



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Doprava

Ministerstvo dopravy  
Státní fond dopravní  
infrastruktury



Jiná ověření:

Paré:


Orientační schéma:



Razítko oprávněné osoby:

Podpis:

Datum:

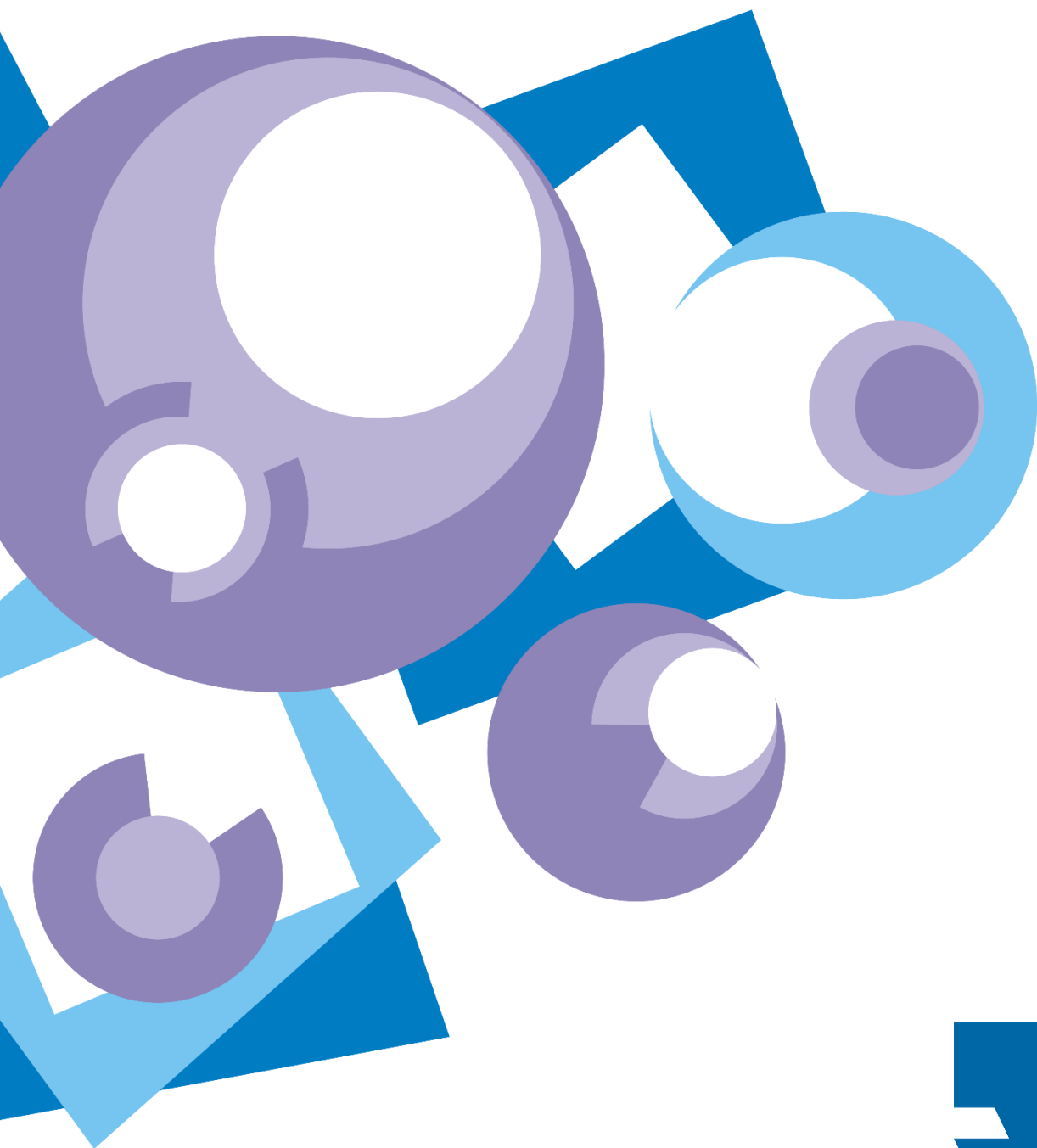
Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
000	30.01.2023	Definitivní odevzdání dokumentace	Ing. Petr Kortyš

Stavebník/Investor:	<b>Správa železnic, státní organizace</b>		<b>SPRÁVA ŽELEZNIC</b>
Adresa:	Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1		
Zástupce investora:	Stavební správa východ		
Adresa:	Nerudova 773/1, 779 00 Olomouc		

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

Název stavby/akce:	<b>Výstavba uzlové trakční napájecí stanice Brno-Černovice</b>	Označení investora: S621500946
Název části:	Silňoproudá technologie trakčních napájecích stanic (měnění, trakčních transformoven)	Označení zhotovitele: 16052-01-0817
Název objektu/dílní části:	<b>TNS Brno-Černovice, technologie trakčních měničů</b>	Označení části: D.1.3.3
Název přílohy:	TNS, Studie připojitelnosti	Označení objektu/komplexu: <b>PS 12-03-31</b>
Název dílní části přílohy:		Číslo přílohy: <b>3.002</b>
Odpovědný projektant:	Zpracovatel přílohy: Ing. Jan Zářecký	Měřítka: Formáty: <b>DÚR</b>
Kraj:	Katastrální území: Jihomoravský viz část A. dokumentace	TUDU: viz část A. dokumentace
		<b>Smluvní datum zpracování: 30.01.2023</b>

Označení investora: S 6 2 1 5 0 0 9 4 6 Stupeň dokumentace: Část: D U R X - D 1 3 0 3 Objekt: P S 1 2 0 3 3 1 - X X Příloha: 3 - 0 0 2 Revize: 0 0 0



## Studie připojitelnosti TNS Nezamyslice do distribuční sítě 110 kV EG.D

leden 2022



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

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

**Evidenční čísla smluv:** 21061-06/21 (SUDOP Brno, s.r.o.)  
22 114 (EGÚ Brno, a. s.)

## Studie připojitelnosti TNS Nezamyslice do distribuční sítě 110 kV EG.D

Modernizace trati Brno – Přerov, 3. stavba Vyškov – Nezamyslice

**Zpracovali za zhotovitele:** Petr Modlitba (odpovědný pracovník),  
Jan Kroulík  
Petr Modlitba jr.  
a kolektiv sekce 0100



# Obsah

---

1	Úvod	7
2	Připojení TNS Nezamyslice do distribuční sítě 110 kV	8
2.1	Charakteristika místa připojení	8
2.2	Charakteristika trakčního odběru TNS Nezamyslice	10
2.3	Výpočet zatěžování sítě 110 kV vlivem odběru TNS Nezamyslice	11
2.4	Změny napětí	16
2.5	Flikr	18
2.6	Vyšší harmonické	20
2.7	Dopady TNS na signál HDO	23
2.8	Zařízení v režimu kompenzace	24
3	Závěr	26



# 1 Úvod

**Studie připojitelnosti trakční napájecí stanice Nezamyslice do distribuční sítě 110 kV byla zpracována na základě objednávky projekční organizace SUDOP Brno, spol. s r.o., která připravuje podklady záměru projektu a přípravné dokumentace stavby „Modernizace trati Brno – Přerov, 3. stavba Vyškov – Nezamyslice“ pro SŽ, s.o. Studie je přílohou žádosti o připojení TNS Nezamyslice k distribuční soustavě 110 kV EG.D.**

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.

Studie připojitelnosti TNS Nezamyslice navazuje a aktualizuje Studii připojitelnosti, která byla pro tuto stanici zpracována v EGÚ Brno na přelomu 2018/2019 na základě žádosti SŽDC, s.o. o připojení podanou na E.ON Distribuce v 11/2018 (č. 12452434).

Protože došlo k výraznému termínovému zpoždění oproti původně plánované realizaci TNS s novou technologií bylo nutné zpracovat novou Studii připojitelnosti s aktualizovanými vstupními předpoklady.

Termín realizace nové TNS Nezamyslice se předpokládá v roce **2025**.

Celkový požadovaný příkon je **23 MVA**, z toho **20 MVA** odběr trakce a **3 MVA** ostatní odběr (vlastní spotřeba TNS a napájení LDS železnice přes samostatný transformátor 110/22 kV).

