

Studie prověření dopadu přechodu napájení trakce na AC 25 kV
v oblasti vymezené trojúhelníkem Brno–Přerov–Břeclav
na distribuční soustavu E.ON Distribuce a ČEZ Distribuce

II. etapa: Analýzy ostatních úseků v trojúhelníku Brno – Přerov – Břeclav

říjen 2017

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

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

Evidenční čísla smluv: 17021 – 01/17 (16027 – 03/16) (SUDOP Brno, spol. s r.o.)
17 113 (EGÚ Brno, a. s.)

Studie prověření dopadu přechodu napájení trakce na AC 25 kV v oblasti vymezené trojúhelníkem Brno–Přerov–Břeclav na distribuční soustavu E.ON Distribuce a ČEZ Distribuce

II. etapa: Analýzy ostatních úseků v trojúhelníku Brno–Přerov–Břeclav

Zpracovali za zhotovitele: Milan Krátký
Petr Modlitba
a kolektiv sekce 0100

Zpracováno ve spolupráci se zadavatelem

Obsah

1	Úvod	7
2	Výpočty oboustranně napájených jednoduchých úseků bez měničů	8
2.1	Nedakonice – Břeclav	9
2.2	Břeclav – Modřice	10
2.3	Modřice – Černovice	12
2.4	Černovice – Vyškov	13
2.5	Vyškov – Říkovice	15
2.6	Vyškov – Kyjov	16
2.7	Kyjov – Nedakonice	18
3	Výpočet provozu celé oblasti se systémem jednotné fáze bez měničů	19
4	Spolehlivost napájení trakčních napájecích stanic z pohledu DS a PS	25
4.1	Kritéria hodnocení	25
4.2	Hodnocení rozvoden 110 kV příslušejících k TNS	28
5	Zkratové poměry	31
6	Připojení	34
7	Stálost napětí	37
8	Symetrie zatěžování	39
9	Flikr	46
10	Rekuperace	50
11	Meze vyšších harmonických a udržování účinníku	59
12	HDO	59
13	Závěry	60

1 Úvod

Tato studie má za cíl prověřit dopad přechodu napájení trakce na střídavé napětí 25 kV se systémem „jednotné fáze“ v oblasti vymezeném trojúhelníkem Brno – Přerov – Břeclav na distribuční soustavu E.ON Distribuce a ČEZ Distribuce. Přitom je posuzováno napájení trakce při systému jednotné fáze dvěma způsoby: bez použití měničů (přímá jednotná fáze) a s využitím měničů (nepřímá jednotná fáze). Zpracovaná II. etapa řešení analyzuje všechny úseky ve vymezeném trojúhelníku kromě úseku Říkovice – Otrokovice – Nedakonice, který byl analyzován v I. etapě řešení.

II. etapa řešení zahrnuje celou oblast vymezenou trojúhelníkem Brno – Přerov – Břeclav se stávajícími trakčními stanicemi Břeclav, Nedakonice, Otrokovice, Nezamyslice (oblast sítí E.ON Distribuce) a Říkovice (oblast sítí ČEZ Distribuce) a potenciálními novými trakčními stanicemi Černovice, Vyškov, Kyjov (oblast sítí E.ON Distribuce).

Analýzy jsou založeny na simulačních síťových výpočtech provedených pomocí síťových modelů. Veškeré vstupní podklady pro síťové modely a výpočty vycházejí z aktualizovaných podkladů o provozních parametrech distribučních sítí (stav: jaro 2017), jejich zapojení a výkonových bilancí v uzlech distribuční sítě od distribučních společností E.ON Distribuce a ČEZ Distribuce a podkladů o parametrech prvků trakční napájecí soustavy včetně nových prvků od SUDOP.

Výpočty jsou zaměřeny na stanovení propojovacích podmínek z hlediska úhlů napětí v napájecích stanicích 110 kV pro trakci a na očekávané přetoky činného výkonu mezi sousedícími i vzdálenými napájecími trakčními stanicemi s respektováním nového trakčního systému AC 25 kV s jednotnou fází, a to pro různá základní zapojení uzlových oblastí 110 kV.

Dále je provedena analýza zkratových poměrů ve vybraných bodech 110 kV pro napájení trakce. Kromě celkových hodnot zkratů jsou vyhodnoceny také zkratové příspěvky trakčních vedení a poklesy napětí v uzlech 25 kV a 110 kV propojených trakčním vedením.

V závěru práce je řešen dopad budoucího provozu železnice na nesymetrii napětí, kolísání napětí a flicker.

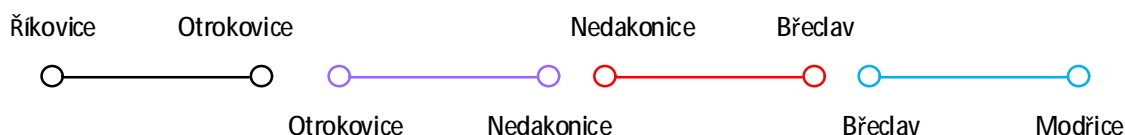
2 Výpočty oboustranně napájených jednoduchých úseků bez měničů

Výpočty byly provedeny pro všechny oboustranně napájené úseky z řešené oblasti. Nebyly řešeny oboustranně napájené úseky, které byly zpracovány v etapě I. (Říkovice – Otrokovice, Otrokovice – Nedakonice).

Výpočet byl proveden vždy pro jeden trakční úsek napájený ze dvou stran, ostatní trakční rozvodny mimo řešený úsek pracovaly izolovaně. Z důvodu přehlednosti a vypovídací hodnoty byl vyhodnocován pouze tok činného výkonu přes trakční úsek naprázdno, pro 8760 bilančních řezů (hodinových hodnot změřených v distribuční síti 110 kV v roce 2015). Činný výkon se v etapě I. ukázal jako klíčová veličina, na základě které je možné posoudit reálnost trvalého provozu vícestranně napájeného úseku. Ostatní veličiny jako jalový výkon, napětí a podobně mají podružný vliv.

Byla provedena sada výpočtů pro základní zapojení, alternativní zapojení na úrovni 110 kV, alternativní změny zapojení transformace PS/110 kV, výpadky ve 110 kV a výpadky v PS. V případě, že některá ze sad výpočtů nemohla zásadně ovlivnit poměry na trakci (s ohledem na charakter sítí v místě), nebyla výpočtetně řešena. V tabulkách jsou sady výpočtů vyhodnoceny jako četnost výskytu toku výkonu přes trakční úsek v hodinách za rok, přičemž s rostoucím počtem hodin výskytu dané velikosti toku výkonu je použito tmavší podbarvení této hodnoty. Toky výkonu přes trakční úsek jsou pro základní zapojení vyhodnoceny také v podobě grafu, jako průběh toku výkonu pro 8760 hodin a jako čára trvání toku výkonu pro 8760 hodin.

Obrázek 2.1 Schematické rozdělení jednotlivých úseků s přímou jednotnou fází



2.1 Nedakonice – Břeclav

Trakční rozvodna Nedakonice je napájena z UO Otrokovice a rozvodna Břeclav z UO Sokolnice, z hlediska spádovosti k PS se při základním zapojení jedná o napájení z rozdílných napěťových hladin PS – z 220 kV a ze 400 kV. Při základním zapojení a při nezátížené trakci dochází ke kolísání toku výkonu přenášeného přes trakční systém v pásmu až 4 MW.

Výpadek vedení V418

Výpadek tohoto vedení přerušuje trasu v systému 400 kV, která je paralelní k řešenému systému trakce. To se projeví velmi výrazným rozšířením pásma, ve kterém se pohybují toky činného výkonu až na 9 MW.

Vyvedení výkonu (výroby) z elektrárny Hodonín směřované proti rozvodně Otrokovice a Sokolnice

Samotná výroba elektrárny Hodonín je velmi proměnná, navíc je sezonně přepojovaná mezi různé uzlové oblasti 110 kV. Toto se výrazně projevuje velikostí přetoků na úrovni 25 kV. Pásmo kolísání toků je přibližně stejné jako v základním zapojení, avšak je výrazně vyoseno vůči nulové hodnotě.

Sokolnice – napájení pouze ze 400 kV

Stav, kdy jsou všechny přípojnice 110 kV v Sokolnicích napájeny transformátorem 400/110 kV. Toto nepřináší zásadní změnu toků přes systém 25 kV vůči základnímu zapojení.

Otrokovice – napájení ze 3 transformátorů 400/110 kV

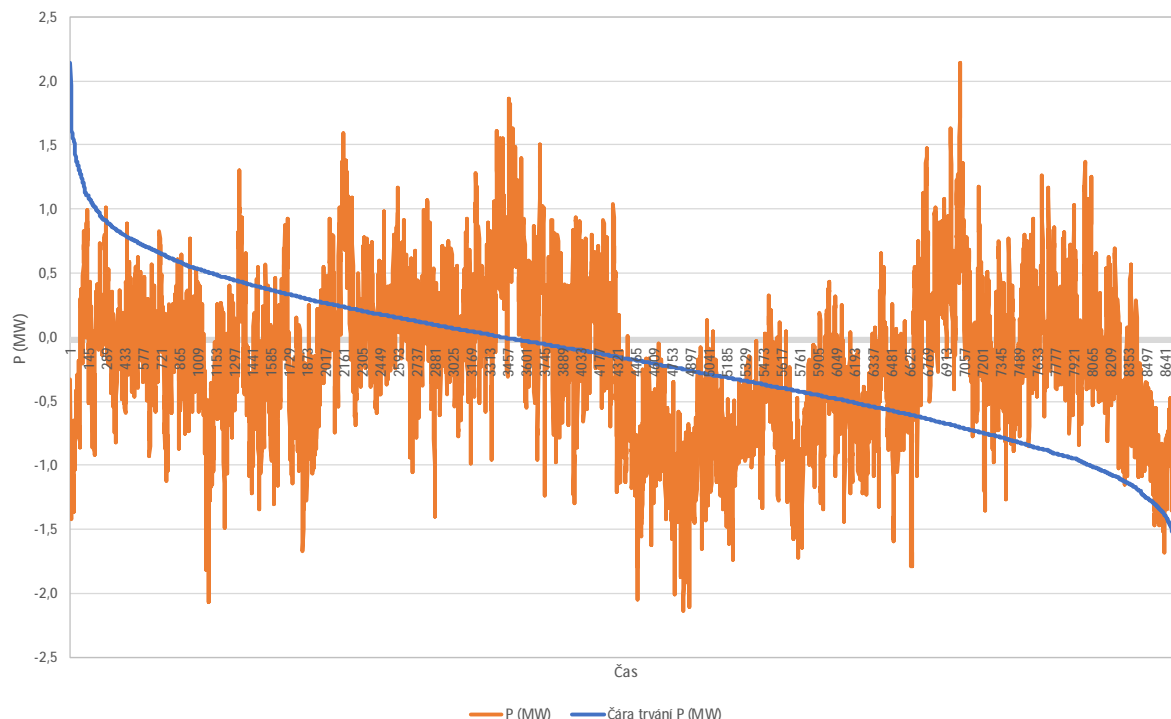
Stav, kdy je výpočetně prověřena situace, při které je rozvodna Otrokovice napájena ze tří paralelně spolupracujících transformátorů 400/110 kV. Toto nepřináší zásadní změnu toků přes systém 25 kV vůči základnímu zapojení.

Výpadek vedení V545, V543

Stav, kdy je výpočetně prověřen současný výpadek dvou vedení 110 kV v oblasti (V545 Kyjov – Otrokovice a V543 Velká n. V. – Uherský Brod) opět vůči základnímu zapojení nedochází k zásadní změně. Výpadky na úrovni PS jsou při tomto způsobu provozu systému 25 kV problematictější.

Tabulka 2.1 Tok výkonu přes paralelní systém Nedakonice – Břeclav

	Základní zapojení	Výpadek V418	Hodonín 80 MW na Sokolnice	Hodonín 80 MW na Otrokovice	Sokolnice ze 400 kV	Otrokovice provoz na 3 trf.	Výpadek vedení V545, V535
-5 MW							
-4 MW		7					
-3 MW		135		135			
-2 MW	7	725		3118	64	82	7
-1 MW	713	1608		4697	2151	3222	509
0 MW	4633	2401	22	797	5166	4755	3982
1 MW	3206	2184	1644	12	1353	686	3862
2 MW	199	1238	5196		25	14	396
3 MW	1	390	1826				3
4 MW		67	71				
5 MW		4					

Obrázek 2.2 Toky výkonu na TNS Nedakonice

2.2 Břeclav – Modřice

Obě trakční rozvodny jsou v současnosti napájeny z rozvodny Sokolnice, která je vybavena dvěma transformátory 220/110 kV a jedním transformátorem 400/110 kV. Trakční rozvodna Břeclav je v základním zapojení napájena z transformátorů 220/110 kV, trakční rozvodna Modřice je napájena z transformátoru 400/110 kV. Napájení z odlišných napětových hladin vyvolává přetoky přes trakční systém, které se pohybují v základním zapojení v pásmu 4 MW.

Napájení z jednoho transformátoru v Sokolnicích

Napájení obou trakčních rozveden je v tomto případě z jedné přípojnice napojené na transformátor 400/110 kV. Toto výrazně zkrátí elektrické vzdálenosti mezi oběma trakčními rozvodnami, kolísání toků výkonů přes trakční vedení je pak výrazně menší a pohybuje se většinou v pásmu 1 MW.

Dodávka 80 MW z elektrárny Hodonín směrem do rozvodny Sokolnice

Výroba elektrárny Hodonín úhlově posouvá poměry na trakční stanici Břeclav, která je poměrně daleko od napájecí rozvodny Sokolnice. Vůči výchozímu stavu se mění směr toků výkonu mezi napáječkami.

Výpadek V515, V535

Současný výpadek vedení V515 Sokolnice – Modřice a V535 Sokolnice – Hodonín patří z hlediska narušení přenosové trasy 110 kV k těm vážnějším. Přesto nedochází k zásadním změnám ve velikosti a směru toků výkonů. Vzhledem k poměrně hustě propojené síti 110 kV by výpadky toho typu měly být provozně zvládnutelné a neměly by způsobovat větší problémy.

