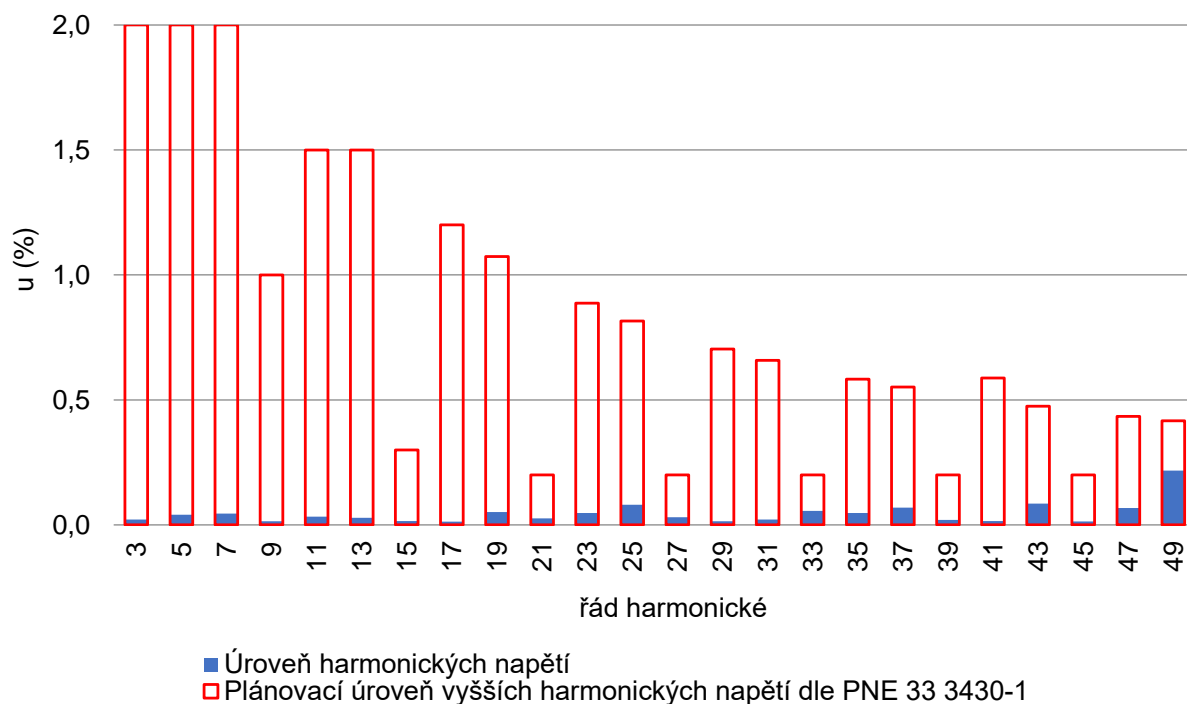
Obrázek 3.6 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV TNS Střelná způsobených měničem při odběru 12,1 MW – napájení z TR Prosenice



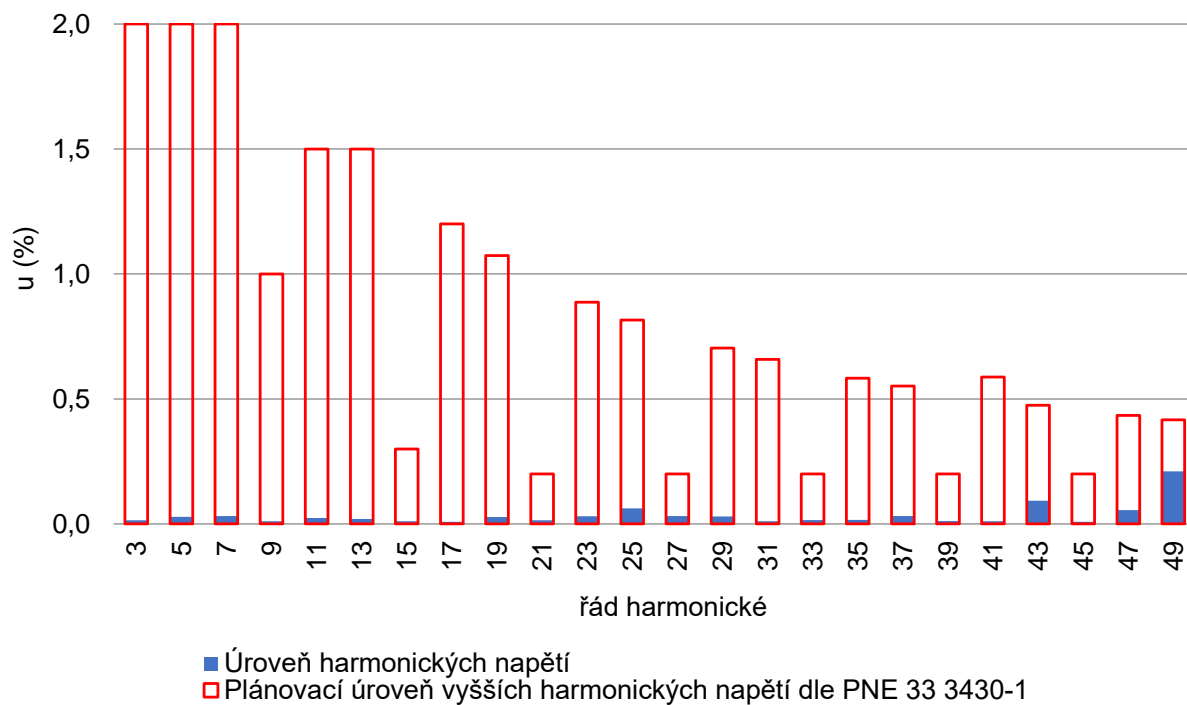
Obrázek 3.7 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Vsetín způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Prosenice