Předpokládaný dodávaný výkon (z rekuperace): **1 MVA**.

Trakční odběr 20 MVA bude v první etapě napájet trakci dvěma způsoby:

- cca 15 MVA bude odebírat střídavá trakce 25 kV napájená polovodičovou technologií
- cca 5 MVA bude zásobovat úsek trakce napájeného stejnosměrným napětím 3 kV.

Cílová stav však předpokládá napájení celého trakčních odběrů 20 MVA z TNS Nezamyslice polovodičovou technologií.

Protože se jedná o napájecí zařízení s proměnlivým a poměrně značným odebíraným výkonem a připojením do sítě 110 kV, požaduje provozovatel distribuční sítě EG.D pro rozhodnutí o připojení zpracování Studie připojitelnosti tohoto odběrového zařízení.

Studie posuzuje, zda je možné připojení požadovaného odběru z hlediska vlivu na stávající síť, aniž by byly překročeny meze dovoleného ovlivnění napětí v místě připojení k distribuční síti (velikost a změna napětí vyvolaná připojením odběru), překročena dovolená zatížitelnost prvků sítě a jaké jsou zpětné vlivy vyvolané připojením daného zařízení na síť (vliv na útlum signálu HDO, na flickr a na vyšší harmonické).

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.



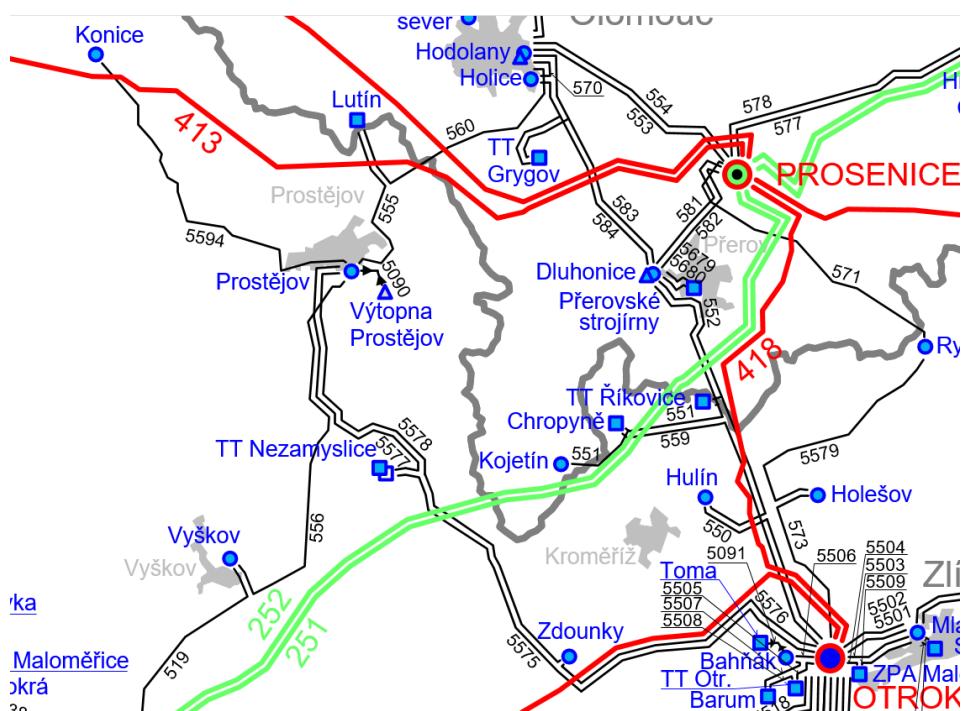
## 2 Připojení TNS Nezamyslice do distribuční sítě 110 kV

### 2.1 Charakteristika místa připojení

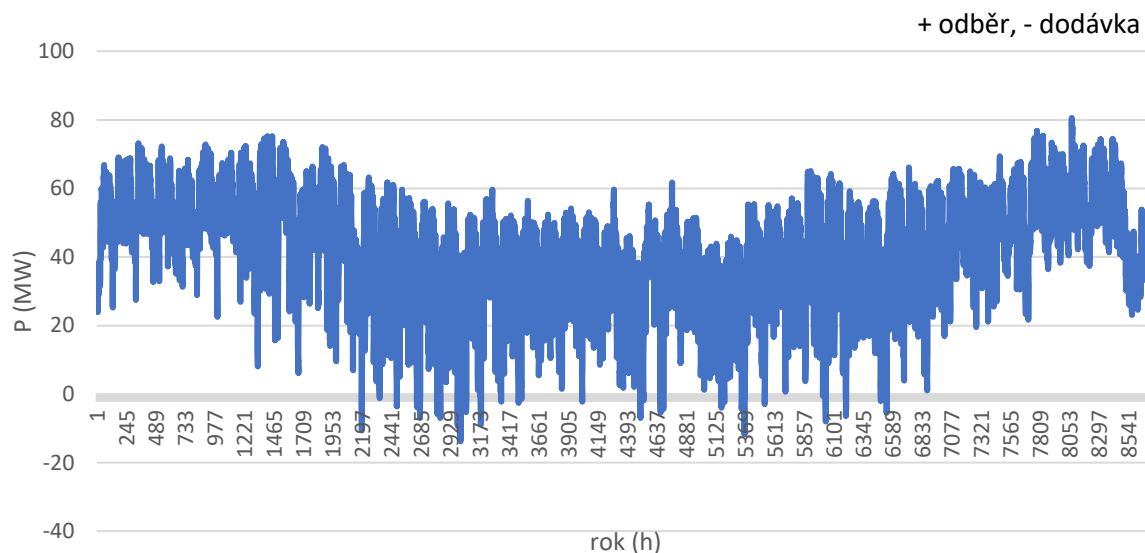
TNS Nezamyslice je napájena z uzlové oblasti 110 kV Otrokovice. TNS Nezamyslice je umístěna na smyčce vedení 110 kV s průřezem 240 AlFe. Smyčka 110 kV je napájena z TR Otrokovice, a kromě TNS Nezamyslice jsou na ni připojeny též rozvodny 110 kV Zdounky, Prostějov a Konice. Na smyčku 110 kV bude v budoucnu připojena také připravovaná nová rozvodna 110 kV Dřevnovice v Prostějově se připravuje realizace nové rozvodny Prostějov západ. Z rozvodny Prostějov je ještě záložní propojení 110 kV do rozvodny Lutín (ČEZ distribuce Morava).

Vzhledem k variabilitě zapojení UO Otrokovice se mohou vyskytnout stavy, kdy napájení TNS probíhá pouze přes jeden transformátor 400/110 kV 350 MVA v TR Otrokovice. Není tedy možné počítat se zkratovým příspěvkem více paralelně či můstkově zapojených transformátorů s vazbou na PS.

**Obr. 2.1 Zapojení sítí 110 kV a přenosové soustavy v řešené oblasti**



Z hlediska výkonové bilance je oblast značně proměnlivá, v zimních měsících převažuje silně odběrový charakter bilance výkonu. V letních měsících je vlivem produkce obnovitelných zdrojů v oblasti v některých případech bilančně vyrovnaná až výkonově přebytková. Do rozvodny 110 kV Prostějov je vyveden zdroj o výkonu 58 MW (Výtopna Prostějov), ten je však špičkový a je provozován pouze po několik hodin ročně.