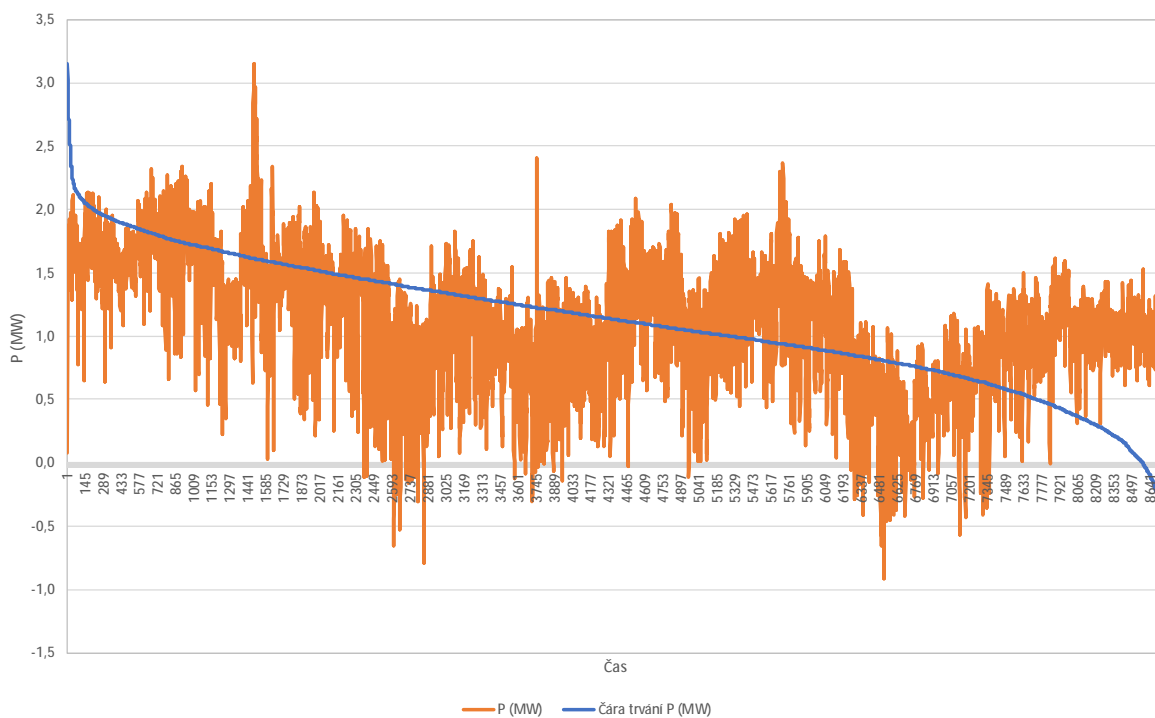
Výpadek transformátoru 400/220 kV Sokolnice

Výpadek tohoto vazebního transformátoru patří k nejzávažnějším výpadkům v PS pro analyzovaný způsob provozu trakčních napájecích stanic. Dochází k velkému nárůstu elektrické vzdálenosti mezi řešenými trakčními stanicemi. Rozsah kolísání toku výkonu přes trakční vedení je pak v pásmu blížícím se 10 MW. Situace je problematická z hlediska nejistot v zahraniční elektrizační síti, blízká vazba 400/220 kV (380 kV/220 kV) je i v Rakousku.

Tabulka 2.2 Tok výkonu přes paralelní systém Břeclav – Modřice

	Základní zapojení	1 trf v SOK	Hodonin 80 MW na Sokolnice	Výpadek V515, V535	Výpadek trf 400/220 kV Sokolnice
-5 MW					
-4 MW					
-3 MW					
-2 MW			129		
-1 MW			2640	1	5
0 MW	183	256	5495	273	45
1 MW	3284	8502	487	3341	387
2 MW	5082	1	8	4882	1265
3 MW	208			260	2769
4 MW	2			2	2836
5 MW					1337
6 MW					89
7 MW					15
8 MW					11

Obrázek 2.3 Toky výkonu na TNS Břeclav



2.3 Modřice – Černovice

V základním zapojení jsou obě rozvodny napájeny z jedné uzlové oblasti, která je napájena přes transformaci 400/110 kV z uzlu 400 kV Sokolnice. Přetoky přes trakční systém jsou v tomto případě minimální, velmi malé je také ovlivnění toků výkonů přes trakční systém během poruch v nadřazených napěťových hladinách distribuční a přenosové soustavy. Možné problémy mohou nastat především při náhradních zapojeních, kdy jsou obě trakční rozvodny napájeny z různých uzlových oblastí spadající pod různé rozvodny PS. Tyto stavy nejsou na území Brna nikterak výjimečné, dochází zde běžně k manipulacím mezi uzlovými oblastmi 110 kV napájených z Čebína a ze Sokolnic.

TT Černovice napájeny z UO Čebín

Přepojení rozvodny Černovice na UO Čebín výrazně zvýší hodnoty přetoků výkonů přes trakční systém. Pokud se při základním zapojení výkon přenášený přes trakční systém pohyboval v pásmu do 1 MW, při tomto zapojení je pásmo až 6 MW.

Výpadky na úrovni 110 kV

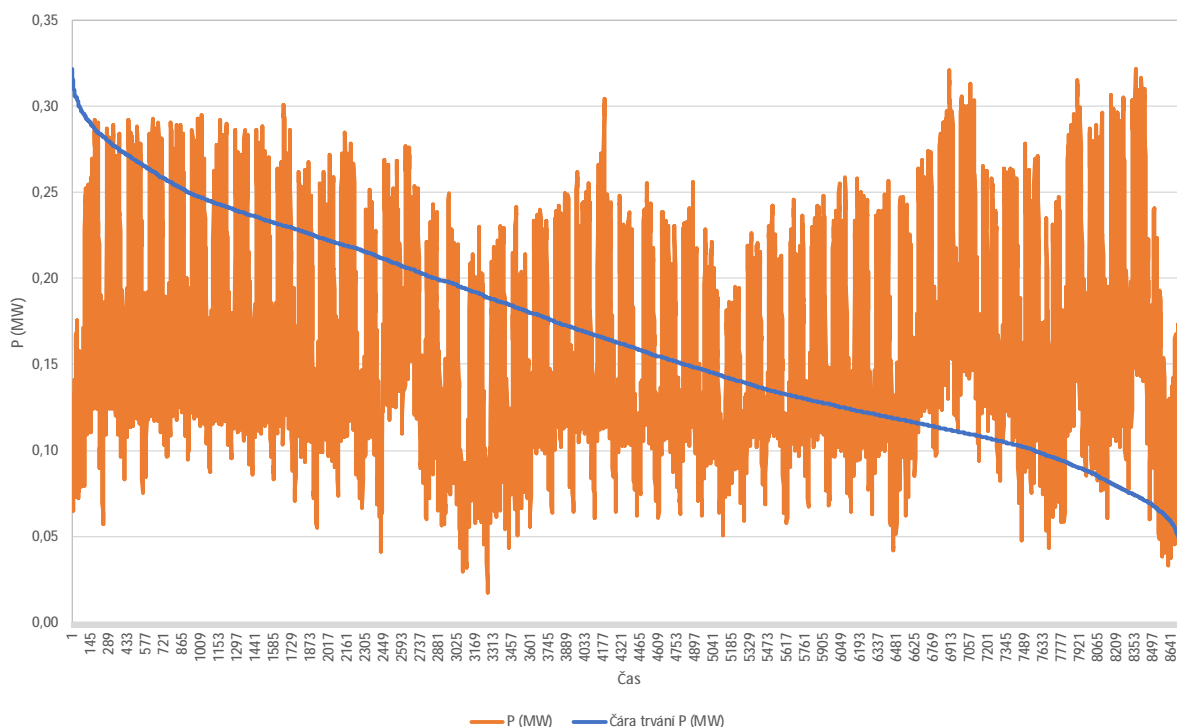
Při současném výpadku V515 Sokolnice – Modřice a V5543 Černovice – Komárov dochází k mírnému zvýšení četností toku činného výkonu přes trakční systém. Převážná většina hodnot je však stále v pásmu kolem 1 MW.

Paralelní provoz Čebín-Sokolnice

V budoucnu se uvažuje o realizaci paralelního provozu přes systém 110 kV, který bude napájen z rozvodu PS Čebín a Sokolnice. Při modelové simulaci tohoto paralelního provozu v kombinaci s vícestranně napájenou trakcí nedochází k výraznějším změnám v četnosti výskytu toků výkonu přes trakční systém. Rozdíly vůči předchozímu stavu jsou dány především změnou elektrických poměrů vyvolaných vznikem vyrovnávacího výkonu mezi rozvodnou Čebín a Sokolnice (110 kV).

Tabulka 2.3 Tok výkonu přes paralelní systém Modřice – Černovice

	Základní zapojení	Černovice napájeny z Čebína	Výpadek V515,V5543	Paralelní provoz CEB-SOK
-5 MW				
-4 MW				
-3 MW				
-2 MW		59		
-1 MW		1093		
0 MW	8759	1493	81	221
1 MW		3196	6947	8538
2 MW		2215	1731	
3 MW		674		
4 MW		29		
5 MW				

Obrázek 2.4 Toky výkonu na TNS Černovice

2.4 Černovice – Vyškov

Obě rozvodny jsou napájeny z rozvodny Sokolnice, u napájení rozvodny Vyškov je poměrně velká variabilita zapojení, může být napájen z UO Sokolnice, a to z UO spadajících pod systém 400 kV nebo 220 kV, nebo z UO Otrokovice nebo výjimečně i z UO Prosenice. V závislosti na aktuálním zapojení se výrazně mění také poměry na řešeném trakčním úseku. V základním zapojení je pásmo přetoků přes trakční systém poměrně nízké, pohybuje se po většinu času do 2 MW.

Výpadek transformátoru 400/220 kV Sokolnice

Výpadek tohoto transformátoru výrazně prodlouží elektrickou trasu mezi oběma trakčními rozvodnami, to se projeví výrazným nárůstem toků výkonu v pásmu až 8 MW s výraznou velikostí přetoku dosahující téže hodnoty.

Napájení obou trakčních rozveden ze společné přípojnice Sokolnice

Při tomto zapojení se výrazně zkrátí elektrická vzdálenost obou rozveden, dochází jen k velmi malým přetokům činného výkonu přes trakční systém.

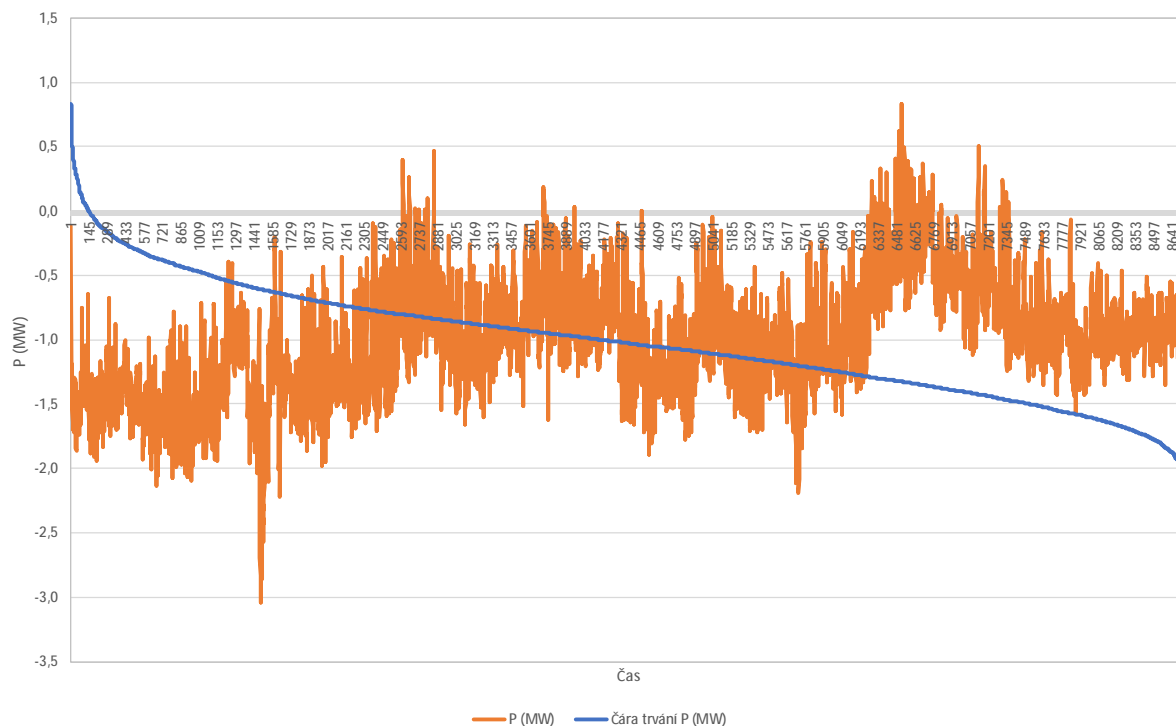
Napájení trakční rozvodny Vyškov z uzlové oblasti Otrokovice

U tohoto způsobu napájení je poměrně velká vzdálenost mezi napájecími rozvodnami PS/DS. Směr mezi Otrokovici a Sokolnicemi je na úrovni PS zatěžován poměrně vysokými tranzitními toky, toto způsobuje zvýšené hodnoty přetoků činného výkonu přes trakční systém. Pásmo, ve kterém se přetoky pohybují je 5 MW.

Tabulka 2.4 Tok výkonu přes paralelní systém Černovice – Vyškov

	Základní zapojení	Výpadek trf 400/220 SOK	Napájení obou rozveden ze společné přípojnice SOK	Vyškov napájen z Otrokovic
-8 MW		157		
-7 MW		1388		
-6 MW		2791		
-5 MW		2744		
-4 MW		1191		
-3 MW	1	442		13
-2 MW	51	42		888
-1 MW	4554	4		3735
0 MW	4010		8755	3157
1 MW	143		4	921
2 MW				45
3 MW				
4 MW				
5 MW				

Obrázek 2.5 Tok výkonu na TNS Černovice



2.5 Vyškov – Říkovice

Každá z těchto rozveden 110 kV je napájena z jiné UO s poměrně vzdálenými napájecími uzly z PS Prosenice a Sokolnice. V základním zapojení jsou obě rozvodny napájeny z UO s vazbou na 220 kV. Vzhledem k velké elektrické vzdálenosti a vzhledem k přenosovým poměrům na úrovni PS, je pásmo přetoků výkonu poměrně velké (5 MW), je dosahováno i poměrně velkých absolutních toků výkonu v jednom směru (4 MW).

Výpadky v přenosové síti 400 kV

Tento typ provozu je velmi citlivý na výpadky v PS, řešeny byly výpadky vedení 400 kV V417 (Sokolnice – Otrokovice) a V418 (Prosenice – Otrokovice). Výpadek jednoho z těchto vedení může znamenat zatížení trakčního systému výkonem až 7 MW.