Obrázek 3.8 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Valašské Meziříčí způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Prosenice

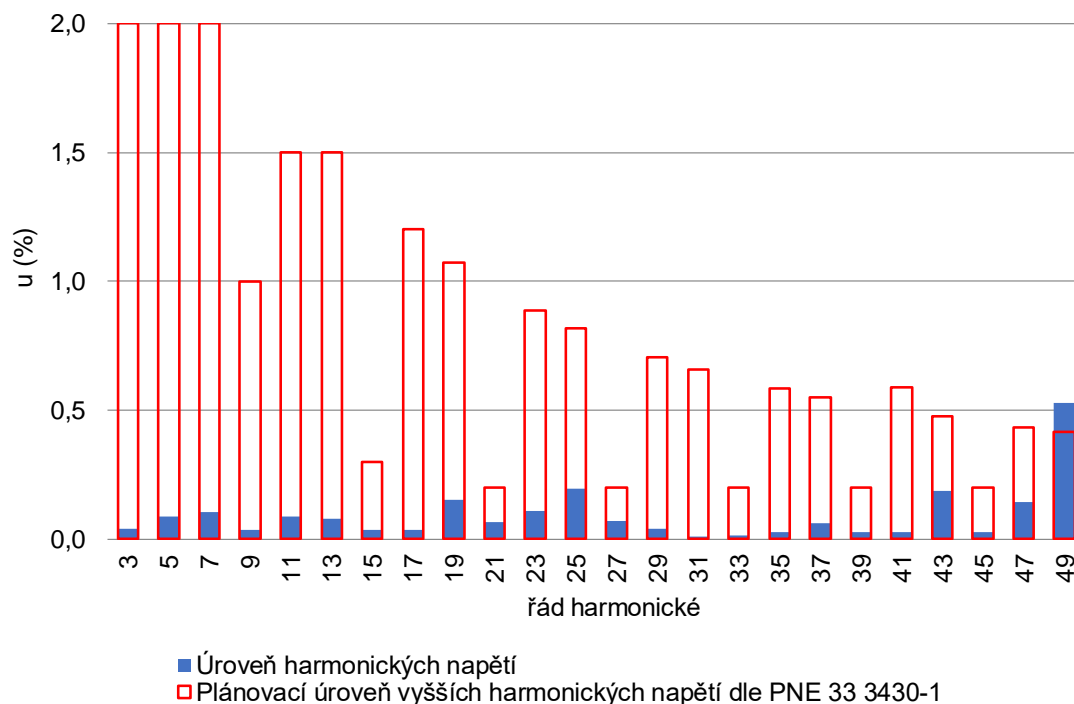


Obrázek 3.9 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Harnice n.M. způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Prosenice