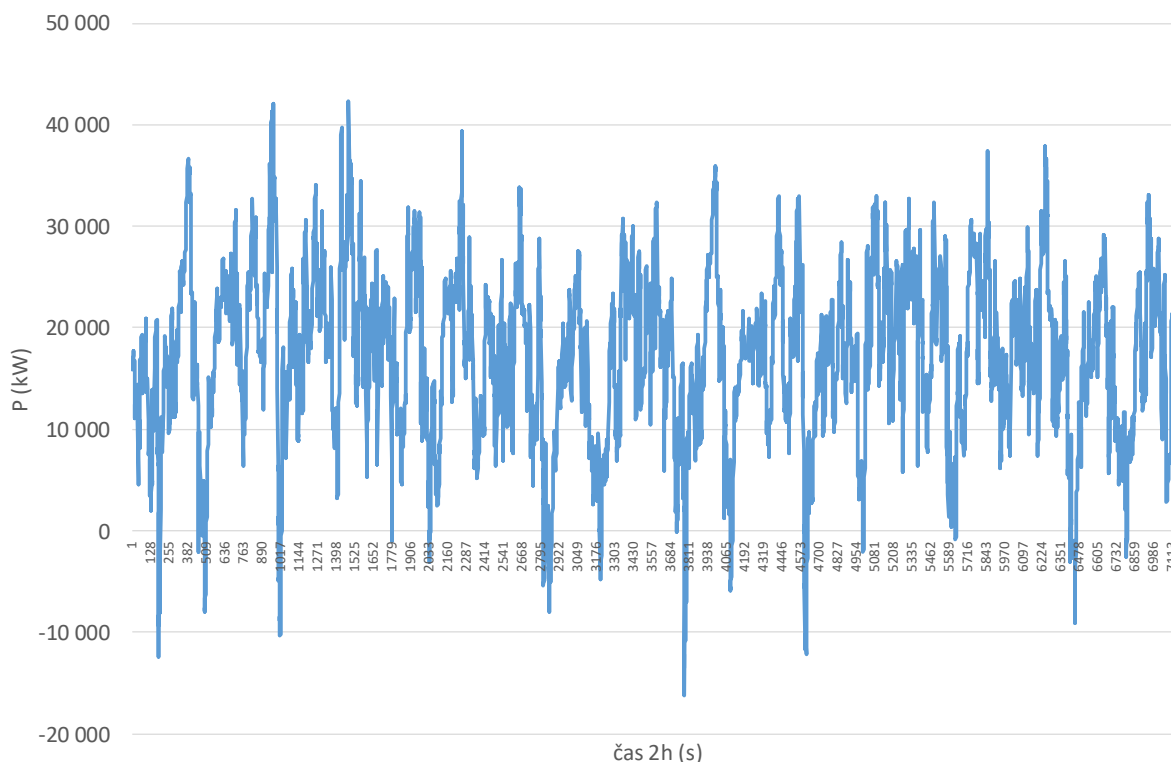
**Obr. 2.2**      **Roční průběh zatížení napájecí smyčky 110 kV bez odběru TNS Nezamyslice**

Minimální zkratový výkon v místě připojení TNS je stanoven pro situaci, kdy je napájení smyčky 110 kV realizováno pouze z jednoho transformátoru 400/110 kV Otrokovice a při výpadku vedení 110 kV Otrokovice – Nezamyslice. Jedná se tedy o stav napájení TNS Nezamyslice dlouhou radiální větví 110 kV Otrokovice – Zdounky – Prostějov – Nezamyslice. Minimální zkratový výkon je 350 MVA, provozní zkratový výkon v plném schématu zapojení všech vedení 110 kV je pak 812 MVA. Zkratovému výkonu při nekompletním stavu sítě pak odpovídá maximální nesymetricky připojitelný odběr pouze ve výši 2,45 MW. Z toho plyne, že je nezbytné řešení TNS s technologií založenou na kaskádě dvojice měničů 3AC/DC a DC/1AC, která zajišťuje symetrický odběr.

## 2.2 Charakteristika trakčního odběru TNS Nezamyslice

Z dopravně energetických výpočtů zpracovaných firmou SUDOP Brno byl převzat výkonový průběh pro špičkovou dvouhodinu s rozlišením 1s. Jedná se o modelově extrémně nepříznivý budoucí stav, který počítá v výrazně vyšším dopravním i výkonovém zatížení než je tomu v současnosti. Jedná se tedy o dimenzování zatížení, na které byla navrhována kapacita TNS.

**Obr. 2.3 Průběh budoucího trakčního odběru včetně rekuperace za 2h špičku v sekundovém členění**

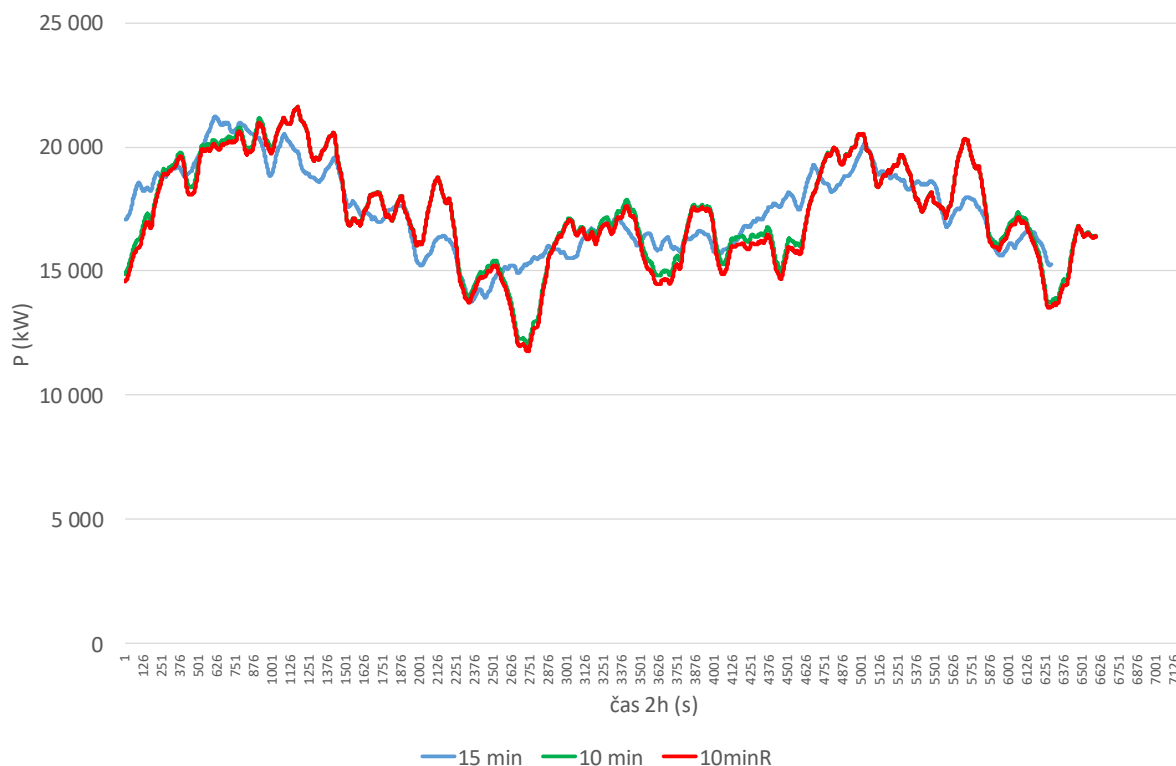


Z průběhů byly sestaveny hodnoty výkonů pro 10 minutové a 15 minutové plovoucí okno, což jsou hodnoty, které se používají pro obchodně technické hodnocení a hodnocení kvality elektrické energie. Z průběhů je patrné, že rozdíl mezi 10 min a 15 min oknem nejsou podstatné. Hodnoty v plovoucím okně jsou uvažovány pouze pro odběr výkonů, není tam zahrnutá rekuperace, u které je předpoklad, že se bude vyhodnocovat separátně. Pro 10 min plovoucí okno byly vyhodnoceny hodnoty i s vlivem rekuperace, rozdíly vůči stavu jen s odběrem jsou nepodstatné.

Ve studii jsou provedeny též výpočty zatěžování síťových prvků 110 kV pro špičkovou (1s) hodnotu odběru TNS 43 MW.

Pro účely studie připojitelnosti je celá hodnota rezervovaného výkonu uvažována pro střídavou trakci, což je budoucí cílový stav.

**Obr. 2.4** Průběh budoucího trakčního odběru za 2h dopravní špičku s průměrnými výkony v plovoucím okně



## 2.3 Výpočet zatěžování sítě 110 kV vlivem odběru TNS Nezamyslice

*Kapitola prověřuje změny a četnost zatěžování vedení 110 kV ve stavu bez a s trakčním odběrem pro charakteristické velikosti odběru TNS. Hodnocení je provedeno pro plánované provozní zapojení sítě, spolehlivostní výpočty jsou provedeny podle kritéria (N-1).*

Výpočet zatěžování je proveden trendováním odběru pro rok 2024 z bilančního průběhu získaného z dat za rok 2019. Výpočet je proveden pro základní zapojení sítě a pro stavy (N-1). Při výpočtu (N-1) jsou analyzovány dopady všech možných výpadků zhoršujících poměry na smyčce, je vyhodnoceno zatížení konkrétního vedení při nejhorším možném výpadku v dané hodině.