Napájení rozveden z UO s vazbou na napětřovou hladinu 400 kV

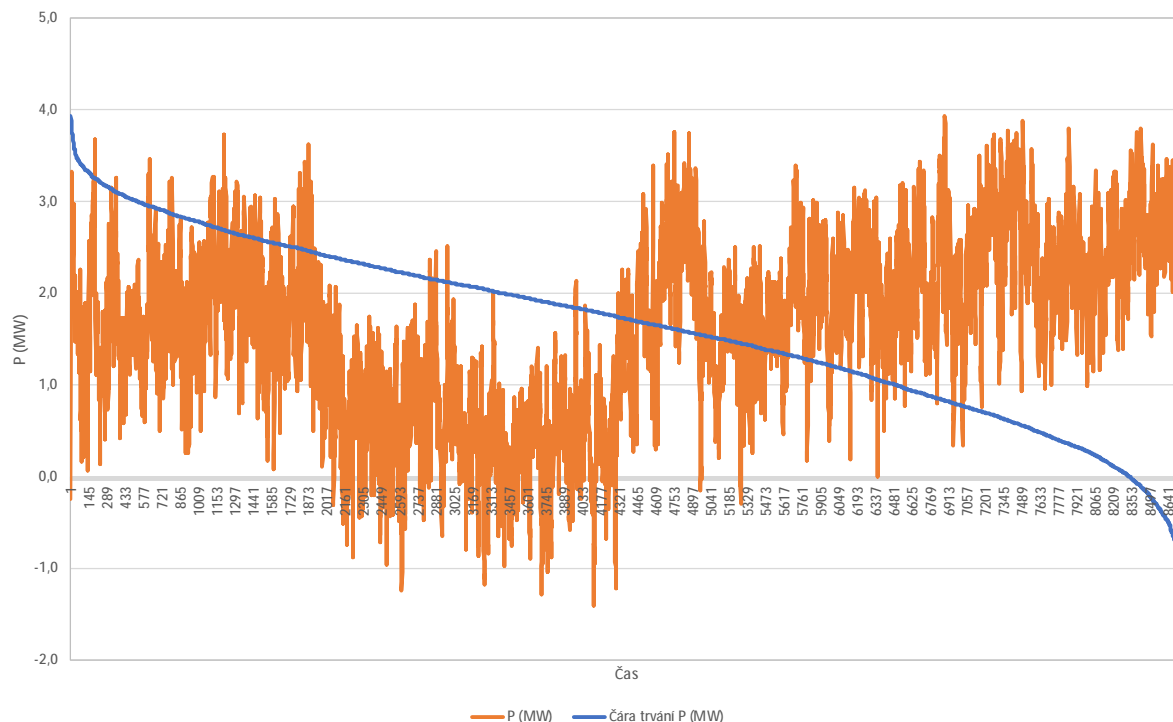
Byla prověřena zapojení, která řeší oblast s napájením některé z trakčních rozveden z UO napájené ze systému 400 kV (rozvodny Prosenice a Sokolnice jsou napájeny z transformace 400/110 kV). Rozdíly nejsou výrazné, pásmo, ve kterém se pohybuje přetok činného výkonu přes trakční soustavu je podobné se základním zapojením.

Výpadek vedení V518

Výpadek vedení 110 kV V518 Sokolnice – Vyškov změní velikost přetoků činného výkonu, ale z hlediska spolehlivosti se tento stav nijak výrazně neliší od základního zapojení.

Tabulka 2.5 Tok výkonu přes paralelní systém Vyškov – Říkovice

	Základní zapojení	Výpadek V418	Výpadek V417	Vyškov ze systému 400 kV	Říkovice ze 400 kV	Obě rozvodny ze systému 400 kV	Výpadek V518
-5 MW							
-4 MW							
-3 MW							
-2 MW		13	1			3	82
-1 MW	15	265	82	84	1	186	3222
0 MW	417	891	426	1260	154	1047	4755
1 MW	1847	1705	1166	2695	1085	2566	686
2 MW	3097	2199	1701	2693	2439	3082	14
3 MW	2869	2153	2171	1692	3291	1700	
4 MW	514	1282	1939	320	1721	175	
5 MW		249	1092	15	68		
6 MW			177				
7 MW			4				

Obrázek 2.6 Toky výkonu na TNS Vyškov

2.6 Vyškov – Kyjov

Každá z rozveden je napájena z jiné uzlové oblasti, Vyškov z UO Sokolnice (220 kV) a Kyjov z UO Otrokovice (400 kV). V základním zapojení jsou přetoky činného výkonu přes trakční systém poměrně malé a pohybují se v pásmu do 2 MW.

Výpadky v přenosové soustavě

Oblast je poměrně citlivá na výpadky vedení v přenosové soustavě, stejně jako v přechozích případech jsou problematické výpadky vedení 400 kV V417, V418 mezi Prosenicemi, Otrokovicemi a Sokolnicemi. Během těchto výpadků může tok přes trakční systém dosahovat až 3 MW. Hodnoty toků výkonu při těchto typech výpadků mají poměrně velký rozptyl (pohybují se v širokém pásmu).

Výpadky vedení 110 kV

Výpadky vedení 110 kV (V519 Bučovice – Vyškov, V545 Kyjov – Otrokovice) nemají výrazné dopady na toky výkonu přes trakční systém, za těchto situací nejsou toky výkonu výrazně odlišné od stavu základního zapojení.

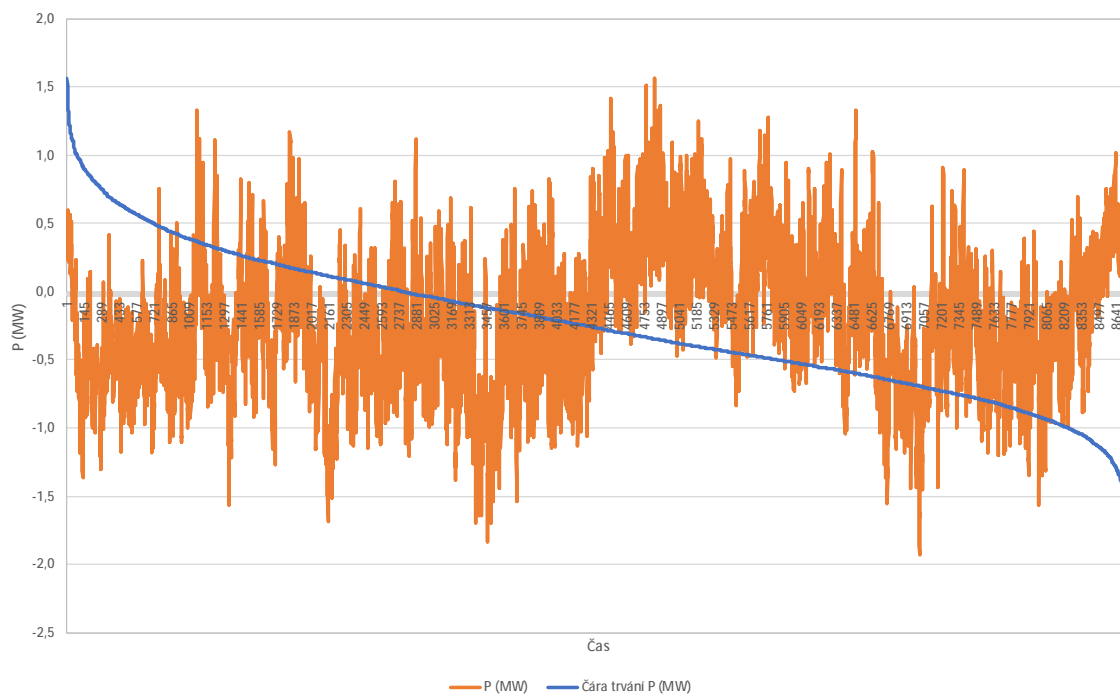
Změny napájení trakčních rozveden změnou vazby na PS

Byla prověřeno napájení rozvodny Vyškov z UO Sokolnice napojené na 400 kV systém. A teoretický provoz UO Otrokovice s paralelně provozovanými transformátory 400/110 kV. Z výsledků je patrné, že žádná z těchto změn nemá zásadní dopad na charakter přetoků přes trakční systém, jedná se o podobné hodnoty, které jsou dosahovány u základního zapojení.

Tabulka 2.6 Tok výkonu přes paralelní systém Vyškov – Kyjov

	Základní zapojení	Výpadek V417	Výpadek V418	Výpadek V519,V545	Vyškov ze 400 kV	Otrokovice provoz na 3 trf.
-5 MW						
-4 MW			1			
-3 MW		41	254			
-2 MW		432	1520	296	64	
-1 MW	518	1720	3485	3934	2151	31
0 MW	5471	2918	3184	3627	5166	2454
1 MW	2688	2479	314	864	1353	5857
2 MW	82	1037	1	38	25	417
3 MW		131				
4 MW		1				
5 MW						

Obrázek 2.7 Toky výkonu na TNS Vyškov



2.7 Kyjov – Nedakonice

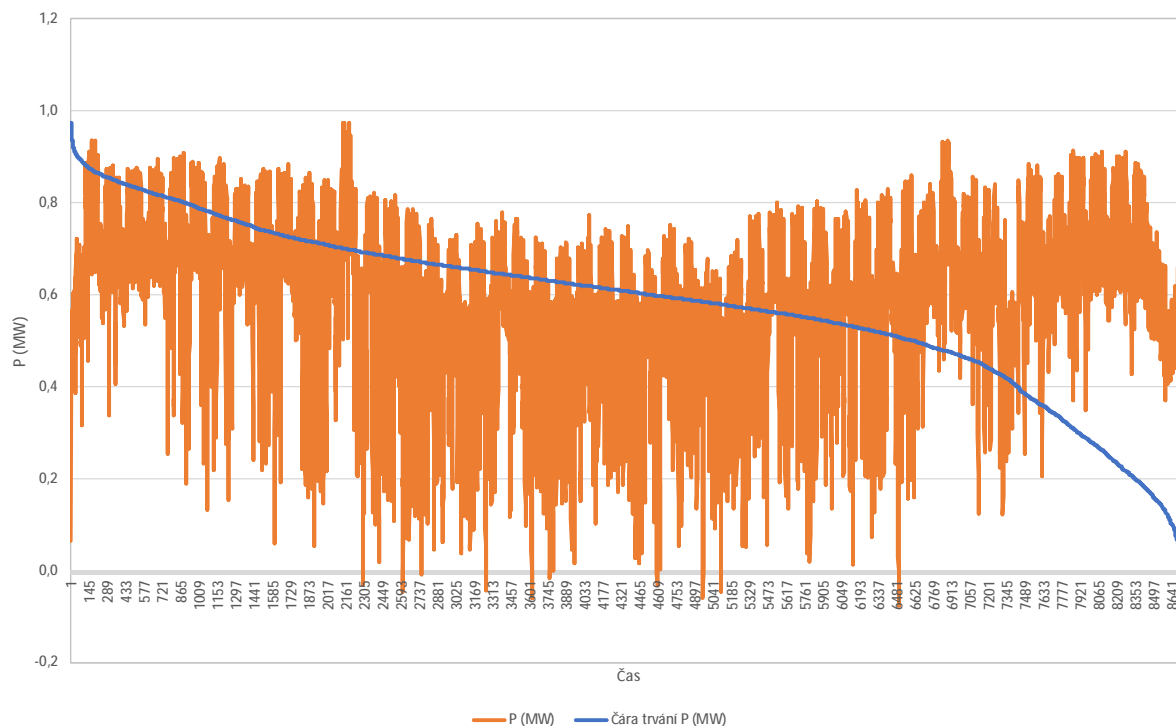
U tohoto typu oboustranně napájené traktce jsou dosahovány poměrně dobré výsledky. Obě rozvodny leží na stejné větvi 110 kV napájené ze stejné rozvodny. V základním zapojení jsou dosahované hodnoty přetoku přes trakční systém do 1 MW.

Vzhledem ke způsobu zapojení na úrovni 110 kV nemají vážnější dopad ani výpadky vedení 110 kV. Ke zvýšení přetoků výkonu by došlo pouze při alternativním zapojením rozvodny Kyjov na Sokolnice.

Tabulka 2.7 Tok výkonu přes paralelní systém Kyjov – Nedakonice

	Základní zapojení	Výpadek V545	Výpadek V545,V546	Kyjov ze Sokolnic
-5 MW				
-4 MW				
-3 MW				
-2 MW				
-1 MW				
0 MW	22	31	213	7
1 MW	8737	1105	8546	216
2 MW		5918		1019
3 MW		1705		2667
4 MW				3497
5 MW				1307
6 MW				46

Obrázek 2.8 Toky výkonu na TNS Kyjov



3 Výpočet provozu celé oblasti se systémem jednotné fáze bez měničů

Výpočetně byl simulován stav, kde všechny napájecí trakční stanice pracovaly do galvanicky propojeného systému trakčních vedení v celé oblasti. V oblasti byl tedy simulován systém přímé jednotné fáze s paralelním provozem 8 napáječek. Trakční vedení byla modelována jako přímá propojení mezi napáječkami (nebyly modelovány více Kolejné nádraží a podobně). Trakční vedení z rozvodny Kyjov byla zjednodušeně modelována s napojením přímo do Vyškova a do Nedakonic.

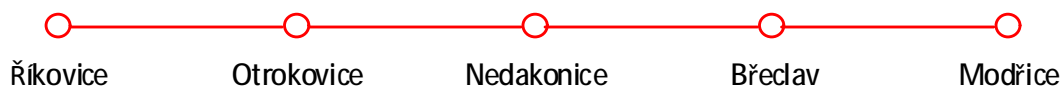
Vyhodnoceno je zatížení jednotlivých napáječek ve stavu bez zatížení (stejně jako v předchozích stavech). Trakčním vedením se uzavírají pouze toky, které jsou vyvolány poměry v nadřazené síti.

Tabulka 3.1 Toky výkonu na jednotlivých napáječkách při jejich galvanickém propojení trakčním vedením

Rozsah		Trakční transformátory							
		T_TTBRE	T_TTCER	T_TTKVJ	T_TTMD1	T_TTMD2	T_TTNED	T_TTOTR	T_TTRIK
Čelnosti toků po transformaci (hodin za rok)	-8 MW -9 MW								
	-7 MW -8 MW								
	-6 MW -7 MW								8
	-5 MW -6 MW								132
	-4 MW -5 MW						4	576	
	-3 MW -4 MW						635	1467	
	-2 MW -3 MW		86	2			4535	2019	
	-1 MW -2 MW	7	3131	26	1680	1680	35	3390	1816
	0 MW -1 MW	385	4416	481	6817	6817	722	195	1719
	1 MW 0 MW	2870	1077	1134	262	262	2665		753
	2 MW 1 MW	4493	49	3197			4008		222
	3 MW 2 MW	990		3087			1289		43
	4 MW 3 MW	14		823			40		4
	5 MW 4 MW			9					
	6 MW 5 MW								
	7 MW 6 MW								
	8 MW 7 MW								