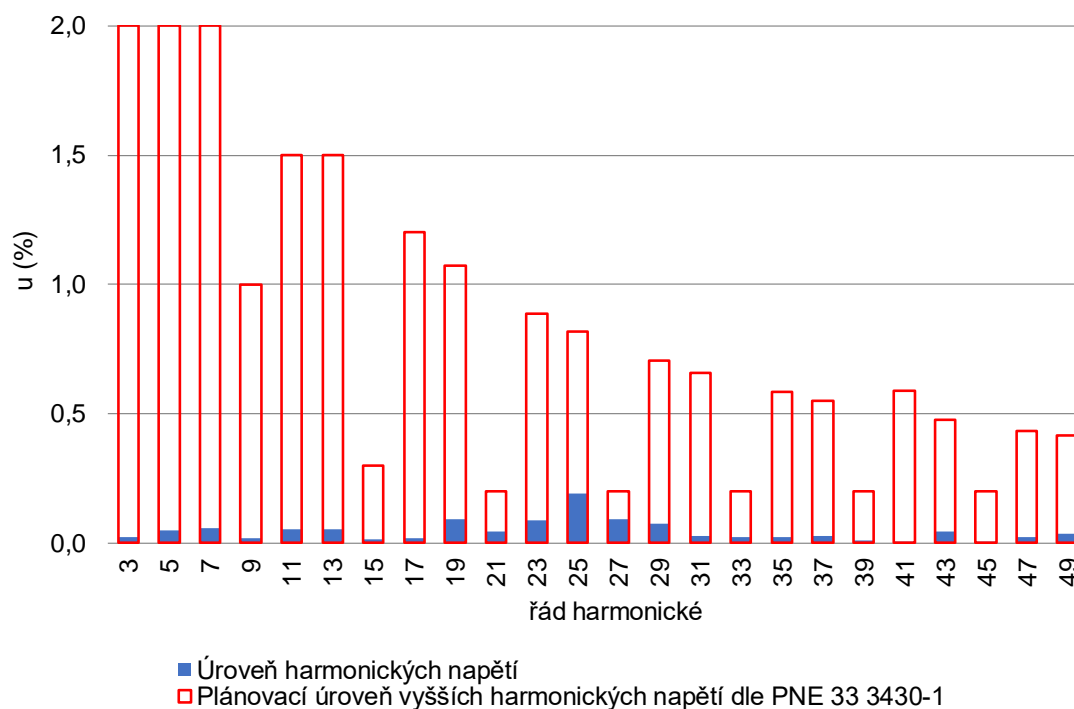


3.6.3 Analýza úrovně harmonických napětí při napájení R 110 kV Střelná z UO Otrokovice

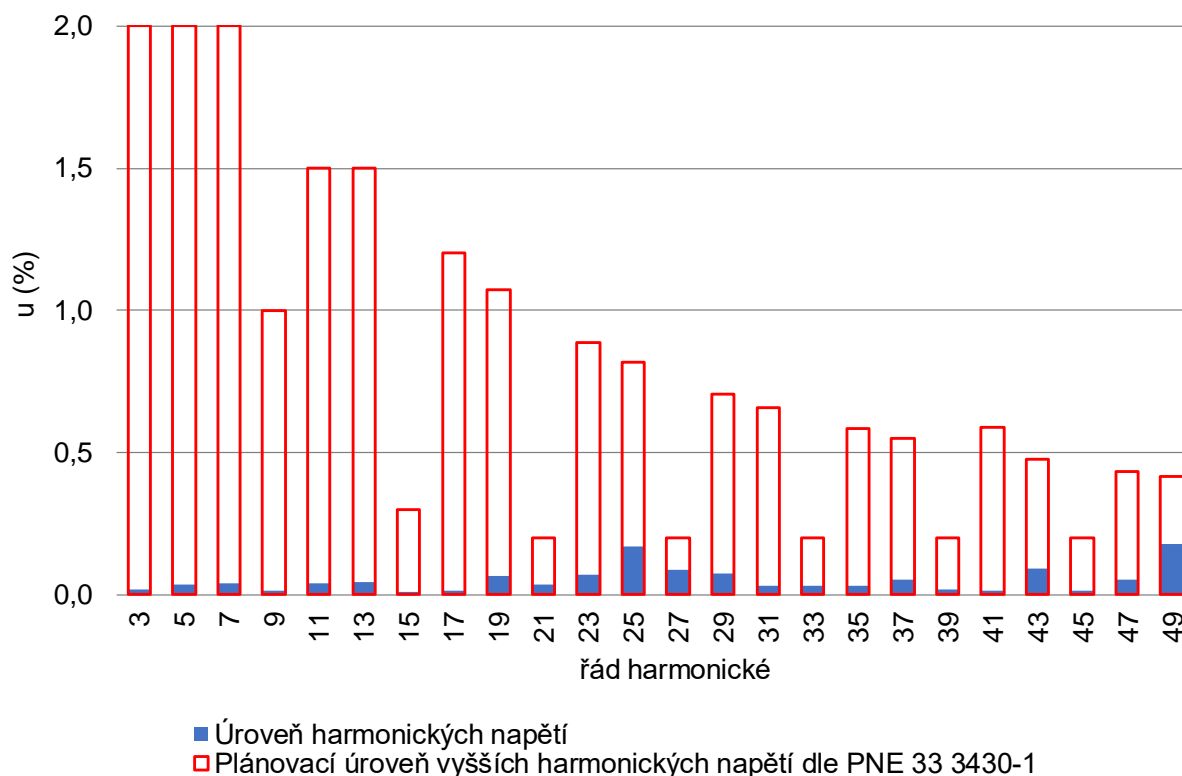
Obrázek 3.10 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV TNS Střelná způsobených měničem při odběru 12,1 MW – napájení z TR Otrokovice