Výpočty jsou provedeny pro bilanční stav bez odběru TNS Nezamyslice a s pásmovým odběrem TNS Nezamyslice ve velikosti 23 MW (rezervovaný příkon) po dobu 8760 hodin. Trakční odběr je silně proměnný, výskyt 15 min. špičky odběru je však neurčitý. Použití pásmového zatížení během celého roku proto pokrývá veškeré možné situace, které mohou v reálném provozu nastat. Obdobně je proveden výpočet s krátkodobým zatížením TNS Nezamyslice na 43 MW (špičkový odběr), které vychází z průběhu trakčního odběru, ve výpočtech je tento výkon reprezentován pásmovým odběrem. Dále byl analyzován stav s odběrem TNS Nezamyslice 23 MW a zároveň výrobou ve výtopně Prostějov 58 MW. Vyhodnocení je provedeno jako hodinová četnost, během které je dosahováno uvedené zatížení vedení 110 kV.

**Tab. 2.1      Zatěžování smyčky 110 kV v základním zapojení s různou bilancí TNS  
Nezamyslice bez napájení uzlu Konice**

[illegible][illegible][illegible][illegible]

Tab. 2.2      **Zatěžování smyčky 110 kV v základním zapojení s různou bilancí TNS Nezamyslice s napájením uzlu Konice**

Zatížení vedení bez TNS Nezamyslice - plné zapojení 110 kV															
Vedení	Uzel A	Uzel B	Četnost zatížení během roku (h)												
			0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
5575	Otrokovice	Nezamyslice		262	535	955	1939	2451	1487	890	274	4			
5576	Otrokovice	Zdounky		464	720	893	2228	2160	1235	868	189	3			
5577	Nezamyslice	Prostějov		301	502	951	1938	2438	1467	887	273	3			
5578	Zdounky	Prostějov		385	1044	2940	2949	1278	164						
5594	Prostějov	Konice		4530	3383	838	9								

Zatížení vedení s TNS Nezamyslice odběr 23 MW - plné zapojení 110 kV															
Vedení	Uzel A	Uzel B	Četnost zatížení během roku (h)												
			0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
5575	Otrokovice	Nezamyslice			3	79	230	455	875	1745	2441	1600	911	411	10
5576	Otrokovice	Zdounky		218	481	578	1076	2292	2025	1137	819	133	1		
5577	Nezamyslice	Prostějov		583	925	1688	2553	1681	940	384	6				
5578	Zdounky	Prostějov		80	433	1239	3116	2629	1154	109					
5594	Prostějov	Konice		4500	3388	860	12								

Zatížení vedení s TNS Nezamyslice odběr 23 MW, Prostějov výroba 58 MW - plné zapojení 110 kV															
Vedení	Uzel A	Uzel B	Četnost zatížení během roku (h)												
			0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
5575	Otrokovice	Nezamyslice		2004	3031	2158	1110	484	10						
5576	Otrokovice	Zdounky		3324	2831	1646	855	101	3						
5577	Nezamyslice	Prostějov		1439	2120	2602	1429	658	361	140	11				
5578	Zdounky	Prostějov		5479	2598	550	133								
5594	Prostějov	Konice		4587	3366	802	5								

Zatížení vedení s TNS Nezamyslice odběr 43 MW - plné zapojení 110 kV															
Vedení	Uzel A	Uzel B	Četnost zatížení během roku (h)												
			0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %
5575	Otrokovice	Nezamyslice					27	25	113	319	524	1075	2068	2212	1281
5576	Otrokovice	Zdounky		72	280	505	601	1305	2370	1845	1023	688	70	1	
5577	Nezamyslice	Prostějov		956	1640	2511	1966	1066	583	38					
5578	Zdounky	Prostějov		3	152	527	1674	3328	2146	899	31				
5594	Prostějov	Konice		4467	3404	876	13								

Tab. 2.3 Zatěžování smyčky 110 kV při (N-1) s různou bilancí TNS Nezamyslice bez napájení uzlu Konice

Zatížení vedení při (N-1) bez TNS Nezamyslice																								
Vedení		Uzel A		Uzel B		Četnost zatížení během roku (h)																		
						0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %
5575	Otrokovice				238	288	409	551	895	1204	1519	1339	832	680	522	250	31	2						
5576	Otrokovice				333	312	393	486	873	1198	1513	1335	839	675	523	247	32	1						
5577	Nezamyslice				264	274	403	567	898	1211	1505	1333	831	673	519	249	31	2						
5578	Zdounky			16	240	301	539	1009	1263	1996	1465	974	667	257	33									

Zatížení vedení při (N-1) TNS Nezamyslice odběr 23 MW																								
Vedení		Uzel A		Uzel B		Četnost zatížení během roku (h)																		
						0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %
5575	Otrokovice						28	114	182	270	419	576	900	1211	1432	1291	810	658	525	283	56	5		
5576	Otrokovice					22	74	118	213	266	387	457	828	1070	1460	1289	870	655	543	387	109	12		
5577	Nezamyslice						932	548	878	1177	1505	1333	838	683	535	281	45	5						
5578	Zdounky				2	25	110	178	288	512	934	1143	1824	1510	957	704	450	116	7					

Zatížení vedení při (N-1) TNS Nezamyslice odběr 23 MW + dodávka Prostějov 58 MW																								
Vedení		Uzel A		Uzel B		Četnost zatížení během roku (h)																		
						0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %
5575	Otrokovice				1	0	6933	959	635	209	23													
5576	Otrokovice					2812	2209	1611	1000	534	282	175	98	34	5									
5577	Nezamyslice						5351	1432	877	464	302	188	104	35	7									
5578	Zdounky					2543	2842	1514	952	441	268	147	47	6										

Zatížení vedení při (N-1) TNS Nezamyslice odběr 43 MW																								
Vedení		Uzel A		Uzel B		Četnost zatížení během roku (h)																		
						0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %	35 %	40 %	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %
5575	Otrokovice											84	142	220	305	485	675	904	1331	1377	1136	698	607	492
5576	Otrokovice																							
5577	Nezamyslice																							
5578	Zdounky																							





V základním zapojení trakční odběr nezpůsobuje v síti 110 kV problémy ani ve stavech se 43 MW odběrovou špičkou.

Při výpadcích (N-1) bez napájení uzlu Konice vychází bilance TNS, že není splněna podmínka (N-1) při odběru TNS 43 MW a zatížení vedení dosahují v řádů jednotek hodin až 120 %  $I_{max}$ . Při odběru TNS 23 MW dochází k zatěžování vedení při stavech (N-1) až 95 %  $I_{max}$ . Při současné dodávce výkonu z výtopny Prostějov (58 MW) dosahuje zatížení vedení 110 kV maximální hodnoty 60 %  $I_{max}$ .

Při odběru TNS 23 MW dochází několik jednotek hodin v roce k zatížení vedení až 110 %  $I_{max}$ . Při současné dodávce výkonu z výtopny Prostějov (58 MW) dosahuje zatížení vedení 65 %  $I_{max}$ . Při 43 MW špičkového odběru je riziko neplnění kritéria (N-1) po dobu asi 1500 hodin za rok. Je to tedy situace souběhu vysokého zatížení, výpadku (N-1) a maximálně desítky sekund trvající špičky odběru. Vzhledem k dosahovaným přetížením vedení (do 135 %  $I_{max}$ ) po velmi krátkou dobu je tato situace na mezi provozní zvládnutelnosti. Navíc lze předpokládat, že při výskytu situace (N-1) bude smyčka dispečersky výrazně odlehčena přesunem části odběru rozvodny Prostějov na napájení z UO Sokolnice nebo Čebín.