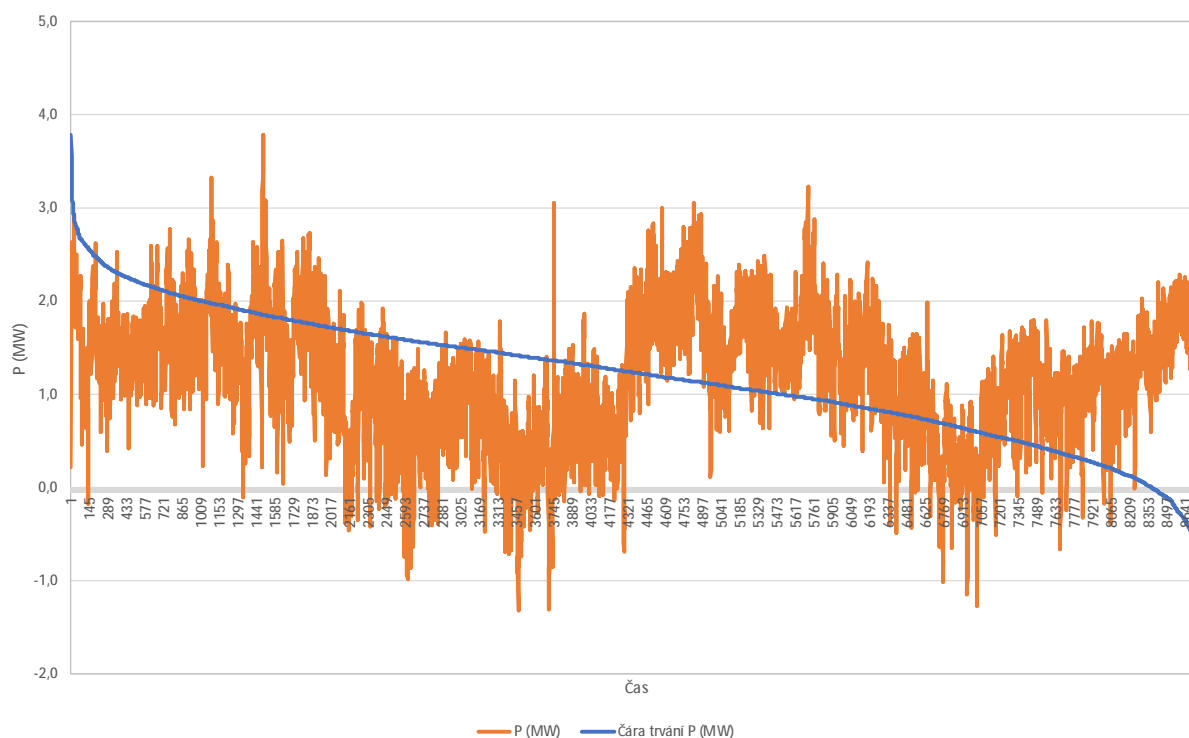
Tabulka 3.2 Úhly napětí mezi trakčními rozvodnami 110 kV při paralelním propojení systémem 25 kV

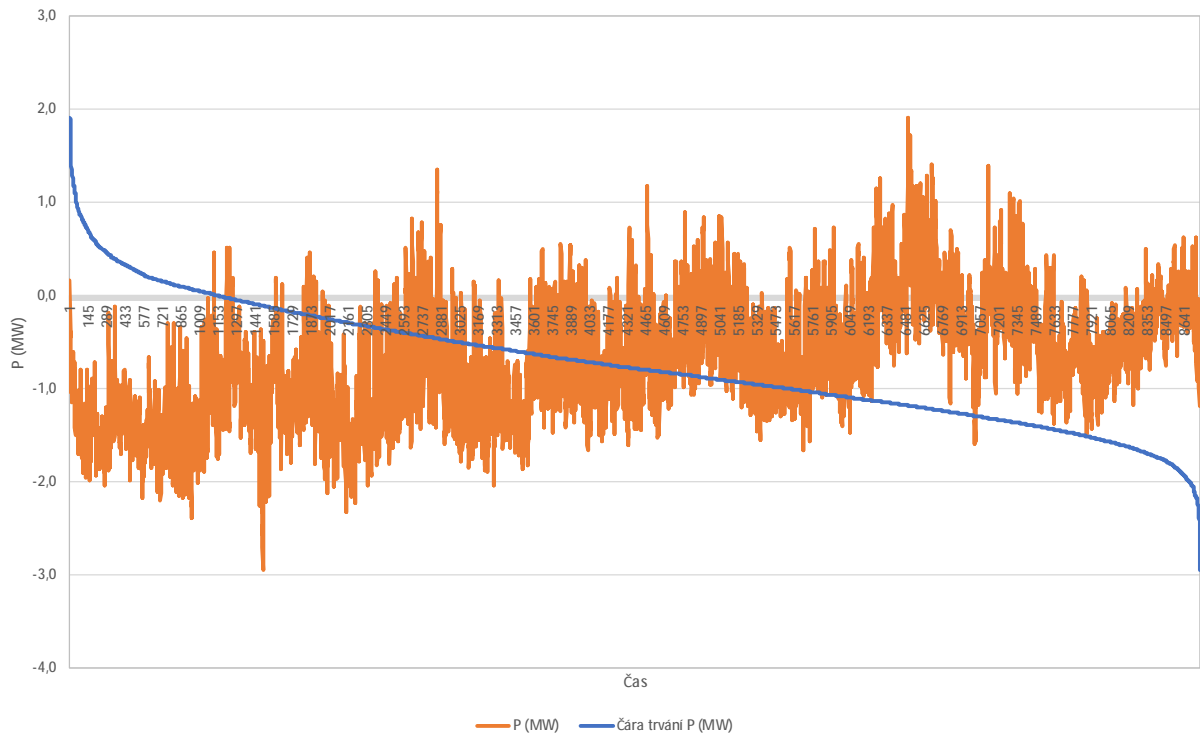
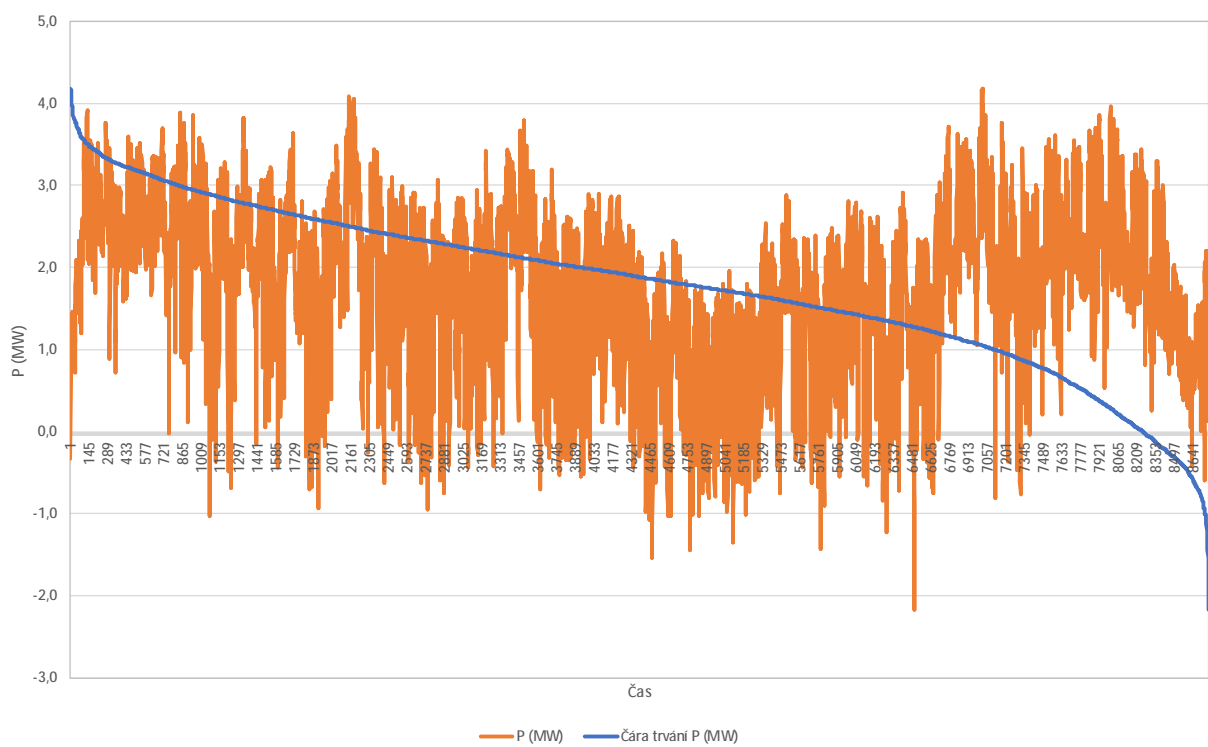
Rozsah		Úhly napětí mezi trakčními rozvodnami 110 kV při paralelním provozu systému 25 kV							
		Řikovice - Otrokovice	Otrokovice - Nedakonice	Nedakonice - Břeclav	Břeclav - Modřice	Modřice - Černovice	Černovice - Vyškov	Vyškov - Řikovice	Černovice - Kyjov
Čelnosti úhlů mezi stanicemi 110 kV	-8° -9°								
	-7° -8°								
	-6° -7°							3	
	-5° -6°				7			194	
	-4° -5°			1	25			1086	1
	-3° -4°			35	827			1936	5
	-2° -3°	34		189	3086			2072	22
	-1° -2°	1901		1009	3364		14	1614	184
	0° -1°	4538	51	2529	1218		206	1209	472
	1° 0°	2089	486	2791	216	8760	1561	501	1037
	2° 1°	198	1376	1731	17		4206	133	1727
	3° 2°		3775	443			2580	12	2268
	4° 3°		2236	32			174		1916
	5° 4°		814				18		976
	6° 5°		22				1		147
	7° 6°								5
	8° 7°								

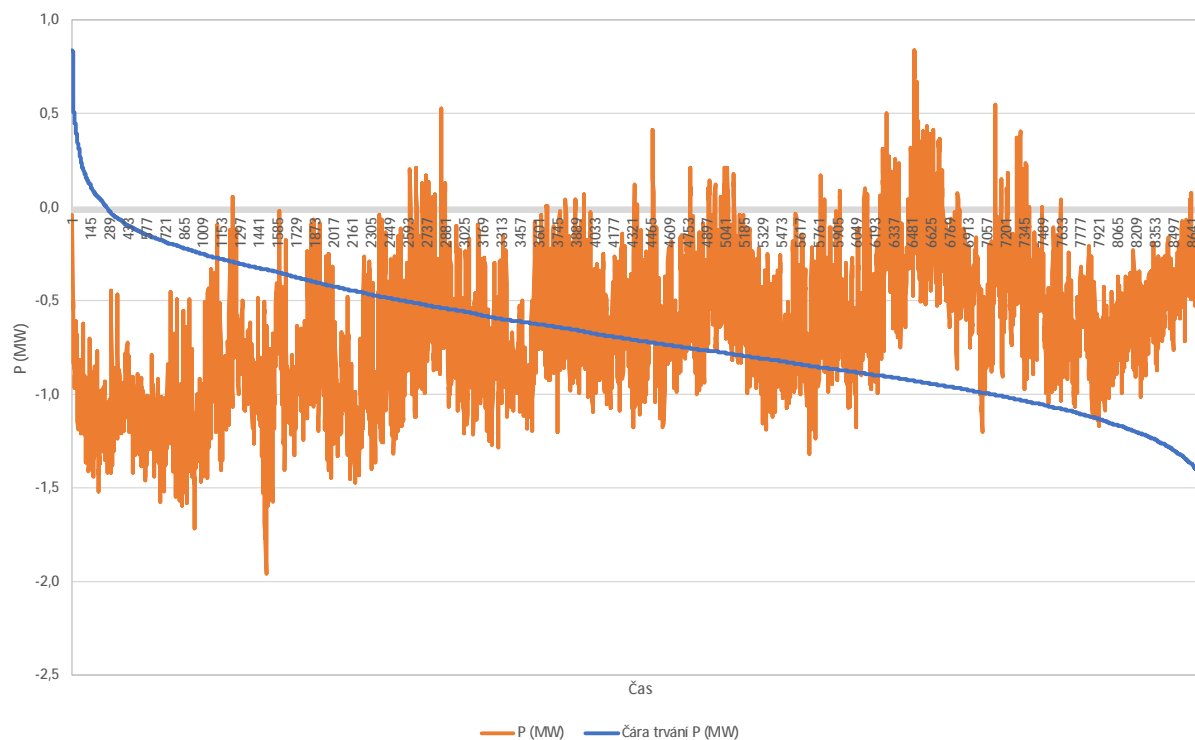
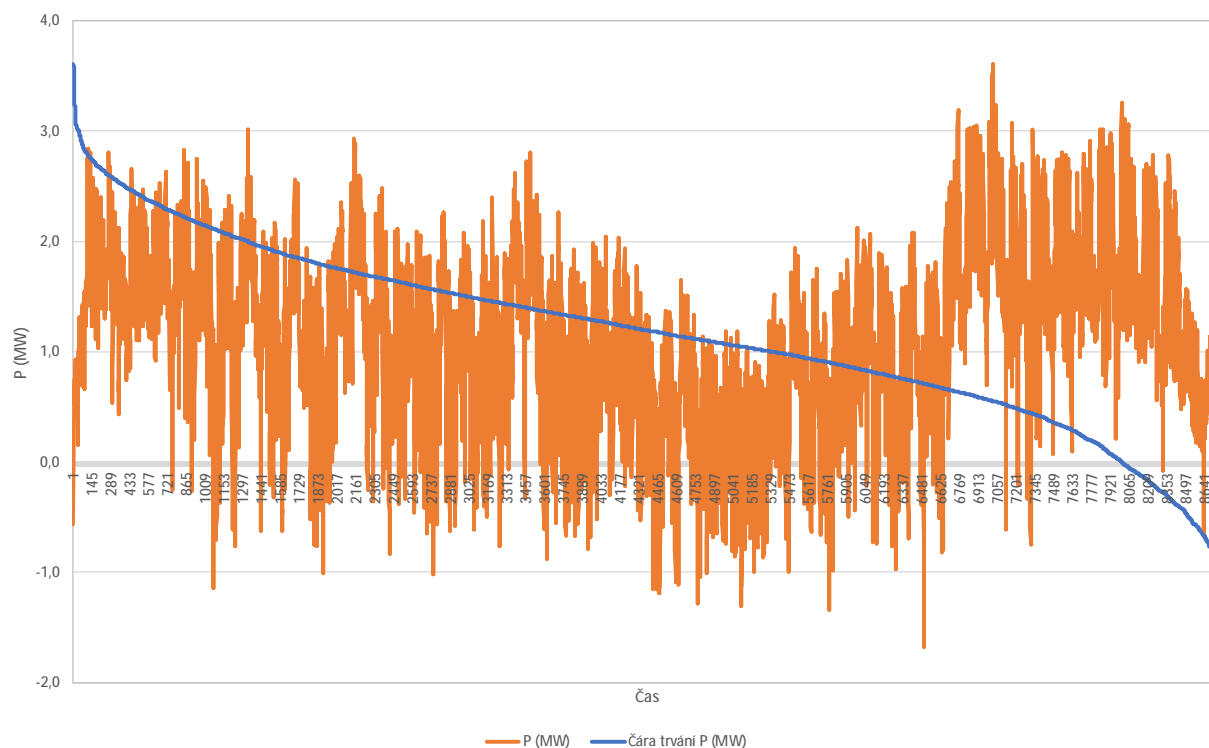
Obrázek 3.1 Schematické znázornění části úseku s přímou jednotnou fází

Z tabulky uvádějící četnost výskytů toků výkonů je zřejmé, že celý takto provozovaný systém je zatížen velmi vysokými přetoky činného výkonu, které jsou vyvolané poměry v nadřazené soustavě. Kvůli efektu superpozice je u dílčích transformačních stanic dosahováno vyšších hodnot toků výkonu, než tomu bylo u řešení dílčích oboustranně napájených úseků. Hodnoty toků výkonů přes trakční transformátory dosahují tak vysokých hodnot, že nemohou být přijatelné pro PDS. Stanic s nižšími hodnotami je pouze stanice Modřice, hodnoty jsou nižší pouze opticky, protože se tok výkonu dělí na dva transformátory v oblasti.