Obrázek 3.11 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Vsetín způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Otrokovice



Obrázek 3.12 Úroveň harmonických (<50.) v R110 kV Slušovice způsobených odběrem 12,1 MW v TNS Střelná – napájení z TR Otrokovice



Z výpočtů vyplynulo, že 49.harmonická napětí překračuje přípustnou limitní hodnotu dle PNE 33 3430 rozvodně 110 kV TNS Střelná, a to při všech analyzovaných způsobech napájení – z UO Kletné, Prosenice, Otrokovice.

3.7 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.

Při vybavení TNS měniči udávají výrobci těchto zařízení ve svých podkladech, že řízený usměrňovač prakticky neprodukuje meziharmonická napětí. Signál HDO nemůže být rušen emisí napětí v blízkosti kmitočtu HDO. Řízený usměrňovač produkuje liché harmonické, nejbližší hodnoty harmonických napětí k signálu HDO 216,6 Hz jsou 150 a 250 Hz. Strana zařízení pracující na distribučním napětí nebývá standardně vybavena žádnými filtry, pokud by bylo nutné filtr osadit, byl by nastaven až na odsávání napětí vyššího kmitočtu (2000 Hz a výše), ovlivnění HDO je tedy nepravděpodobné. Zařízení na trakční

straně bývá sice vybaveno filtrem (filtry), ale ty jsou až za stejnosměrnou spojkou, nehrozí tedy jakékoliv ovlivnění signálu HDO. Útlum signálu HDO je tedy ovlivněn velikostí odebíraného výkonu v nové TNS Střelná.

Vzhledem k tomu, že není k dispozici měření aktuální úrovně signálu HDO, jsou výpočty šíření signálu HDO zpracovány s využitím simulačního modelu, který odpovídá zatížení analyzované oblasti v horizontu roku 2025.

Tabulka 3.27 Šíření signálu HDO s vlivem připojení TNS Střelná

Rozvodna 110 kV	Velikost signálu HDO z TR Kletné			
	Bez TNS		s TNS	
TNS Střelná	1153 V	1,82 %	1104 V	1,74 %
TNS Ústí	1148 V	1,81 %	1113 V	1,75 %
Vsetín	1145 V	1,80 %	1115 V	1,76 %
Valašské Meziříčí	1163 V	1,83 %	1140 V	1,79 %
Hranice na Moravě	1213 V	1,91 %	1200 V	1,89 %
Kletné	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %

Rozvodna 110 kV	Velikost signálu HDO z TR Otrokovice			
	Bez TNS		s TNS	
TNS Střelná	1227 V	1,93 %	1189 V	1,87 %
TNS Ústí	1222 V	1,92 %	1199 V	1,89 %
Vsetín	1219 V	1,92 %	1201 V	1,89 %
Slušovice	1229 V	1,93 %	1220 V	1,92 %
Mladcová	1261 V	1,99 %	1259 V	1,98 %
Malenovice	1268 V	2,00 %	1268 V	2,00 %
Otrokovice	1270 V	2,00 %	1270 V	2,00 %

Při uvažované náběhové hodnotě přijímačů HDO 0,78 % U_n je minimální úroveň signálu HDO na úrovni 110 kV $U_{rmin} = 1,56$ %, tato hodnota je s velkou rezervou splněna u všech rozvodn.

Tabulka 3.28 Útlum signálu HDO vlivem připojení TNS Střelná, při napájení z TR Kletné

Rozvodna 110 kV	Snížení úrovně signálu HDO vlivem připojení TNS
TNS Střelná	4,3 %
TNS Ústí	3,1 %
Vsetín	2,7 %
Valašské Meziříčí	2,0 %
Hranice na Moravě	1,0 %
Kletné	0,0 %

Tabulka 3.29 Útlum signálu HDO vlivem připojení TNS Střelná, při napájení z TR Otrokovice

Rozvodna 110 kV	Snížení úrovně signálu HDO vlivem připojení TNS
TNS Střelná	3,1 %
TNS Ústí	1,9 %
Vsetín	1,5 %
Slušovice	0,7 %
Mladcová	0,2 %
Malenovice	0,0 %
Otrokovice	0,0 %

Maximální přípustná hodnota snížení úrovně signálu HDO po připojení nového zařízení (TNS) je 5 % změřené hodnoty napětí HDO před jeho připojením.