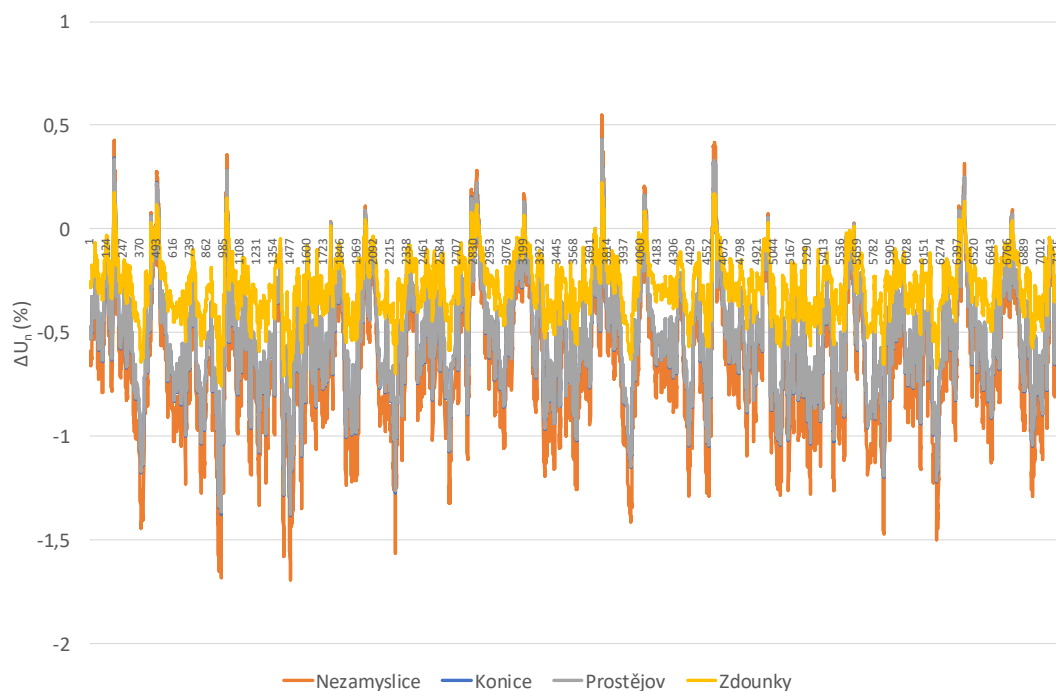
Vzhledem k velikosti předpokládané dodávky výkonu z rekuperace (1 MVA) se neočekává, že by rekuperovaný výkon dodávaný do sítě způsoboval problémy z hlediska technického provozu sítě.

## 2.4 Změny napětí

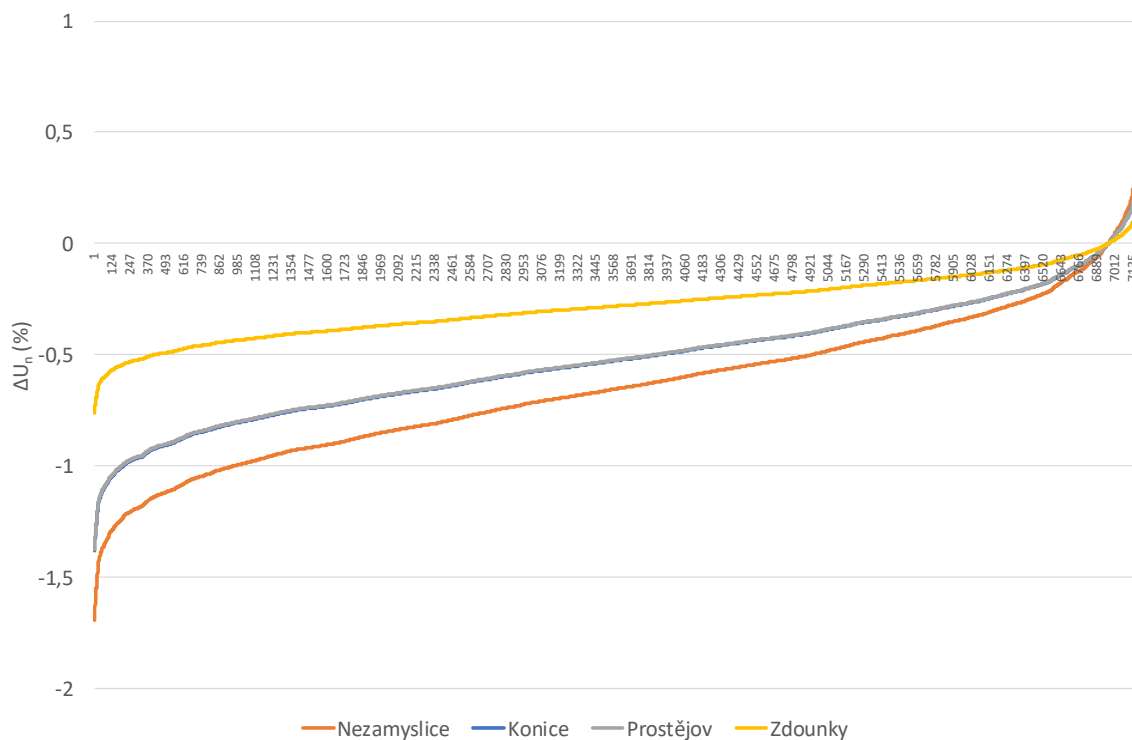
*Kapitola řeší změny napětí vyvolané odběrem TNS při konstantním výchozím napětí v síti 110 kV. Cílem je ukázat vliv nového odběru s ohledem na riziko vybočení velikosti napětí mimo provozní meze.*

Byl proveden výpočet změny napětí v uzlu Nezamyslice 110 kV a ostatních uzlů 110 kV na smyčce pro 2h průběh trakčního odběru v době dopravní špičky se sekundovým členěním. Průběh výkonu byl uvažován včetně rekuperace. Výkon je odebírán s neutrálním účínkem. Kolísání napětí je uvedeno v % ze jmenovité hodnoty 110 kV. Pokles napětí vlivem odběru se pohybuje do 1,5 %  $U_n$  a nárůst napětí vlivem rekuperace se pohybuje do 0,4 %  $U_n$ . Tyto hodnoty nejsou z hlediska provozu distribuční sítě problematické a nemohou způsobit vybočení napětí mimo meze.