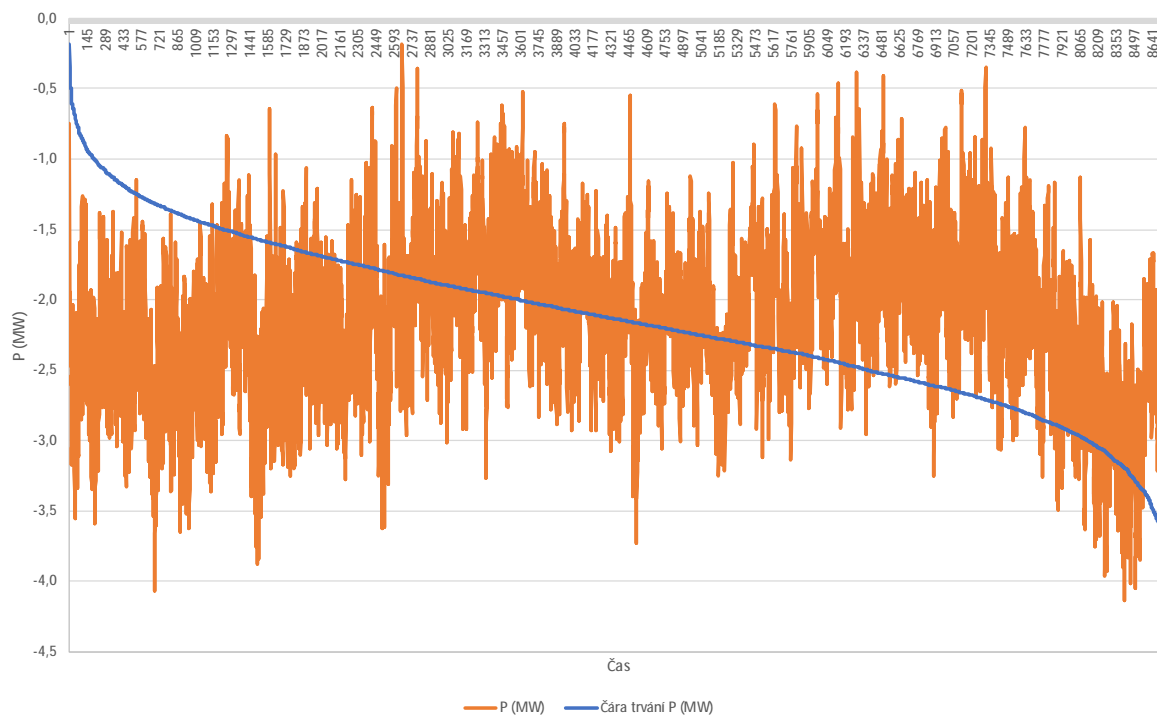
Na následujících grafech je zachycen roční průběh zatížení TNS činným výkonem naprázdno. Hodnoty jsou uvedeny pro základní zapojení přenosové a distribuční soustavy a ukazují toky výkonu pro stav naprázdno.

Obrázek 3.2 Toky výkonu na TNS Břeclav

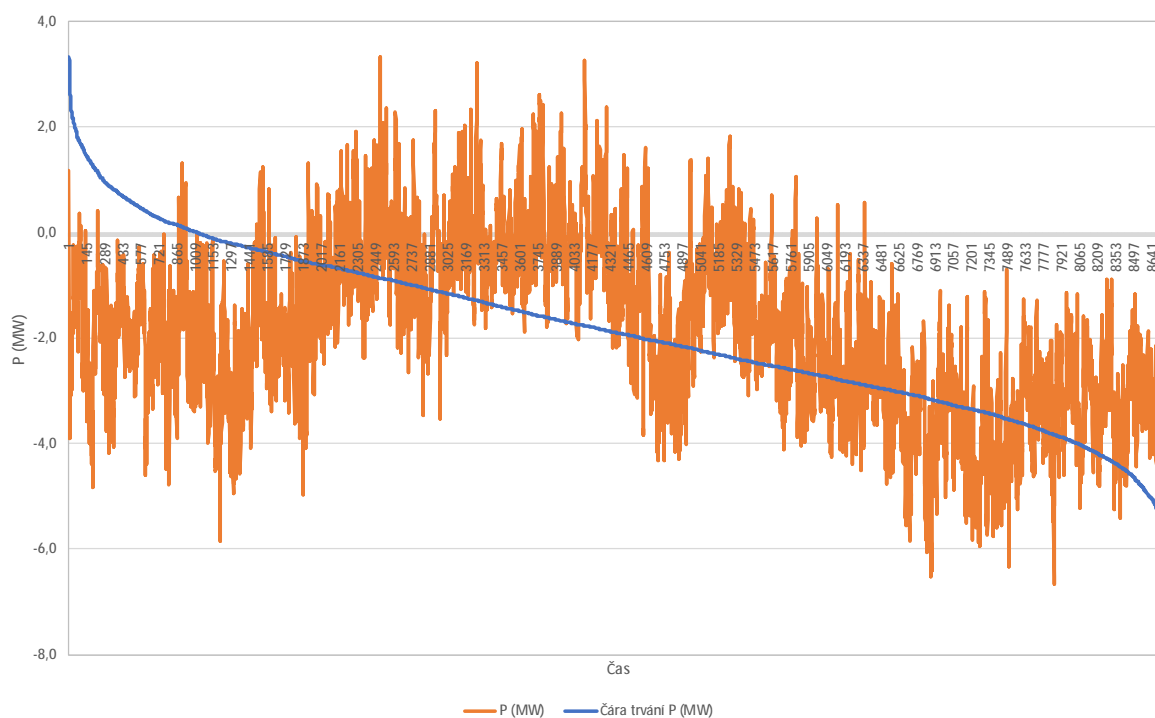
Obrázek 3.3 Toky výkonu na TNS Černovice**Obrázek 3.4 Toky výkonu na TNS Kyjov**

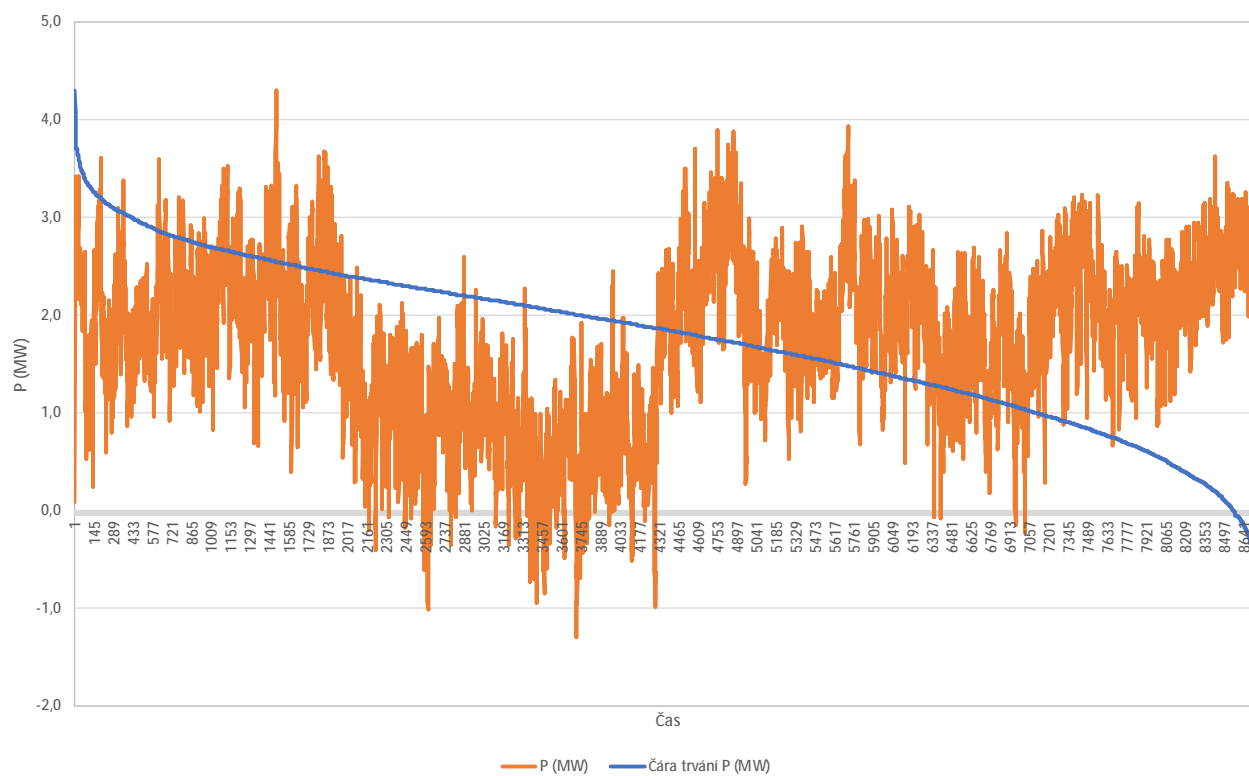
Obrázek 3.5 Toky výkonu na TNS Modřice T1**Obrázek 3.6 Toky výkonu na TNS Nedakonice**

Obrázek 3.7 Toky výkonu na TNS Otrokovice



Obrázek 3.8 Toky výkonu na TNS Říkovice



Obrázek 3.9 Toky výkonu na TNS Vyškov

3 body – Napojení na síť více jak dvěma vedeními. Jedná se o vysokou spolehlivost napojení.



Možnost zálohování přes systém 110 kV

Při tomto hodnocení je posuzována schopnost napájet rozvodnu přes vedení 110 kV, která jsou v náhradním zapojení připojena do sousední uzlové oblasti, která je napájena ze uzlové oblasti napájené z jiné rozvodny PS.

1 bod – Zásobování ze sousedních UO je problematické, je nutno přepojit velkou oblast, trakční rozvodna je ve velké vzdálenosti od možnosti napojení na sousední UO.

2 body – Zásobování ze sousední UO je standardně možné jedním způsobem.

3 body – Je široká variabilita možností náhradního napájení ze sousedních UO minimálně ze dvou dalších UO.

Spolehlivost napájecího uzlu PS z hlediska počtu vedení PS

1 bod – Do rozvodny PS jsou zaústěna pouze 2 vedení PS. (příklad rozvodna Otrokovice)



2 body – Do rozvodny PS jsou zaústěna více jak 2 vedení PS. (příklad rozvodna Čebín)



3 body – Do rozvodny PS jsou zaústěna více jak 2 vedení PS, rozvodna má možnost napájení ze dvou napěťových hladin. (příklad rozvodna Prosenice)

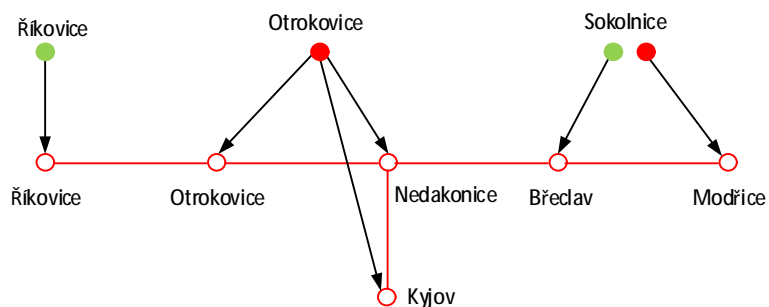


Spolehlivost transformační vazby PS/ 110 kV

Bodově je ohodnocen počet transformátorů PS/110 kV. V PS ČEPS bývá standardně rozvodna vybavena 2 až 3 transformátory.

Spolehlivost z hlediska shodného napájecího uzlu PS pro trakční napájecí stanice

Dle řešeného zapojení trakčního systému je hodnocen počet sousedních trakčních stanic, které mají shodnou napájecí rozvodnu 110 kV s vazbou na PS. Při ztrátě napájení rozvodny PS tedy dojde k okamžitému přerušení napájení více sousedních trakčních stanic. Až poté bude realizováno náhradní napájení z úrovně DS. Bodové hodnocení udává počet sousedních stanic, které mají shodnou napájecí rozvodnu a počet sousedních stanic které mají rozdílnou napájecí rozvodnu.



4.2 Hodnocení rozvoden 110 kV příslušejících k TNS

Říkovice

Rozvodna má napojení na systém 110 kV prostřednictvím dvojitého T napojení. Z místa napojení do soustavy jsou 4 vedení 110 kV. 2 vedení 110 kV jsou využívána pro napájení z uzlové oblasti Prosenice, dvě vedení tvoří záložní propojení směrem na Otrokovice. V případě výpadku rozvodny Prosenice je možné trakční rozvodnu napájet z rozvodny Otrokovice, případně z rozvodny Kletné či Krasíkov. Systém zálohování na úrovni 110 kV je u této rozvodny velmi dobrý.

Přenosová soustava v oblasti je velmi silná, v rozvodně Prosenice jsou obě přenosová napětí (400 kV a 220 kV), vazební transformátor mezi těmito napětími a více jak 5 přenosových vedení. Vazba na DS je v současnosti realizována ze 3 transformátorů 1x 400/110 kV a 2x 220/110 kV.

Při uvažovaném zapojení trakčního systému nemá rozvodna Říkovice sousední rozvodnu, která je napájena ze stejné uzlové oblasti. Trakční rozvodna Otrokovice je napájena z uzlové oblasti Otrokovice a rozvodna Vyškov je napájena z uzlové oblasti Sokolnice.

Rozvodna Říkovice má velmi vysokou spolehlivost (z řešené oblasti nejvyšší), z hlediska napájení z nadřazených napěťových hladin.

Otrokovice

Rozvodna má napojení na systém 110 kV prostřednictvím smyčky 110 kV. Rozvodna je na poměrně krátké smyčce vedení 110 kV do UO Otrokovice a je napojena dvěma vedeními 110 kV. Záložní napájení z jiné UO 110 kV není přímo možné, při záložním napájení této rozvodny by bylo nutné přivést napětí z jiné UO až na přípojnice rozvodny Otrokovice.

Přenosová soustava má v současnosti přivedené do rozvodny pouze 2 vedení 400 kV, ty jsou navíc v části úseku vedeny jako dvojité vedení na jenom podpěrném bodu. Ztráta jednoho podpěrného bodu na tomto úseku znamená přerušení napájení celé rozvodny. Do budoucna se plánuje posílení a do rozvodny Otrokovice by měly být dovedeny 4 vedení 400 kV. Vazba na DS je dobrá, v rozvodně jsou tři transformátory 400 /110 kV.

Situace je nepříznivá i z hlediska zálohování sousedních trakčních stanic. Ze stejné rozvodny 400 kV jsou napájeny rozvodny Kyjov a Nedakonice, z jiné UO je napájena pouze trakční rozvodna Říkovice.

Rozvodna Otrokovice má v současnosti nejmenší spolehlivost z hlediska zásobování z nadřazených napěťových hladin.

Nedakonice

Rozvodna je na systém 110 kV napojena prostřednictvím smyčky 110 kV. Na systém je napojena dvěma nezávislými vedeními 110 kV. V případě ztráty napájecího bodu Otrokovice je možné relativně dobré napájení na uzlovou oblast Slavětice.

Z hlediska spolehlivosti napájení ze systému 400 kV a vazby na systém 110 kV platí pro tuto rozvodnu stejné hodnocení jako pro rozvodnu Otrokovice.

Nedakonice jsou napájeny ze stejné UO jako rozvodny Otrokovice a Kyjov, z jiné oblasti je napájena pouze sousední stanice Břeclav.