Relativní snížení signálu v rozvodně TNS Střelná a v sousedních rozvodnách se pohybuje do 4,3 % vůči stavu signálu bez TNS. Připojením odběru TNS tedy nevzniká situace, kdy by docházelo k nepřijatelnému snížení úrovně signálu HDO.

3.8 Zařízení v režimu kompenzace

Kapitola je provedena analýza citlivosti změn napětí na regulaci jalového výkonu u měniče. Regulace Q může být na základě připravovaných pravidel požadována po provozovateli zařízení jako povinná podpora sítě (minimálně při zpětné dodávce činného výkonu do sítě), nebo může být poskytnuta jako podpůrná služba. Výsledky jsou indikativní a slouží PDS k případnému budoucímu stanovení mezí pro dodávku či odběr Q.

SFC je dimenzováno na primární vstupní straně výkonově tak, aby bylo možno kompenzovat DS 110 kV trvalým výkonem 5 MVar (Pozn.: Tato funkce SFC je považována jako doplňková funkce, která pro vlastní řešení napájení systému 25 kV AC není nutná, avšak má dopad do návrhu dimenzování SFC). V praxi to znamená, že TNS Střelná bude schopna dodávat zaručený kompenzační výkon 10 MVar (5 MVar od každého měniče) do distribuční sítě a tento výkon nabídnout jako regulační službu pro potřeby provozu DS.

V běžném provozu je možné, že regulace Q může probíhat až do velikosti jmenovitého výkonu měniče. V tomto konkrétním případě byl uvažován regulační rozsah Q do velikosti požadovaného trakčního odběru, tedy v případě provozu obou výkonových měničů ± 40 MVar, přičemž se předpokládá plynulá regulace. Tato hodnota Q ovšem předpokládá minimální trakční odběr a není v běžném provozu zaručena.

Byl proveden síťový výpočet, který analyzuje dopad generovaného či odebíraného výkonu na napětí v síti 110 kV, na zatěžování vedení a na ztráty činného výkonu. Výpočet je proveden pro stav zimního pracovního dne (zimní měření). Výpočet byl proveden pro 2 možné způsoby napájení TNS s ohledem na zapojení sítě 110 kV: napájení z jednoho transformátoru 400/110 kV Kletné a v druhém případě napájení z transformátoru 400/110 kV Prosenice. Byl modelován stav s konstantním napětím na přípojnicích 110 kV v napájecí rozvodně PS/110 kV Kletné, resp. Prosenice (reprezentuje regulaci odbočkami) a stav, kdy je na transformátoru 400/110 kV nastavena konstantní odbočka. Z výsledků vyplývá, že při využití regulačního rozsahu obou měničů současně v celkové velikosti $Q \pm 40$ MVar dojde

k nárůstu ztrát v analyzované oblasti sítě 110 kV 2,5 až 3,3 MW. Při nasazení plného rozsahu pouze 1 měniče $Q \pm 20$ MVar je nárůst ztrát činného výkonu 2 až 2,2 MW.

Regulace jalového výkonu je využitelná v rozmezí regulačního rozsahu pouze jednoho měniče v provozu $Q \pm 20$ MVar aniž by došlo k vybočení napětí mimo meze. V případě využití plného regulačního rozsahu Q obou měničů ($Q \pm 40$ MVar) již napětí vybočuje mimo provozní meze. Proto se doporučuje pro regulaci jalového výkonu využívat pouze jeden měnič.

Tabulka 3.30 Dopady kompenzace v TNS Střelná na velikost napětí v síti 110 kV

Zimní stav – Konstantní odbočka na trf. 400/110 kV v TR Kletné

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
Kletné	119,4 kV	118,8 kV	118,1 kV	117,4 kV	116,7 kV	116,0 kV	115,2 kV	114,4 kV	113,5 kV
Hranice na Moravě	119,8 kV	118,8 kV	117,9 kV	116,9 kV	115,8 kV	114,9 kV	113,7 kV	112,5 kV	111,1 kV
Valašské Meziříčí	119,8 kV	118,6 kV	117,3 kV	115,9 kV	114,5 kV	113,2 kV	111,6 kV	109,9 kV	108,1 kV
Vsetín	120,5 kV	118,9 kV	117,3 kV	115,6 kV	113,9 kV	112,2 kV	110,2 kV	108,2 kV	105,9 kV
TNS Ústí Leskovec	121,2 kV	119,5 kV	117,7 kV	115,8 kV	113,8 kV	111,9 kV	109,8 kV	107,4 kV	104,9 kV
TNS Střelná	123,6 kV	121,3 kV	118,8 kV	116,3 kV	113,7 kV	111,0 kV	108,1 kV	105,0 kV	101,6 kV