**Obr. 2.5** Kolísání napětí v uzlu 110 kV Nezamyslice vlivem trakčního odběru během 2h dopravní špičky



**Obr. 2.6** Kolísání napětí v uzlu 110 kV Nezamyslice během 2h dopravní špičky – čára trvání

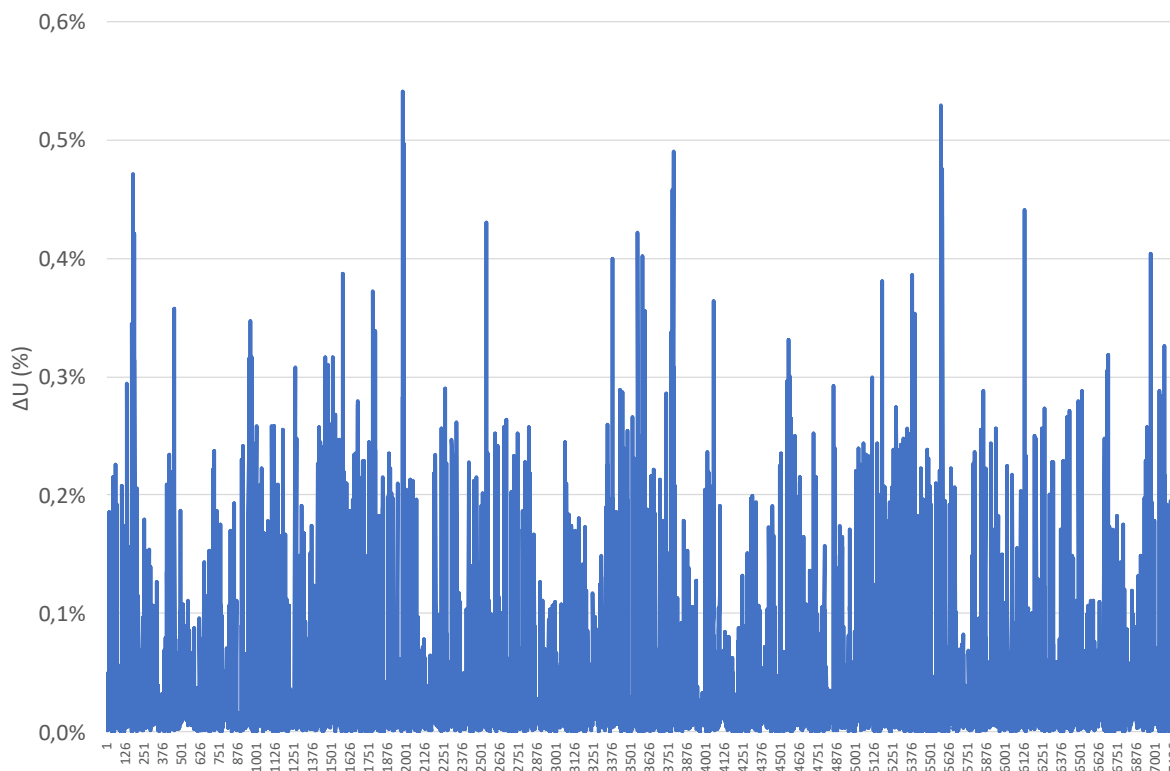


## 2.5 Flikr

Trakční odběr 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 1s. Významnější změny odběru, které se výrazněji projeví na napětí se pohybují v jednotkách vskytů za 2h interval, i toto je velmi nízká hodnota na to, aby se s ní dalo pracovat s využitím postupů dle PNE 33 3430-0.

Z průběhu vypočteného napětí za 2h interval trakčního odběru byla vyhodnocena četnost mezisekundových změn napětí. Tyto změny nemají většinou charakter periodických pulzů, ale jsou to dílčí úseky dlouhých vzestupných nebo sestupných změn napětí vyvolaných nárůstem nebo poklesem trakčního odběru.

**Obr. 2.7 Sekundové změny na úrovni napětí 110 kV uzlu Nezamyslice napětí během 2h dopravní špičky**



Z průběhu byla vyhodnocena četnost změn a u častějších změn byla orientačně vyčíslena hodnota dlouhodobého flikru  $P_{lt}$  dle analytické metody PNE 33 3430-0. To vše za značně pesimistického předpokladu, že se jedná o změny periodické a pravoúhlé. Přesto hodnota dlouhodobého flikru vychází velmi malá, u krátkodobého flikru by to bylo obdobné.

**Obr. 2.8 Četnost mezisekundových změn napětí v místě připojení na úrovni 110 kV během 2h úseku**

$\Delta U$	Počet změn za 2h	Počet změn za 1min	$P_{It}$
0,05%	6 108	51	0,07
0,10%	505	4	0,07
0,15%	178	1	0,07
0,20%	152	1	0,09
0,25%	163	1	0,12
0,30%	49	0	0,10
0,35%	19	0	0,09
0,40%	10	0	0,08
0,45%	7	0	0,08
0,50%	6	0	0,08
0,55%	2	0	0,07
0,60%	0	0	0,00
0,65%	0	0	0,00
0,70%	0	0	0,00
0,75%	0	0	0,00
0,80%	0	0	0,00
0,85%	0	0	0,00
0,90%	0	0	0,00
0,95%	0	0	0,00
1,00%	0	0	0,00
1,05%	0	0	0,00
1,10%	0	0	0,00
1,15%	0	0	0,00
1,20%	0	0	0,00

Z výše uvedených hodnot plyne, že trakční odběr této velikosti není limitní z hlediska flikru. Dopady na napětí jsou spíše na úrovni šumu síťového napětí.

V normě IEC/TR 610000-3-7 je ještě hodnoceno napětí z hlediska velkých rychlých změn. I v tomto případě je podobnost s trakčním odběrem spíše okrajová, rychlé změny počítají se skokovou změnou napětí za nulový čas. Pro síť 110 kV je přípustné uvažovat 2-10 skokových změn napětí ve velikosti 2,5 % jmenovitého napětí za hodinový interval. I této podmínce by měl trakční odběr s velkou rezervou vyhovět.

## 2.6 Vyšší harmonické

*V kapitole jsou stanoveny frekvenčně závislé impedanční charakteristiky sítě. Na modelovém průběhu je stanoven podíl harmonických napětí vůči doporučené plánovací úrovni vyšších harmonických.*

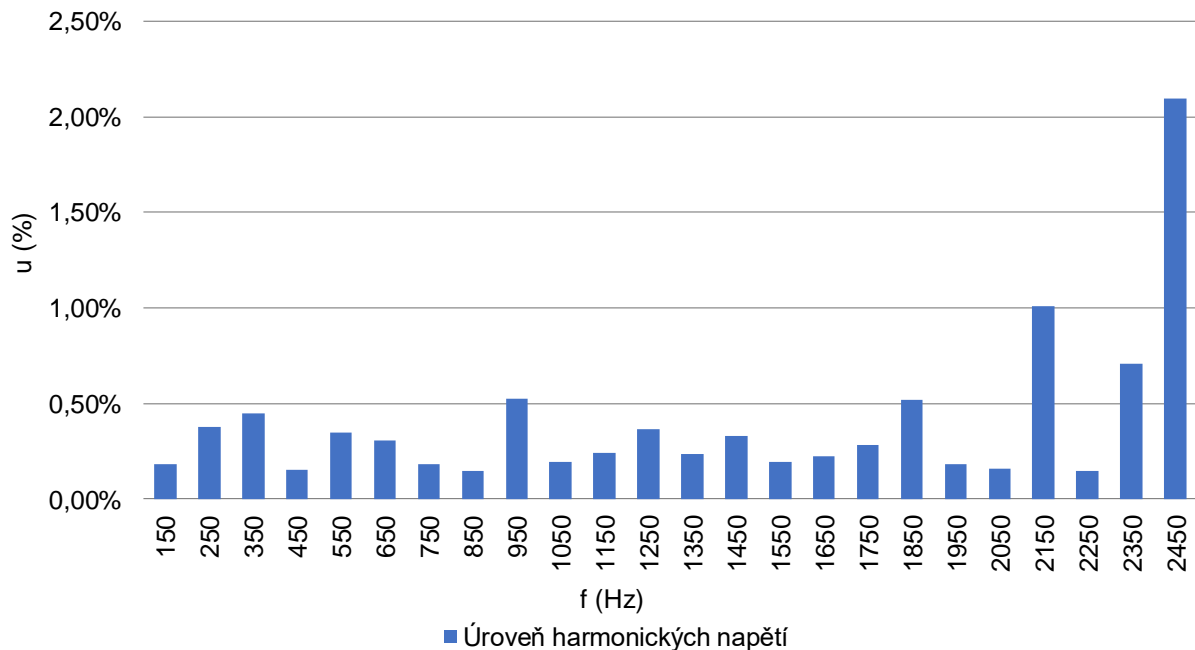
Současné trakční měniče mají ve velké většině případů řízené usměrňovače s technologií IGBT. Odpadají tak problémy s komutací. Jednotlivé měniče jsou složeny z paralelních sekcí, které mohou mít odlišné řízení. Tím je dosažen stav, kdy nedochází k násobení úrovně jednotlivých harmonických s rostoucím 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. Dle informace jednoho z dodavatelů nebylo třeba jím dosud dodané měniče pro TNS vybavovat filtry na úrovni distribučních napětí.

Ze strany jednoho z dodavatelů byl poskytnut průběh harmonických příspěvků napětí na úrovni vstupní části měniče (sekundární svorky transformátoru 110 kV / VN). Tyto hodnoty byly použity pro modelový výpočet. Je však opět třeba zdůraznit, že každé technické řešení provedení měničů je nastavováno na míru místu připojení. Simulace jsou provedeny pouze pro jeden měnič s transformátorem 30 MVA, protože při 2 měničích je velmi pravděpodobné, že bude jejich nastavení různé, tak aby došlo k maximálnímu omezení příspěvků harmonických. Modelování 2 identických jednotek 30 MVA z hlediska vyšších harmonických by v tomto případě bylo silně zavádějící. I tak mají následující výsledky spíše informativní charakter, který má vypovídací hodnotu pouze z hlediska představy o řádových hodnotách jednotlivých vyšších harmonických dodávaných měničem.

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 napěťovým zdrojem přes impedanci transformátoru a impedanci sítě je pak výpočtem určena hodnota harmonických napětí v místě připojení na úrovni 110 kV.