Břeclav

Rozvodna má napojení na systém 110 kV prostřednictvím dvojitého T napojení. Má velmi dobré navazující napojení na vedení 110 kV, je napojena na dvojitou smyčku 110 kV do rozvodny Sokolnice. Záložní napájení je možné přes rozvodnu Hodonín směrem na UO Otrokovice.

Napájení PS je velmi robustní, rozvodna Sokolnice má napětí 400 a 220 kV a vzájemnou vazbu mezi nimi. Do PS je napojena více jak pěti vedeními. Vazba na distribuci je jeden transformátor 400/110 kV a dva transformátory 220/110 kV. V základním zapojení je rozvodna Břeclav napájena z vazby na 220 kV.

Sousední trakční rozvodny Kyjov a Nedakonice mají napájení z jiné UO, naopak sousední rozvodna Modřice je napájena také ze Sokolnic, i když ta je v základním zapojení napájena z vazby na systém 400 kV.

Modřice

Rozvodna je na systém 110 kV napojená smyčkou 110 kV. Je napojena na dvě vedení 110 kV, jedno z nich je zaústěno přímo do napájecí rozvodny Sokolnice. Zálohování na úrovni 110 kV je řešeno, stejně jako zálohování celého Brna, přepnutím celé oblasti na rozvodu Čebín.

Hodnocení napájení z PS je shodné jako u rozvodny Břeclav, rozvodna Modřice je pouze napájena v základním zapojení z vazby na systém 400 kV.

Sousední trakční rozvodny jsou napájeny všechny z rozvodny Sokolnice. Při ztrátě napájení 400 kV části rozvodny Sokolnice dojde v základním zapojení k výpadku trakční rozvodny Modřice a Černovice. Při určitých zapojeních na úrovni DS je možné, že výpadek rozvodny v Sokolnicích vyřadí současně trakční rozvodny Břeclav, Modřice, Černovice a Vyškov. Jednalo by se o krátkodobý výpadek s trváním do doby, kdy dojde k přepnutí rozvodu na okolní uzlové oblasti.

Černovice

Rozvodna je na systém 110 kV napojená smyčkou 110 kV. Je napojena na dvě vedení 110 kV, jedno z nich je zaústěno přímo do napájecí rozvodny Sokolnice. Zálohování na úrovni 110 kV je řešeno, stejně jako zálohování celého Brna, přepnutím celé oblasti na rozvodnu Čebín.

Hodnocení napájení z PS je shodné jako u rozvodny Modřice.

Sousední rozvodna Modřice a Vyškov je napájena ze stejné rozvodny a uzlové oblasti, Modřice a Černovice jsou napájeny ze stejné uzlové oblasti, u Vyškova se může zapojení měnit. Sousední rozvodna Kyjov je napájena z Otrokovice.

Vyškov

Rozvodna je na systém 110 kV napojená smyčkou 110 kV. V současnosti je běžně provozována na jednom radiálním vedení 110 kV do Sokolnic, druhé vedení slouží jako záloha pro napájení z jiné oblasti. Ve výstavbě je druhé vedení, které umožní rozvodnu Vyškov napájet trvale ze dvou stran. Rozvodna Vyškov je při zálohování dobře připojitelná na UO Otrokovice, technicky je také možné přepojení až na UO Prosenice.

Hodnocení napájení z PS je shodné jako u rozvodny Modřice, Černovice, Břeclav (všechny tyto rozvodny jsou napájeny ze Sokolnic).

Sousední trakční rozvodna Černovice je napájena ze stejné rozvodny (Sokolnice), rozvodny Kyjov a Říkovice jsou napájeny z rozvodu s jinou vazbou na PS.

Kyjov

Rozvodna je na systém 110 kV napojena jednou smyčkou 110 kV a jedním radiálním vedením 110 kV (záložní). V základním zapojení je napájena z UO Otrokovice. Do rozvodny jsou tedy zaústěna 3 vedení 110 kV. Rozvodna má dobré možnosti zálohování vůči rozvodně Sokolnice.

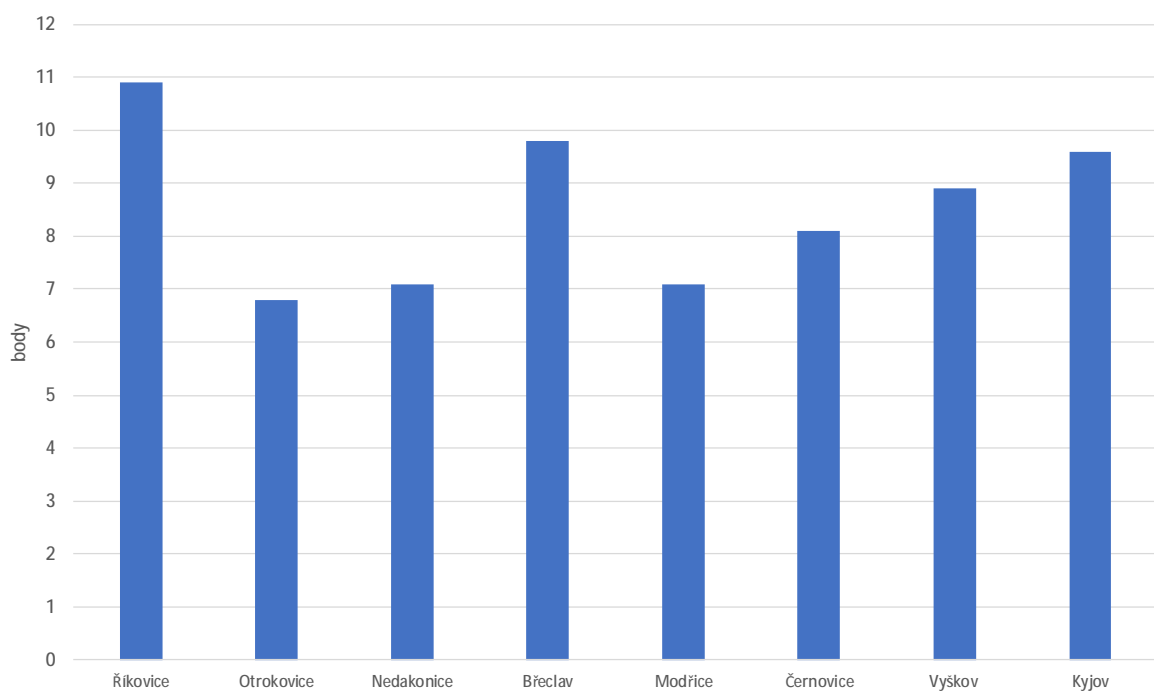
Z hlediska spolehlivosti napájení ze systému 400 kV a vazby na systém 110 kV platí pro tuto rozvodnu stejné hodnocení jako pro rozvodnu Otrokovice a Nedakonice.

Kyjov je napájen ze stejné rozvodny s vazbou na PS jako sousední trakční rozvodna Otrokovice, další rozvodny Vyškov a Břeclav jsou napájeny z jiné uzlové oblasti.

Tabulka 4.1 Bodové hodnocení spolehlivosti a možnosti záložního napájení TNS

Rozvodna		Váha	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyskov	Kyjov
1.	Spolehlivost vedení systému 110 kV		1	3	2	2	3	2	2	3
2.	Možnost záložního napájení z jiné UO PS/110 kV		0,8	3	1	2	1	2	2	3
3.	Spolehlivost napájecího uzlu PS z hlediska vedení PS		0,5	3	1	1	3	3	3	1
4.	Spolehlivost vazby PS / 110 kV		1	3	3	3	3	3	3	3
5.	Spolehlivost z hlediska shodného napájení s okolními trakčními stanicemi.	Společné napájení	-0,5	0	1	2	1	2	2	1
Různé napájení		1	1	1	1	2	0	1	1	2
Bodů celkem*		-	10,9	6,8	7,1	9,8	7,1	8,1	8,9	9,6

Obr. 4.1 Celkové bodové hodnocení spolehlivosti napájení trakčních rozvodů z hlediska poměrů v nadřazené síti



5 Zkratové poměry

Výpočty zkratových poměrů byly provedeny pro případ provozu trakce s přímým propojením (systémem přímé jednotné fáze) současně u celé řešené oblasti. Jednalo se tedy opět o současnou vzájemnou spolupráci osmi trakčních napájecích stanic 25 kV. Zkratové poměry u dvoustraně napájených úseků nebyly řešeny. Výsledky by byly typově prakticky shodné s úseky Říkovice – Otrokovice a Otrokovice – Nedakonice.

Výsledkem výpočtů jsou hodnoty počátečních rázových zkratových proudů na přípojnících 25 kV v trakční rozvodně, a zkratové proudy při zkratu na dvou fázích rozvodny 110 kV napájecích trakční obvod, přičemž zkrat je vždy na stejných fázích, na které je napojen trakční transformátor.

Vyhodnocováno je i napětí zkratem postižených fází, jedná se o napětí, které odpovídá situaci v síti po poklesech napětí vyvolanými průchodem počátečního rázového zkratového proudu. Cílem vyhodnocení napětí během zkratů je prokázat či neprokázat vliv závlků nízkého napětí na okolní trakční stanice, potažmo až na rozvodny 110 kV.

Vyhodnocení je provedeno vždy pro konkrétní místo zkratu včetně vyhodnocení dopadu na jeho okolí. Vyhodnoceny jsou hodnoty zkratových proudů v místě zkratu a velikosti zkratového proudu, které se uzavírají přes jednotlivé trakční transformátory.

V následujících tabulkách je pro názornost využito podbarvení dosažených hodnot, přičemž platí: čím vyšší hodnota, tím tmavší podbarvení.

Tabulka 5.1 Zkraty na přípojnících 25 kV

Místo zkratu a zkratový proud v rozvodně (kA)	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyškov	Kyjov
	7,3	6,8	6,0	3,8	6,4	5,8	4,5	4,5
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Říkovice	3,8	2,0	1,0	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Otrokovice	1,3	2,2	1,1	0,2	0,1	0,2	0,4	0,4
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Nedakonice	0,6	1,1	1,9	0,3	0,2	0,2	0,6	0,6
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Břeclav	0,2	0,3	0,5	1,9	0,5	0,3	0,3	0,3
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Modřice 1	0,1	0,1	0,2	0,3	2,0	0,8	0,2	0,2
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Modřice 2	0,1	0,1	0,2	0,3	2,0	0,8	0,2	0,2
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Černovice	0,3	0,2	0,3	0,2	1,1	2,6	0,4	0,4
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Vyškov	0,8	0,5	0,3	0,0	0,2	0,4	0,2	0,2
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Kyjov	0,3	0,5	0,8	0,3	0,2	0,4	2,0	2,0

Největších hodnot zkratů je dosahováno u rozveden s velkým jmenovitým výkonem transformátorů (Říkovice 25 MVA, Modřice 2x12,5 MVA, Černovice 16 MVA), na výši zkratových proudů se také výrazněji projevuje vzájemná blízkost rozveden (Říkovice, Otrokovice, Nedakonice nebo Modřice, Černovice). Naopak nízké zkratové proudy jsou dosahovány u rozveden s velkou vzdáleností od sousedních trakčních rozveden (Břeclav, Vyškov, Kyjov). Nejvyšší dosažená hodnota při zkratu na přípojnících je u Říkovic (7,3 kA).

Tabulka 5.2 Napětí na přípojnících 25 kV při zkratech na úrovni 25 kV

Zkrat na přípojnici 25 kV v rozvodně	bez zkratu	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyškov	Kyjov
Rozvondá	Jmenovité napětí	Napětí v rozvodně při zkratu (kV)							
Říkovice	25 kV	26,1	0,0	12,5	19,4	24,9	25,0	24,4	19,6
Otrokovice	25 kV	26,1	11,3	0,0	13,4	24,0	25,0	24,6	22,3
Nedakonice	25 kV	26,2	17,7	11,6	0,0	21,9	24,3	24,0	23,4
Břeclav	25 kV	26,0	23,5	22,1	19,3	0,0	18,8	22,2	24,3
Modřice	25 kV	26,2	24,9	25,0	24,5	22,0	0,0	14,1	24,0
Černovice	25 kV	26,1	23,9	24,3	23,9	23,7	12,6	0,0	21,6
Vyškov	25 kV	26,0	15,4	20,2	22,4	24,6	22,9	20,2	0,0
Kyjov	25 kV	26,2	21,6	19,2	14,1	22,5	23,2	21,7	22,9

U poklesů napětí během zkratu je stěžejní vzdálenost místa zkratu od sousedních rozveden, v případě blízkých rozveden (okolí Říkovic) jsou poklesy napětí výrazné. U vzdálenějších rozveden jsou projevy zkratů poměrně nízké (okolí Břeclavi).

Tabulka 5.3 Napětí na přípojnících 110 kV při zkratech na úrovni 25 kV

Zkrat na přípojnici 25 kV v rozvodně	bez zkratu	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyškov	Kyjov
Rozvondá	Jmenovité napětí	Napětí v rozvodně při zkratu (kV)							
Říkovice	110 kV	118,7	101,6	108,8	113,3	117,3	117,4	117,0	113,7
Otrokovice	110 kV	118,0	114,1	112,1	114,0	117,0	116,9	116,8	116,6
Nedakonice	110 kV	118,6	111,3	107,2	100,3	114,9	116,0	115,5	115,5
Břeclav	110 kV	117,3	113,4	113,6	112,5	103,5	112,4	113,8	112,1
Modřice	110 kV	118,4	116,5	116,6	116,2	115,2	100,6	104,0	115,5
Černovice	110 kV	118,3	116,3	116,4	116,1	115,1	100,7	102,6	115,2
Vyškov	110 kV	116,9	110,3	112,6	113,5	112,3	113,8	113,0	103,8
Kyjov	110 kV	118,6	112,3	109,1	103,7	114,9	115,6	114,7	115,4

Ovlivnění systému 110 kV při zkratu na úrovni 25 kV je prakticky pouze u napájecí rozvodny 110 kV nejbližší zkratu. Ostatní rozvodny 110 kV jsou ovlivněny minimálně. Výjimkou jsou pouze blízké rozvodny jako například Černovice a Modřice.

Tabulka 5.4 Zkrat na přípojnicích 110 kV

Zkratový proud v rozvodně (kA)	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyskov	Kyjov
	6,3	12,6	3,7	3,9	7,6	6,8	4,4	3,7
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Říkovice	0,5	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Otrokovice	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Nedakonice	0,1	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Břeclav	0,0	0,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,0	0,1
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Modřice 1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Modřice 2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Černovice	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Vyskov	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,3	0,0
Ik" (kA) přes tr. 110 kV / 25 kV Kyjov	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,3

U přípojníc 110 kV činí naprostou většinu zkratového proudu příspěvky přenášené z úrovně 110 kV (nesouvisí s trakcí). Příspěvek u velmi blízkých trakčních rozveden směrem do DS je do 1 kA a není z hlediska dimenzování zařízení 110 kV podstatný.