Zimní stav – Konstantní napětí na přípojnici 110 kV v TR Kletné

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
Kletné	116,7 kV	116,7 kV	116,7 kV	116,7 kV	116,7 kV	116,7 kV	116,7 kV	116,7 kV	116,7 kV
Hranice na Moravě	117,1 kV	116,8 kV	116,5 kV	116,2 kV	115,8 kV	115,5 kV	115,2 kV	114,8 kV	114,5 kV
Valašské Meziříčí	117,1 kV	116,5 kV	115,9 kV	115,2 kV	114,5 kV	113,8 kV	113,1 kV	112,3 kV	111,5 kV
Vsetín	117,8 kV	116,8 kV	115,9 kV	114,9 kV	113,9 kV	112,8 kV	111,8 kV	110,7 kV	109,4 kV
TNS Ústí Leskovec	118,5 kV	117,4 kV	116,2 kV	115,1 kV	113,8 kV	112,6 kV	111,3 kV	109,9 kV	108,5 kV
TNS Střelná	121,0 kV	119,2 kV	117,4 kV	115,6 kV	113,7 kV	111,7 kV	109,7 kV	107,5 kV	105,3 kV

Tabulka 3.31 Zimní stav – zatížení vedení 110 kV v závislosti na velikosti kompenzace v TNS Střelná

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
5661	38 %	38 %	37 %	37 %	38 %	38 %	39 %	40 %	42 %
5662	38 %	38 %	37 %	37 %	38 %	38 %	39 %	40 %	42 %
561	48 %	47 %	46 %	46 %	46 %	47 %	49 %	51 %	55 %
562	48 %	47 %	46 %	46 %	46 %	47 %	49 %	51 %	55 %
575	31 %	28 %	26 %	25 %	25 %	26 %	28 %	32 %	36 %
576	31 %	28 %	26 %	25 %	25 %	26 %	28 %	32 %	36 %
565	40 %	32 %	23 %	14 %	8 %	13 %	23 %	35 %	47 %
566	40 %	31 %	22 %	13 %	8 %	13 %	24 %	35 %	48 %

Tabulka 3.32 Zimní stav – ztráty činného výkonu na vedeních 110 kV v závislosti na velikosti kompenzace v TNS Střelná

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
5661	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,4 MW	0,4 MW
5662	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,3 MW	0,4 MW	0,4 MW
561	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,6 MW	0,7 MW
562	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,6 MW	0,7 MW
575	0,2 MW	0,2 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,3 MW
576	0,2 MW	0,2 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,3 MW
565	0,1 MW	0,1 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,1 MW	0,1 MW
566	0,3 MW	0,2 MW	0,1 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,1 MW	0,3 MW	0,5 MW
celkem	2,5 MW	2,2 MW	2,0 MW	1,8 MW	1,8 MW	1,9 MW	2,2 MW	2,6 MW	3,3 MW

Tabulka 3.33 Dopady kompenzace v TNS Střelná na velikost napětí v síti 110 kV

Zimní stav – Konstantní odbočka na trf. 400/110 kV v TR Prosenice

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
Prosenice	118,3 kV	117,8 kV	117,3 kV	116,7 kV	116,1 kV	115,6 kV	114,9 kV	114,2 kV	113,5 kV
Hranice na Moravě	118,7 kV	117,9 kV	117,0 kV	116,1 kV	115,2 kV	114,3 kV	113,2 kV	112,1 kV	110,9 kV
Valašské Meziříčí	118,8 kV	117,6 kV	116,4 kV	115,2 kV	113,8 kV	112,6 kV	111,1 kV	109,5 kV	107,9 kV
Vsetín	119,4 kV	118,0 kV	116,5 kV	114,9 kV	113,2 kV	111,6 kV	109,8 kV	107,8 kV	105,7 kV
TNS Ústí Leskovec	120,2 kV	118,5 kV	116,8 kV	115,0 kV	113,2 kV	111,3 kV	109,3 kV	107,1 kV	104,7 kV
TNS Střelná	122,6 kV	120,3 kV	118,0 kV	115,5 kV	113,0 kV	110,4 kV	107,6 kV	104,6 kV	101,4 kV