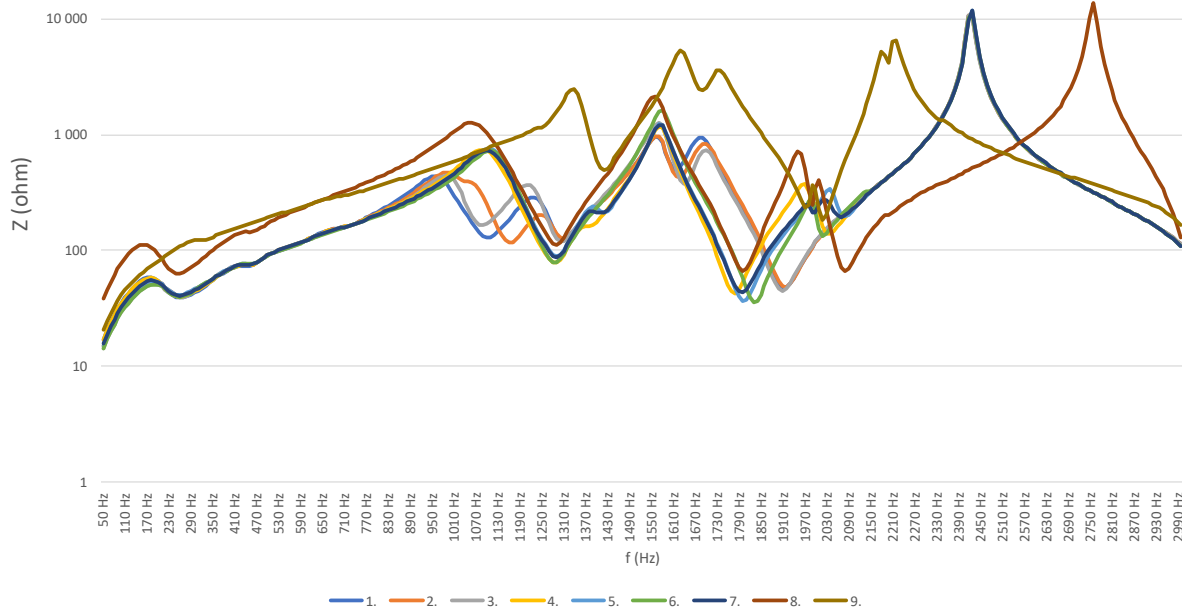
**Obr. 2.9 Harmonická napětí na síťových svorkách usměrňovače (modelový případ použitý ve výpočtech)**



Jako možný podklad pro dodavatele měniče byly zpracovány frekvenčně závislé impedance v místě připojení na úrovni 110 kV pro různé zapojení sítě pro 9 možných stavů sítě. Při stanovení frekvenčně závislých impedancí byly respektovány tyto parametry:

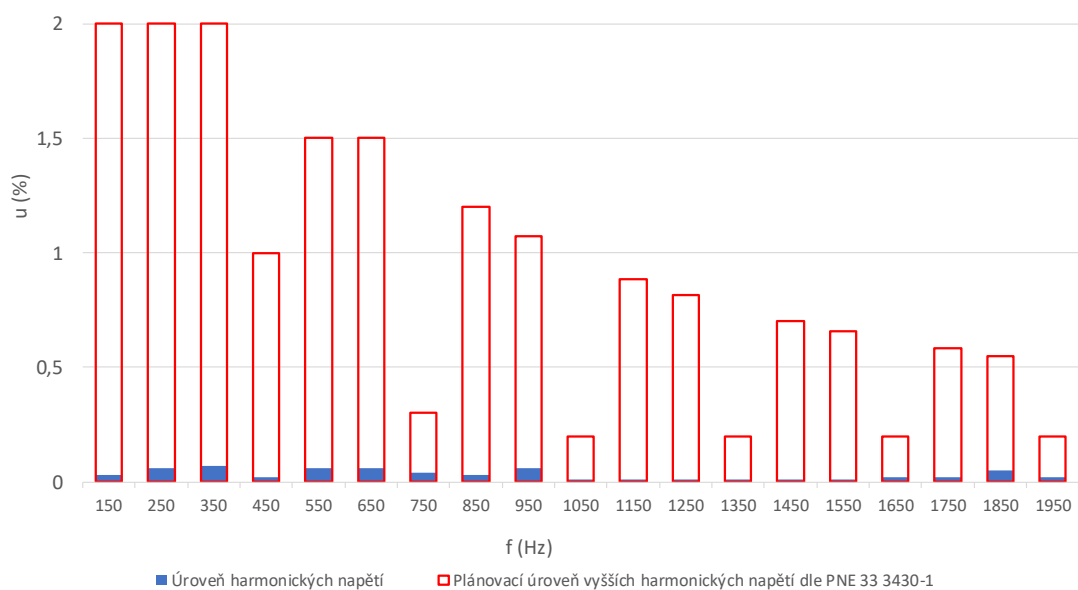
- Impedance přenosové soustavy určená zkratovým výkonem
- Vazební transformátory 400/110 kV a 220/110 kV
- Vedení 110 kV
- Transformátory 110 kV/22 kV
- Odběr, který odpovídá zatížení stanic 22 kV během zimního měření 3:00 ráno (nízké zatížení)
- Ekvivalentní kapacity vedení 22 kV umístěné za transformátory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

**Obr. 2.10 Simulovaná frekvenčně závislá impedance sítě v místě připojení TNS Nezamyslice pro 9 možných stavů sítě**



Vypočtené úrovně vyšších harmonických na přípojnicích 110 kV rozvodny Nezamyslice byly porovnány s plánovacími úrovněmi vyšších harmonických pro sítě VVN, které byly převzaty z PNE 33 3430-1. Toto jsou však hodnoty doporučené, distributor může stanovit hodnoty jiné.

**Obr. 2.11 Úroveň harmonických (<50.) způsobených jedním měničem a plánovací úroveň harmonických**



Z výsledků je patrné, že do 40. harmonické je ovlivnění sítě minimální. Problematické však mohou být situace, kdy dojde k rezonanci mezi impedancí trakčního transformátoru a impedancí sítě. Toto se může týkat i harmonických >40. Tento jev je třeba podchytit při návrhu měniče včetně případných filtrů. Po realizaci zařízení bude nutné deklarované parametry ověřit měřením, a to při různých konfiguracích sítě.

## 2.7 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 podkladů od výrobců 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. Ovlivnění signálu HDO novou TNS je tedy způsobeno zátěží ve velikosti rezervovaného výkonu.

Provozovatel distribuční sítě poskytl hodnoty měření úrovně signálu HDO v rozvodnách 110 kV Zdounky a Prostějov pro zimní stav. Hodnoty byly použity pro porovnání současného stavu simulovaného výpočtem modelem šíření HDO. Simulační model zahrnuje řešenou smyčku zatíženou dle situace během zimního měření 2019. Při simulaci šíření HDO se neuvažuje s uplatněním špičkového zdroje v Prostějově, protože jeho využití je pouze v jednotkách hodin za rok. Současná úroveň HDO na smyčce 110 kV je vyhovující. K lokálním problémům dochází pouze v některých částech sítě na úrovni NN, tyto jsou řešeny místními opatřeními.

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

Relativní snížení signálu vůči stavu bez TNS je u ostatních rozveden na smyčce (mimo TNS) do 3 %. Připojením TNS tedy nevzniká situace, kdy by docházelo k nepřijatelnému snížení úrovně signálu HDO.

Při uvažování součinitele  $\alpha=1$  by dodavatel technologie měl dodržet impedanci na kmitočtu HDO ve velikosti  $Z_{HDO}=605 \Omega$ .