Tabulka 5.5 Napětí na přípojnicích 25 kV při zkratech na úrovni 110 kV

Zkrat na přípojnici 110 kV v rozvodně	bez zkratu	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyskov	Kyjov
Rozvoda	Jmenovité napětí	Napětí v rozvodně při zkratu (kV)							
Říkovice	25 kV	26,1	11,4	19,4	22,4	24,0	24,1	24,2	22,1
Otrokovice	25 kV	26,1	17,0	15,6	19,8	24,0	24,0	24,2	23,3
Nedakonice	25 kV	26,2	20,5	18,1	15,0	23,1	23,3	23,5	23,6
Břeclav	25 kV	26,0	23,6	22,7	22,2	12,1	19,3	20,1	20,5
Modřice	25 kV	26,2	24,9	24,0	24,6	23,2	5,2	7,5	24,0
Černovice	25 kV	26,1	24,3	23,6	24,1	23,8	7,3	7,9	23,1
Vyskov	25 kV	26,0	19,1	22,2	23,4	21,6	21,1	21,2	13,8
Kyjov	25 kV	26,2	22,6	19,9	15,5	23,3	21,7	22,0	23,5

Během zkratu na rozvodně 110 kV neklesá napětí na přípojnicích 25 kV těžce rozvodny k 0 kV, systém jednotné fáze podporuje velikost napětí ze sousedních rozveden. K výraznějším poklesům dochází u trakčních rozveden napájených z jedné smyčky 110 kV, toto je však způsobeno téměř výhradně poměry při zkratu na úrovni 110 kV. Toto se výrazně projevuje také v následující tabulce u napětí hodnoceného na úrovni 110 kV například u rozveden Modřice a Černovice. Ovlivnění systému 110 kV prostřednictvím trakčního systému jednotné fáze je během zkratu minimální.

Tabulka 5.6 Napětí na přípojnicích 110 kV při zkratech na úrovni 110 kV

Zkrat na přípojnici 110 kV v rozvodně	bez zkratu	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyskov	Kyjov
Rozvoda	Jmenovité napětí	Napětí v rozvodně při zkratu (kV)							
Říkovice	110 kV	118,7	0,0	106,6	113,8	114,2	115,1	115,4	112,7
Otrokovice	110 kV	118,0	111,8	0,0	109,4	115,9	113,2	113,7	115,6
Nedakonice	110 kV	118,6	110,5	90,0	0,0	114,8	112,1	112,7	114,9
Břeclav	110 kV	117,3	110,0	110,8	113,6	0,0	110,1	110,8	79,3
Modřice	110 kV	118,4	115,4	110,6	115,2	114,7	0,0	21,8	114,7
Černovice	110 kV	118,3	115,3	110,5	115,0	114,6	9,6	0,0	114,6
Vyskov	110 kV	116,9	108,3	110,3	113,8	83,7	110,6	111,1	0,0
Kyjov	110 kV	118,6	111,0	90,4	55,6	114,8	111,6	112,2	114,9

Uvedené výpočty platí pro přímé propojení DS a trakčního systému přes transformátor. Při případné realizaci nepřímé jednotné fáze přes měniče budou zkratové poměry na trakci zásadně odlišné. Hodnoty zkratových proudů budou přímo závislé na nastavení měničů, maximální dodávaný proud z měniče do zkratu bude roven jeho jmenovitému výkonu. Této situaci bude muset odpovídat změna chránění trakčních úseků (distanční ochrany).

6 Připojení

Napojení na síť 110 kV

Připojení trakčních napájecích stanic bude realizováno na 8 přípojných bodech, 5 z nich je stávajících a 3 z nich jsou nové, budou však realizovány v rozvodně (nebo její blízkosti), která v současnosti slouží pro distribuci. U všech rozveden je předpoklad, že budou napojeny na systém 110 kV standardním způsobem, tedy buď na 2 vedení 110 kV, π napojením na 2 vedení 110 kV nebo dvojitým T napojením na vedení 110 kV.

Zkratové výpočty pro DS

Zkratové výkony nebyly řešeny jako maximální, ale spíše jako provozní v některých případech se jedná o hodnoty blízké se minimálním zkratovým výkonům. Vzhledem k tomu, že zkratové výkony jsou důležitou složkou pro výpočet zpětných vlivů trakčních rozveden na soustavu, bylo by použití maximálních zkratových výkonů zkreslující. Zkratové výkony získané výpočtem odpovídají situacím, ke kterým v síti běžně dochází, i za těchto situací musí být garantováno dosažení požadované kvality elektrické energie na úrovni distribuce.

Zkratové výkony byly řešeny pro následující stavy (označení dle tabulky):

Současný zkratový výkon ve stavu N 2xPS/110 kV – u uzlových oblastí, které jsou běžně napájeny ze dvou transformátorů současně byl uvažován provoz dvou transformátorů. UO napájeného z jednoho transformátoru byly stále napájeny z jednoho.

Současný zkratový výkon ve stavu N 1xPS/110 kV – u uzlových oblastí, kde je běžně provozováno napájení ze dvou transformátorů současně byl uvažován provoz **jen jednoho transformátoru**. UO napájeného z jednoho transformátoru byly stále napájeny z jednoho.

Budoucí zkratový výkon ve stavu N 2xPS/110 kV – budoucí stav který respektuje přechod rozveden Sokolnice a Prosenice plně na transformaci 400/110 kV, uvažuje s realizací nových vedení 110 kV v oblasti. V rozvodně Prosenice a Sokolnice je uvažováno s odděleným napájením vždy po 1 transformátoru 400/110 kV. Paralelní chod dvou transformátorů je uvažován jen v rozvodně Otrokovice.

Stavy s výpadky N-1 – jsou vypínána jednotlivá vedení 110 kV s vysokým dopadem na pokles zkratových výkonů v trakčních rozvodnách. Nejsou vypínány transformátory PS/110 kV (respektováno v předchozích bodech), u rozveden Říkovice a Vyškov nejsou řešeny výpadky vedení 110 kV v současném stavu, výpadek vedení 110 kV znamená v základním zapojení nutnost manipulace „přes tmu“.

Mezní zdánlivý výkon přenositelný z DS do trakční stanice z pohledu vedení 110 kV

Výpočetně byly stanoveny mezní (mezní okamžité) přenášené výkony, které je možné přenést do trakční stanice během základního zapojení pro bilanční řadu 8760 hodin roku 2015. Jde o nepřekročitelné okamžité hodnoty, nikoliv o maxima 15 minutových středních hodnot. Výkony byly stanoveny výpočtem na základním zapojení se standardními výpadky N-1 a v některých případech také pro výpadky N-1 spočívajících ve ztrátě dvojitého vedení na jednom podpěrném bodu. Uvedené hodnoty jsou mezní a nezahrnují lokální omezení, která souvisí s charakterem havarijního či náhradního provozu sítí 110 kV v místě. Typicky se jedná o situace, kdy je trakční rozvodna na vedeních, která slouží zároveň jako záložní trasa pro napojení na sousední uzlové oblasti. Uváděné hodnoty v sobě **nemají zahrnutou rezervu** pro budoucí nárůst odběru ostatních rozveden (rozveden mimo trakci).

Všechny rozvodny jsou relativně spolehlivě uzásobitelné i v havarijních situacích a při vysokých odběrech trakce. Detailní stanovení omezení je třeba stanovit při scénářích stanovených distributory při výpočtech studie připojitelnosti. **Při přechodu na symetrické trojfázové zatěžování distribuční soustavy trakcí dochází k poklesu proudového zatížení vodičů 110 kV o 41 % vůči stavu s nesymetrickým napájením trakce ze dvou fází. Tím se reálně zvýší využitelná výkonová kapacita vedení.**

Hodnoty jsou uvedeny v MVA, odpovídají zatížení v MW a neutrálnímu účinníku při symetrickém třífázovém zatížení. Při nesymetrickém zatížení jednofázovými transformátory v zapojení T nebo V se je nutno níže uváděné hodnoty snížit na 58 % ($1/\sqrt{3}$).

Říkovice

Při splnění N-1 spočívajícího v pádu stožáru s dvojitém vedením je možné do rozvodny Říkovice přivést přes 50 MVA výkonu. Samotná rozvodna Říkovice však leží přímo na záložní trase vedení 110 kV, která slouží k záložnímu napájení z rozvodny Otrokovice. Tento mezní zdánlivý výkon ve výši 50 MVA nelze spojit s povoleným rezervovaným příkonem pro rozvodnu Říkovice

Otrokovice

Trakční rozvodna Otrokovice leží na smyčce 110 kV, která je poměrně výrazně ztěžována. Při splnění (N-1) je možné do trakční rozvodny přivést maximálně 40 MVA. Smyčka 110 kV není využitelná pro zálohování sousedních oblastí.

Nedakonice, Kyjov

Rozvodny jsou na jedné smyčce 110 kV, při splnění N-1 je možné z obou rozveden odebrat v součtu asi 50 MVA, výsledné číslo je závislé na aktuální konfiguraci sítě a výrobě zdrojů v oblasti (elektrárna Hodonín, FVE).

Břeclav

I při poruše N-1 spočívající v pádu stožáru s dvojitém vedením je možné z rozvodny Břeclav odebrat až 50 MVA.

Modřice

Vzhledem k poloze rozvodny a parametrům přírodního vedení je limitní výkon velmi vysoký lze uvažovat do 50 MVA. Případná omezení by připadaly v úvahu jen při zásadnějších náhradních zapojeních v oblasti 110 kV.

Černovice

Obdobná situace jako u rozvodny Modřice.

Vyškov

Mezní kapacita je dána napájecími vedeními Vyškov – Sokolnice, při splnění N-1 je mezně možné trakci odebrat až 50 MVA, trasa však slouží jako záložní napojení na UO Otrokovice.

Tabulka 6.1 Zkratové výkony na úrovni 110 kV

Rozvondna	Uzlová oblast	Současný zkratový výkon ve stavu N 2xPS/110 kV (MVA)	Současný zkratový výkon ve stavu N 1xPS/110 kV (MVA)	Budoucí zkratový výkon ve stavu N 2xPS/110 kV (MVA)	Současný zkratový výkon ve stavu N - 1 2xPS/110 kV (MVA)	Současný zkratový výkon ve stavu N-1 (MVA) 1xPS/110 kV	Budoucí zkratový výkon ve stavu N-1 2xPS/110 kV (MVA)
Říkovice	Prosenice 220 kV (400 kV)	1222	979	1165	1222	978	1165
Otrokovice	Otrokovice 400 kV (2 trf.)	2979	1963	2975	2136	1569	2133
Nedakonice	Otrokovice 400 kV (1 trf.)	876	876	875	434	433	433
Břeclav	Sokolnice 220 kV (400 kV)	887	756	861	411	385	406
Modřice	Sokolnice 400 kV	1987	1987	1984	1510	1510	1508
Černovice	Sokolnice 400 kV	1742	1742	1740	790	790	789
Vyškov	Sokolnice 400 kV	541	494	963	541	493	532
Kyjov	Otrokovice 400 kV	867	867	867	823	823	823

Tabulka 6.2 Způsob napojení a limit max. odběru trakcí

Rozvondna	Způsob napojení	Limint maximálního symetrického odběru (MW)	Limint maximálního nesymetrického odběru (MW)
Říkovice	dvojitě T	50	29
Otrokovice	TT	40	23
Nedakonice	TT	25	14
Břeclav	dvojitě T	50	29
Modřice	TT	50	29
Černovice	TT	50	29
Vyškov	TT	50	29
Kyjov	TT	25	14

7 Stálost napětí

Na úrovni 110 kV je napětí udržováno dispečersky na úrovni přípojnice 110 kV s vazbou na přenosovou soustavu. Napětí je udržováno v blízkosti hodnoty napětí stanovené provozní instrukcí, jeho velikost se řídí polohou odboček na transformátoru PS/110 kV. Velikost kroku jedné odbočky bývá charakteristicky 2 % U_n . Se vzdáleností od přípojnice 110 kV s vazbou na PS napětí více kolísá v závislosti na aktuální spotřebě či výrobě v síti. Velikost tohoto kolísání však ani zdaleka nedosahuje procentních hodnot, které jsou obvyklé u trakčních napětí 25 kV AC nebo 3 kV DC. Řízením dodávky jalového výkonu v rámci sítě 110 kV je možné řídit napětí i uvnitř sítě, v řešené oblasti se v síti 110 kV tento způsob dispečersky uplatňuje téměř výhradně při neúplných údržbových či poruchových stavech sítě.

Horní hranice napětí, která je v sítích 110 kV dosahována, je 121 kV, zřídka jsou dosahovány vyšší hodnoty (do 123 kV).

Spodní hranice napětí je dána normou na 99 kV, této hodnoty je však dosahováno zřídka. I při náhradních zapojeních se většinou daří v uzlech sítě 110 kV držet napětí nad 110 kV.