Zimní stav – Konstantní napětí na přípojnici 110 kV v TR Kletné

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
Prosenice	116,1 kV	116,1 kV	116,1 kV	116,1 kV	116,1 kV	116,1 kV	116,1 kV	116,1 kV	116,1 kV
Hranice na Moravě	116,5 kV	116,2 kV	115,9 kV	115,5 kV	115,2 kV	114,8 kV	114,4 kV	114,0 kV	113,6 kV
Valašské Meziříčí	116,6 kV	115,9 kV	115,3 kV	114,5 kV	113,8 kV	113,1 kV	112,3 kV	111,5 kV	110,7 kV
Vsetín	117,2 kV	116,3 kV	115,3 kV	114,3 kV	113,2 kV	112,2 kV	111,0 kV	109,8 kV	108,6 kV
TNS Ústí Leskovec	118,0 kV	116,8 kV	115,6 kV	114,4 kV	113,1 kV	111,9 kV	110,5 kV	109,1 kV	107,6 kV
TNS Střelná	120,4 kV	118,7 kV	116,8 kV	114,9 kV	113,0 kV	111,0 kV	108,9 kV	106,7 kV	104,4 kV

Tabulka 3.34 Zimní stav – zatížení vedení 110 kV v závislosti na velikosti kompenzace v TNS Střelná

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
578	38 %	37 %	37 %	37 %	37 %	38 %	39 %	40 %	42 %
577	38 %	37 %	37 %	37 %	37 %	38 %	39 %	40 %	42 %
561	48 %	47 %	46 %	46 %	46 %	47 %	49 %	51 %	55 %
562	48 %	47 %	46 %	46 %	46 %	47 %	49 %	51 %	55 %
575	31 %	29 %	27 %	25 %	25 %	26 %	28 %	32 %	36 %
576	31 %	29 %	27 %	25 %	25 %	26 %	28 %	32 %	36 %
565	41 %	32 %	23 %	14 %	9 %	13 %	23 %	35 %	48 %
566	40 %	32 %	22 %	14 %	8 %	14 %	24 %	35 %	48 %

Tabulka 3.35 Zimní stav – ztráty činného výkonu na vedeních 110 kV v závislosti na velikosti kompenzace v TNS Střelná

Název	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar
578	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,5 MW	0,5 MW
577	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,4 MW	0,5 MW	0,5 MW
561	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,6 MW	0,7 MW
562	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,5 MW	0,6 MW	0,7 MW
575	0,2 MW	0,2 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,3 MW
576	0,2 MW	0,2 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,1 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,3 MW
565	0,1 MW	0,1 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,1 MW	0,1 MW
566	0,3 MW	0,2 MW	0,1 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,0 MW	0,1 MW	0,3 MW	0,5 MW
celkem	2,7 MW	2,4 MW	2,2 MW	2,0 MW	2,0 MW	2,1 MW	2,4 MW	2,8 MW	3,5 MW

4 Závěr

Zatěžování sítě 110 kV

V základním provozním stavu při plném zapojení všech prvků sítě 110 kV trakční odběr TNS Střelná ani dodávka výkonu z TNS Střelná nezpůsobují z pohledu zatěžování vedení v síti 110 kV problémy.

Při neúplného zapojení sítě (stavy N-1) dochází při odběru TNS 14 MW a více k přetěžování vedení 561/562 Hranice n.M. – Valašské Meziříčí. Při vypnutí jedné lince z tohoto dvojitého vedení 561/562 dosahuje zatížení zbývajících linky 128 % I_{max} (maximální dovolené proudové zatížitelnosti) při sekundové špičce odběru TNS 39,1 MW. Pro požadovaný (P_{15min}) odběr TNS ve výši 14 MW (včetně odběru distribuce) bylo zjištěno nejvyšší zatížení V561/562 při N-1 ve velikosti 98 % I_{max} , což je na mezi dovolené proudové zatížitelnosti vedení 561/562.

Napětí

Zjištěné hodnoty kolísání napětí vlivem největšího odběru / dodávky TNS Střelná nejsou z hlediska provozu distribuční sítě 110 kV v základním provozním zapojení problematické a nezpůsobují překročení napětí mimo povolené provozní meze.

Pro analyzované stavy při úplném základním provozním zapojení sítě se pokles napětí vlivem odběru TNS pohybuje pro požadovaný odběr v 15-minutovém intervalu do 1,3 % U_n . Nárůst napětí vlivem dodávky se pohybuje do 0,6 % U_n pro 15-minutovou hodnotu dodávky.