**Tab. 2.5 Simulace šíření signálu HDO zařízením TNS Nezamyslice**

Rozvodna	Simulace				Měření současnost	
	TNS 20 MW		Bez TNS			
Prostějov	1079 V	1,7 %	1113 V	1,8 %	1130 V	1,8 %
Zdounky	1194 V	1,9 %	1208 V	1,9 %	1171 V	1,8 %
Otrokovice	1270 V	2,0 %	1270 V	2,0 %	-	-
Nezamyslice	1129 V	1,8 %	1176 V	1,9 %	-	-
Konice	1056 V	1,7 %	1089 V	1,7 %	-	-



Tab. 2.6 Simulace útlumu signálu HDO zařízením TNS Nezamyslice

Rozvodna	Snížení úrovně signálu HDO z výchozího stavu
Prostějov	3,0 %
Zdounky	1,2 %
Otrokovice	0,0 %
Nezamyslice	4,1 %
Konice	3,0 %

PNE 33 3430-6 požaduje, aby rušivá napětí s odstupem  $\pm 100$  Hz od signálu HDO byla do velikosti 0,3 %  $U_n$ . Hodnoty rušivých napětí produkovaných měničem v tomto rozsahu jsou 5x až 10x nižší. Viz. graf v kapitole řešící vyšší harmonické.

Skutečná hodnota útlumu signálu HDO bude ověřena po instalaci zařízení měřením.

## 2.8 Zařízení v režimu kompenzace

*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.*

Frekvenční měniče mají schopnost generovat či odebírat jalový výkon z úrovně distribuční sítě. Možný regulační rozsah budoucích zařízení v TNS Nezamyslice není znám. V mezním případě je možné, že regulace Q může probíhat až do velikosti jmenovitého výkonu měniče v tomto konkrétním případě tedy  $\pm 60$  MVar, přičemž se předpokládá plynulá regulace. Byl proveden síťový výpočet, který analyzuje dopad generovaného či odebíraného výkonu na napětí ve smyčce 110 kV, na zatěžování vedení a na ztráty činného výkonu ve smyčce. Výpočet byl proveden pro stav zimního pracovního dne (zimní měření). Při výpočtu byla smyčka napájena z jednoho transformátoru 400/110 kV Otrokovice. Byl modelován stav s konstantním napětím na přípojnici v Otrokovicích (reprezentuje regulaci odbočkami) a stav, kdy je u transformátoru nastavena konstantní odbočka.

Z výsledků vyplývá, že při využití mezního regulačního rozsahu 60 MVar dochází k nárůstu ztrát až o 0,7 MW. Většina regulačního rozsahu Q může být využita bez toho, aniž by došlo k vybočení napětí mimo meze. Při mezním nasazení regulačního výkonu může dojít k vybočení napětí mimo meze, ale toto by šlo ošetřit cílenou změnou napětí na přípojnici v Otrokovicích změnou odbočky na transformátoru 400/110 kV.

Tab. 2.7 Dopady kompenzace v zimním stavu 17:00

Zimní stav, konstantní odbočka na trf. v Otrokovcích													
Název	+ 60 MVar	+ 50 MVar	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar	- 50 MVar	- 60 MVar
Otrokovice	119,0 kV	118,7 kV	118,3 kV	118,0 kV	117,6 kV	117,2 kV	116,9 kV	116,5 kV	116,1 kV	115,7 kV	115,3 kV	114,9 kV	114,5 kV
TNS Nezamyslice	121,6 kV	120,7 kV	119,7 kV	118,7 kV	117,8 kV	116,8 kV	115,8 kV	114,7 kV	113,7 kV	112,6 kV	111,5 kV	110,4 kV	109,2 kV
Prostějov	120,1 kV	119,3 kV	118,5 kV	117,7 kV	116,9 kV	116,1 kV	115,2 kV	114,4 kV	113,5 kV	112,6 kV	111,7 kV	110,8 kV	109,8 kV
Zdounky	119,2 kV	118,7 kV	118,3 kV	117,8 kV	117,4 kV	116,9 kV	116,4 kV	116,0 kV	115,5 kV	115,0 kV	114,5 kV	113,9 kV	113,4 kV
Zimní stav, konstantní napětí v Otrokovcích													
Název	+ 60 MVar	+ 50 MVar	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar	- 50 MVar	- 60 MVar
Otrokovice	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV	116,8 kV
TNS Nezamyslice	119,4 kV	118,8 kV	118,2 kV	117,6 kV	117,0 kV	116,3 kV	115,7 kV	115,1 kV	114,4 kV	113,7 kV	113,1 kV	112,4 kV	111,7 kV
Prostějov	117,9 kV	117,5 kV	117,0 kV	116,6 kV	116,1 kV	115,7 kV	115,2 kV	114,7 kV	114,2 kV	113,8 kV	113,3 kV	112,8 kV	112,3 kV
Zdounky	117,0 kV	116,9 kV	116,8 kV	116,7 kV	116,6 kV	116,5 kV	116,4 kV	116,3 kV	116,2 kV	116,1 kV	116,0 kV	115,9 kV	115,8 kV
Zimní stav, zatížení vedení v závislosti na objemu kompenzovaného výkonu													
Název	+ 60 MVar	+ 50 MVar	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar	- 50 MVar	- 60 MVar
5575	59 %	55 %	51 %	48 %	46 %	44 %	43 %	44 %	46 %	48 %	52 %	57 %	62 %
5576	35 %	34 %	34 %	34 %	33 %	33 %	33 %	33 %	34 %	34 %	35 %	35 %	36 %
5577	24 %	24 %	23 %	23 %	23 %	23 %	23 %	24 %	24 %	25 %	26 %	27 %	28 %
5578	25 %	25 %	24 %	24 %	23 %	23 %	23 %	23 %	23 %	24 %	25 %	26 %	27 %
Zimní stav, ztráty činného výkonu na smyčce celkem													
Název	+ 60 MVar	+ 50 MVar	+ 40 MVar	+ 30 MVar	+ 20 MVar	+ 10 MVar	0 MVar	- 10 MVar	- 20 MVar	- 30 MVar	- 40 MVar	- 50 MVar	- 60 MVar
5575	1,0 MW	0,9 MW	0,7 MW	0,7 MW	0,6 MW	0,6 MW	0,5 MW	0,6 MW	0,6 MW	0,7 MW	0,8 MW	0,9 MW	1,1 MW
5576	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW
5577	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW
5578	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW	0,2 MW
celkem	1,5 MW	1,4 MW	1,3 MW	1,2 MW	1,1 MW	1,0 MW	1,0 MW	1,0 MW	1,1 MW	1,2 MW	1,3 MW	1,5 MW	1,7 MW

## 3 Závěr

### ***Zatěžování sítě 110 kV***

Odběr TNS Nezamyslice neovlivňuje negativně napájecí smyčku 110 kV ani při špičkovém odběru. Zatěžování vedení v tomto stavu vykazuje velkou rezervu vůči kapacitě vedení.

Při (N-1) dochází při 15 min maximu 20 MW k nesplnění kritéria (N-1) během několika hodin v roce. U špičkového několikasekundového zatížení 43 MW by při (N-1) bylo rizikových asi 1500 hodin ročně. Vzhledem k úrovni přetížení a velmi krátké době jeho trvání by tento stav měl být provozně zvládnutelný. Při (N-1) bude možnost smyčku 110 kV efektivně odlehčit přesunem odběru rozvodny Prostějov na okolní uzlové oblasti.

### ***Napětí***

Odběr či dodávka činného výkonu včetně špiček způsobuje nízké kolísání napětí v rozmezí od -0,7 % do +0,2 %  $U_n$ .

### ***Flikr***

Trakční odběr svým průběhem není zdrojem flikru. Změny napětí vyvolané kolísáním trakčního odběru jsou poměrně malé.

### ***Vyšší harmonické***

Návrh podoby a řízení sestavy TNS výrobcem je vázán na místní podmínky. Byly stanoveny frekvenčně závislé impedance pro stanovení návrhu měniče.

### ***HDO***

Dle podkladů od dodavatelů frekvenční měniče neprodukují rušivá napětí na frekvenci blízké frekvenci HDO. Zařízení samo o sobě aktivně signál HDO neodsává. Byla stanovena minimální impedance na kmítočtu HDO, kterou musí zařízení splnit.

### ***Zařízení v režimu kompenzace***

Byl prověřen dopad zařízení na napětí při extrémní kompenzaci  $\pm 60$  MVar pro stav zimního měření 17:00 h. Kompenzace je ve většině rozsahu realizovatelná bez vybočení napětí z mezí. Při koordinaci s řízením napětí na předacím místě je možné využít plný regulační rozsah.