Při zahrnutí kontroly N-1 (neúplné zapojení sítě) se pokles napětí vlivem odběru TNS pohybuje pro požadovaný 15-minutový odběr do 2,5 % U_n . Nárůst napětí vlivem dodávky při N-1 se pohybuje do 0,7 % U_n pro 15-minutovou hodnotu dodávky.

Nesymetrie napětí

Z provedené analýzy plyne, že pro zajištění napájení trakce v požadované výši 12,1 MW je nezbytné řešení TNS se symetrickým odběrem ze všech 3 fází, tedy použití technologie výkonových trakčních měničů.

V případě použití technologie trakčních transformátorů v zapojení do V pro napájení trakce by nebylo možné tento výkon z hlediska plnění kritéria stupně nesymetrie realizovat.

Flikr

Trakční odběr svým průběhem není zdrojem flikru. Změny napětí vyvolané kolísáním trakčního odběru jsou poměrně malé. Flikr není omezující pro připojení zařízení TNS.

Vyšší harmonické

Při použití technologie s trakčními měniči je návrh podoby a řízení sestavy TNS vázán na místní podmínky. Skutečná velikost emise harmonických bude záviset na typu zařízení konkrétního výrobce. Příslušné zařízení musí být navrženo tak, aby jeho připojením nebyly překročeny limitní hodnoty harmonických daných provozovatelem sítě a příslušnými pravidly (PPDS) a normami (PNE 333430-0). V případě překročení limitů harmonických bude muset dodavatel technologie zvolit řešení pro eliminaci tohoto stavu.

Konkrétní parametry trakčního měniče nejsou známy a budou známy až proběhne výběrové řízení na dodavatele technologie. Dopady budou z hlediska vyšších harmonických prověřeny až praktickým měřením po realizaci zařízení. I s ohledem na možnou variabilitu zapojení DS 110 kV v budoucnu, doporučujeme v areálu TNS ponechat prostorovou rezervu pro dodatečnou instalaci případných kompenzačních zařízení.

Výpočet šíření vyšších harmonických byl proveden pro modelový příklad použití technologie měniče GE.

Z výpočtů vyplynulo, že 49. harmonická napětí překračuje přípustnou limitní hodnotu dle PNE 33 3430 rozvodně 110 kV TNS Střelná.

Protože z rozvodny Střelná je na úrovni napětí 22 kV zásobovaný distribuční odběr ČEZ Distribuce a EG.D budou se vyšší harmonické způsobené měniči v TNS šířit i v síti 22 kV. Z analýzy vyplynulo, že na napěťové hladině 22 kV, ze které je z TNS Střelná napájena též distribuce, je úroveň 21., 27., 33. a 39. harmonické na limitních hodnotách, úroveň 43., 47. a 49. harmonické překračuje limity stanovené PNE 33 3430-1. Investor TNS bude muset požadovat po dodavateli technologie přizpůsobení technického řešení měniče požadavkům PDS na velikost vyšších harmonických napětí v daném místě připojení tak, aby byly splněny požadavky dané normou a PPDS v dané lokalitě.

HDO

Při použití technologie s trakčními měniči (dle dostupných informací od dodavatelů) neprodukují tato zařízení rušivá napětí na frekvenci blízké frekvenci HDO. Zařízení samo o sobě aktivně signál HDO neodsává. V případě, že by byly v rozvodně umístěny filtrační prvky je třeba dodržet minimální stanovenou hodnotu signálu HDO danou provozovatelem distribuční soustavy.

Zařízení v režimu kompenzace

Měniče SFC jsou dimenzovány na primární vstupní straně výkonově tak, aby bylo možno kompenzovat DS 110 zaručeným (smluvním) výkonem 10 MVar a tento jalový výkon nabídnout jako regulační službu pro potřeby provozu distribuční sítě.

SHRNUTÍ

Z provedených analýz vyplývá, že požadovaný odběr TNS Střelná ve velikosti 14,1 MW, z čehož 12,1 MW je určeno pro napájení odběru trakčního charakteru, je možné z distribuční soustavy napájet při použití technologie výkonových trakčních měničů. Při odběru TNS Střelná 12,1 + 2 MW dochází v zimních bilančních stavech (při stavech N-1 v síti 110 kV) k meznímu zatěžování vedení 561/562 Hranice n. M. – Valašské Meziříčí.

Protože je z rozvaděče 22 kV TNS Střelná napájen nejen výkonový měnič TNS ale též rozvaděč vn pro distribuci (linky 22 kV ČEZd a EG.D), musí být splněny limitní hodnoty pro šíření vyšších harmonických na úrovni DS 22 kV. Technologie nově připojované TNS musí být vybavena filtračním zařízením vyšších harmonických tak, aby byly splněny limity dle PNE.