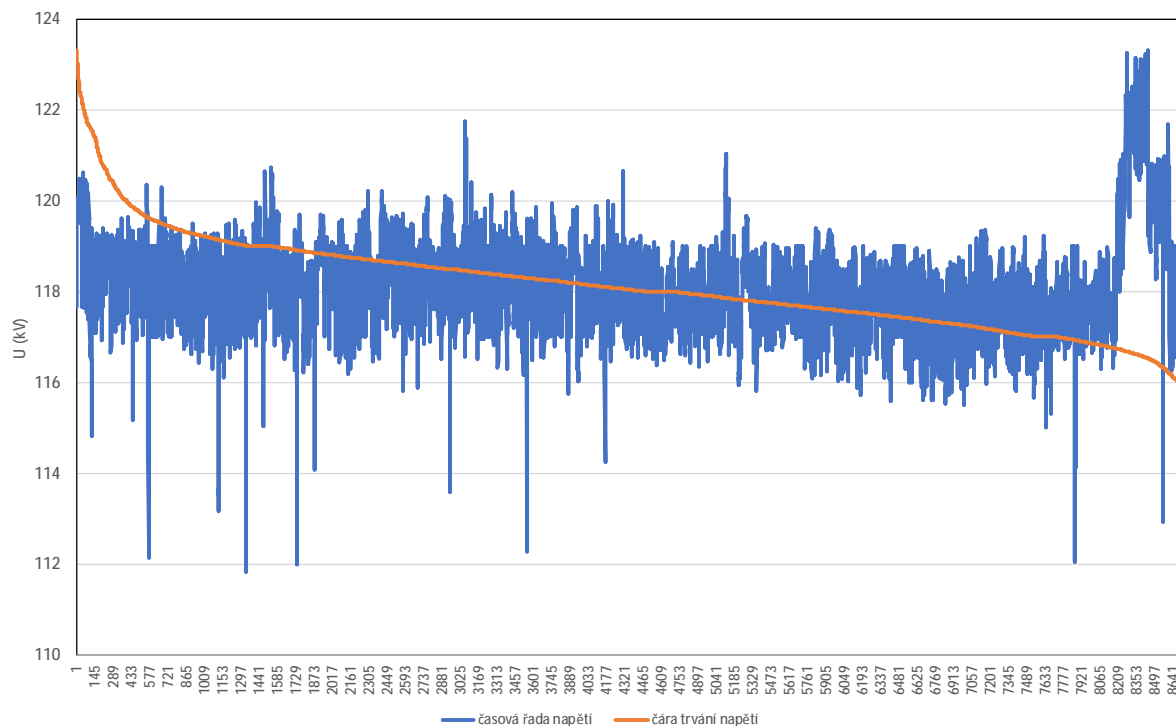
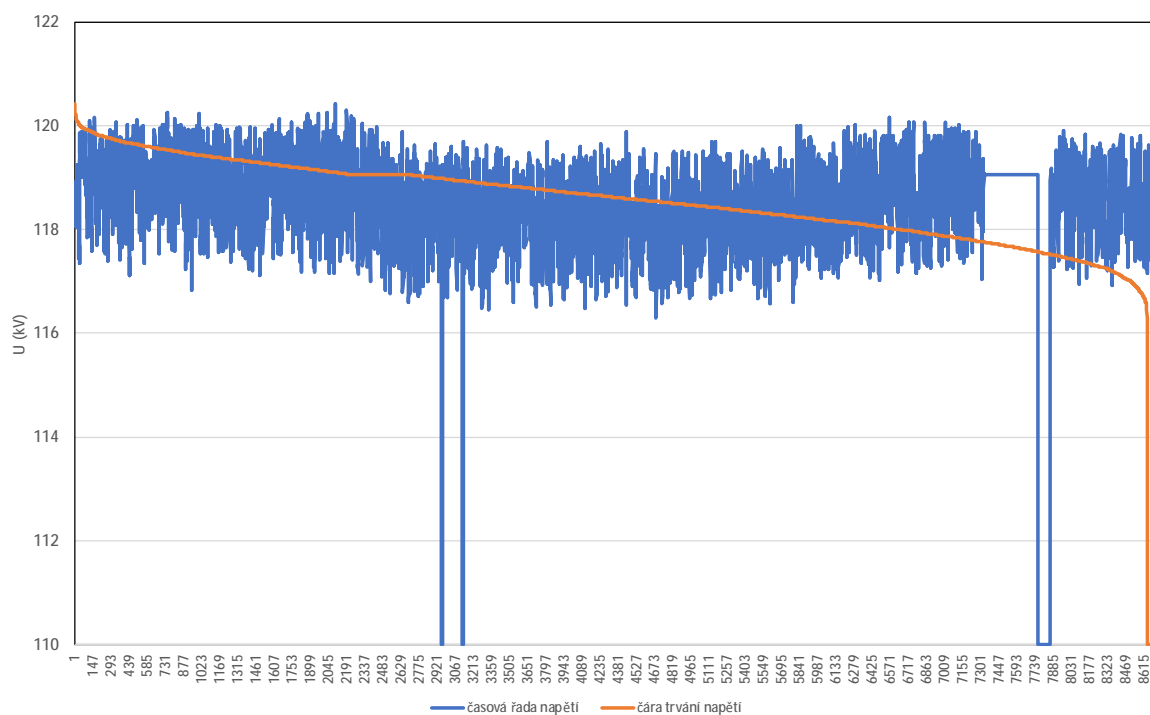
Samostatnou částí stanovení odolnosti zařízení je odolnost vůči atmosférickým přepětím, které se mohou v síti vyskytnout.

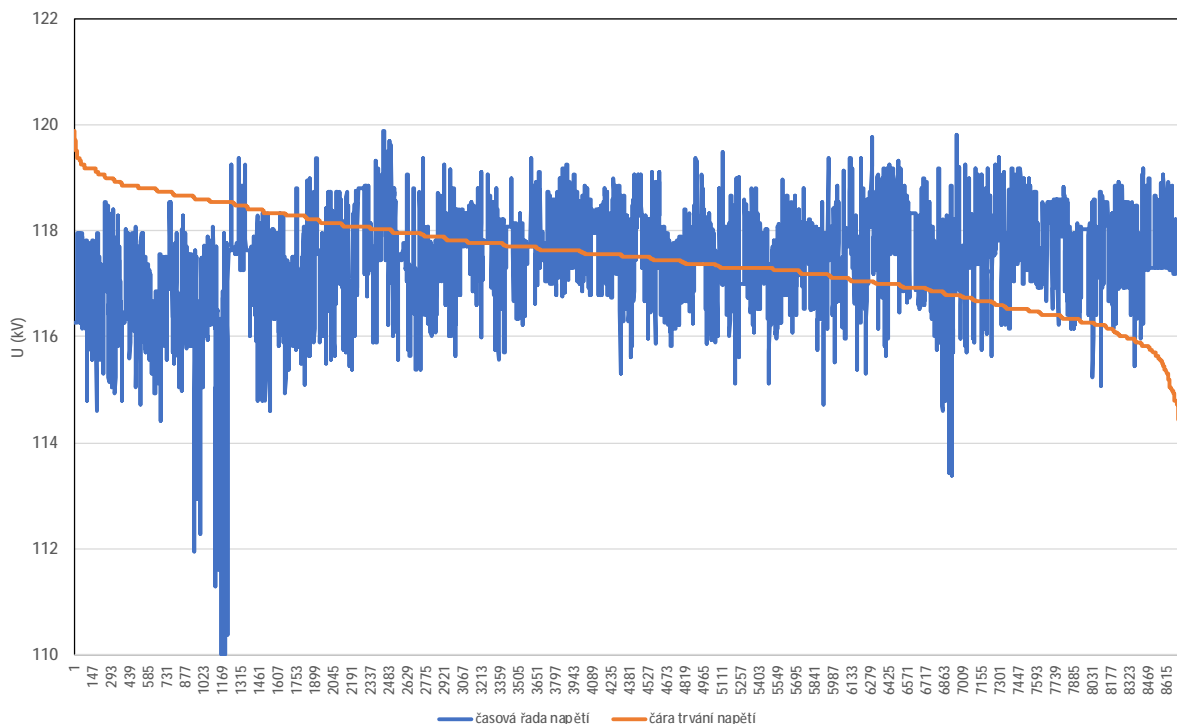
Napětí klesající pod 110 kV je detekcí problematického stavu v DS. V tomto režimu by zařízení trakční stanice mělo zabraňovat svou činností dalšímu zhoršování situace nebo by naopak mohlo být využito pro stabilizaci situace v distribuční soustavě.

Možná podpora distribuci po dosažení mezního nízkého napětí v systému 110 kV:

- Omezení odběru trakční stanice a přenesení zátěže na sousední trakční stanice pracující v systému nepřímé jednotné fáze (záměrným pootočením vektoru napětí).
- Snížení napětí na úrovni 25 kV (pod 22,5 kV) a tím dosažení omezení trakčního výkonu vozidel dle ČSN EN 50 388.
- Automatické generování jalového výkonu trakční stanicí pro podporu udržení napětí na úrovni 110 kV dle charakteristiky dohodnuté s PDS.
- Generování jalového výkonu ve velikosti požadované dispečinkem PDS.

Na následujících grafech jsou uvedeny zpracované hodnoty sdruženého napětí v systému 110 kV pro rozvodny Říkovice, Otrokovice, Nedakonice, které jsou z hodinového měření roku 2015. Vzorky měření, které byly prokazatelně nesmyslné a případné výpadky v měření byly nahrazeny hodnotou 118 kV.

Obrázek 7.1 Napětí v uzlu 110 kV Říkovice – rok 2015**Obrázek 7.2** Napětí v uzlu 110 kV Otrokovice – rok 2015

Obrázek 7.3 Napětí v uzlu 110 kV Nedakonice – rok 2015

8 Symetrie zatěžování

Byl proveden výpočet nesymetrie a její hodnocení dle PNE 33 3430-0 5.vydání. Pro jednotlivé uzly 110 kV se současným či budoucím připojením TNS byly provedeny jednoduché výpočty dle vzorce (49) normy, pro současný způsob napájení. Byl stanoven maximální povolený odběr v místě tak, aby byla dodržena nesymetrie napětí $k_u \leq 0,7$ %. Zkratové výkony pro jednotlivé uzly 110 kV včetně jejich platnosti byly použity z kapitoly „připojení“, byl uvažován budoucí zkratový výkon při stavu N a (N-1).

V tabulkách jsou zvýrazněny hodnoty $k_u \leq 0,7$. Z výsledků je patrné, že pro budoucí zatěžování TNS není možné dodržet požadovanou úroveň nesymetrie. Výjimkou je pouze rozvodna Otrokovice, kde by za určitých okolností mohla být požadovaná podmínka úrovně nesymetrie splněna, ale velmi pravděpodobně ne ve všech provozních situacích. V Otrokovicích je však možné očekávat problémy s nesymetrií v navazujících rozvodnách 110 kV, kde je velké množství asynchronních motorů (Barum, Teplárna Otrokovice, Toma). V těchto tabulkách není uvažována dodávka elektřiny, získané rekuperací do DS, která svým výkonem nesymetrii napětí zvýší (přibližně v tom smyslu, že nesymetrický výkon je součtem (nikoliv rozdílem!) z DS odebraného a do DS dodávaného výkonu, získaného rekuperací, neboť účinky odebraného a dodávaného „rekuperovaného“ výkonu na nesymetrii napětí se navzájem nekompensují, nýbrž sčítají).

Tabulka 8.1 Příspěvek trakce k napět'ové nesymetrii na úrovni 110 kV

Základní zapojení, po roce 2030

Název		Nesymetrický odběr připojený mezi dvě fáze														
		2 MW	4 MW	6 MW	8 MW	10 MW	12 MW	14 MW	16 MW	18 MW	20 MW	22 MW	24 MW	26 MW	28 MW	30 MW
Nesymetrie napětí ku (%)	Říkovice	0,2%	0,3%	0,5%	0,7%	0,9%	1,0%	1,2%	1,4%	1,5%	1,7%	1,9%	2,1%	2,2%	2,4%	2,6%
	Otrokovice	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%	0,5%	0,6%	0,7%	0,7%	0,8%	0,9%	0,9%	1,0%
	Nedakonice	0,2%	0,5%	0,7%	0,9%	1,1%	1,4%	1,6%	1,8%	2,1%	2,3%	2,5%	2,7%	3,0%	3,2%	3,4%
	Břeclav	0,2%	0,5%	0,7%	0,9%	1,2%	1,4%	1,6%	1,9%	2,1%	2,3%	2,6%	2,8%	3,0%	3,3%	3,5%
	Modřice	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,7%	0,8%	0,9%	1,0%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%
	Brno Černovic	0,1%	0,2%	0,3%	0,5%	0,6%	0,7%	0,8%	0,9%	1,0%	1,1%	1,3%	1,4%	1,5%	1,6%	1,7%
	Výškov	0,2%	0,4%	0,6%	0,8%	1,0%	1,2%	1,5%	1,7%	1,9%	2,1%	2,3%	2,5%	2,7%	2,9%	3,1%
	Kyjov	0,2%	0,5%	0,7%	0,9%	1,2%	1,4%	1,6%	1,8%	2,1%	2,3%	2,5%	2,8%	3,0%	3,2%	3,5%

Základní zapojení, po roce 2030, stav s výpadky (N-1)

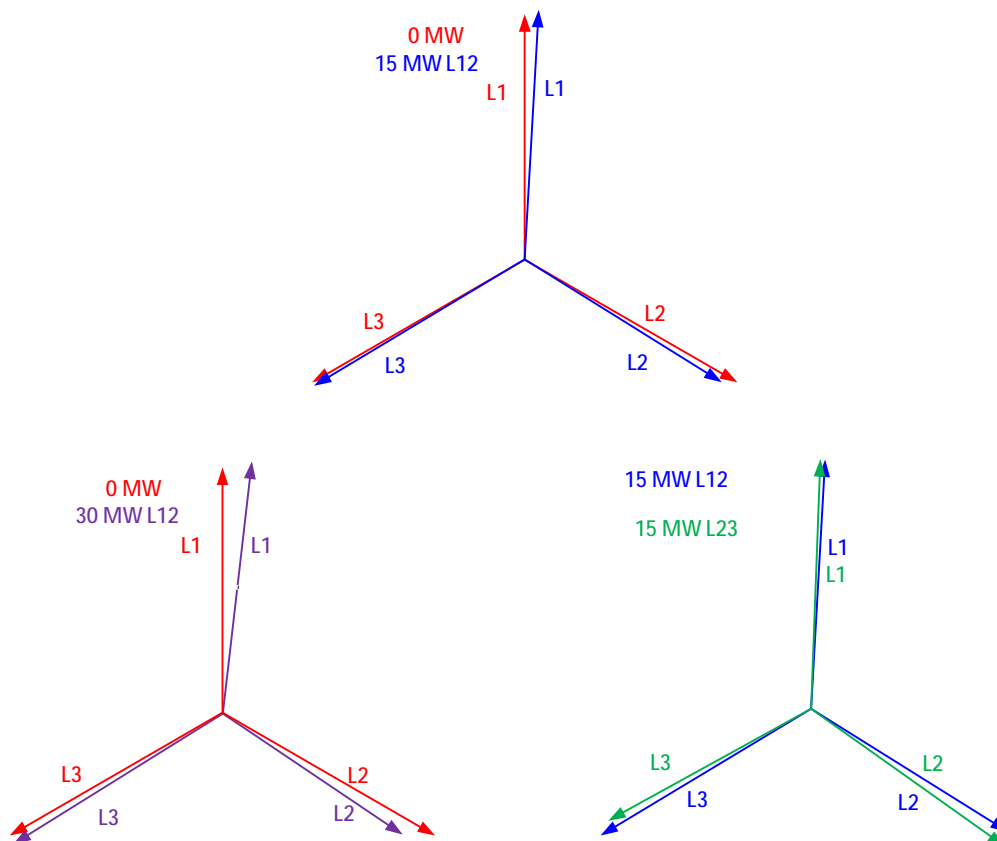
Zakladní zapojení, poč. fází 2030, stav s výpadky (N+1)																
Název	Nesymetrický odběr připojený mezi dvě fáze															
	2 MW	4 MW	6 MW	8 MW	10 MW	12 MW	14 MW	16 MW	18 MW	20 MW	22 MW	24 MW	26 MW	28 MW	30 MW	
Nesymetrie napětí ku (%)	Říkovice	0,2%	0,3%	0,5%	0,7%	0,9%	1,0%	1,2%	1,4%	1,5%	1,7%	1,9%	2,1%	2,2%	2,4%	2,6%
	Otrokovice	0,1%	0,2%	0,3%	0,4%	0,5%	0,6%	0,7%	0,8%	0,8%	0,9%	1,0%	1,1%	1,2%	1,3%	1,4%
	Nedakonice	0,5%	0,9%	1,4%	1,8%	2,3%	2,8%	3,2%	3,7%	4,2%	4,6%	5,1%	5,5%	6,0%	6,5%	6,9%
	Břeclav	0,5%	1,0%	1,5%	2,0%	2,5%	3,0%	3,4%	3,9%	4,4%	4,9%	5,4%	5,9%	6,4%	6,9%	7,4%
	Modřice	0,1%	0,3%	0,4%	0,5%	0,7%	0,8%	0,9%	1,1%	1,2%	1,3%	1,5%	1,6%	1,7%	1,9%	2,0%
	Brno Černovic	0,3%	0,5%	0,8%	1,0%	1,3%	1,5%	1,8%	2,0%	2,3%	2,5%	2,8%	3,0%	3,3%	3,5%	3,8%
	Výškov	0,4%	0,8%	1,1%	1,5%	1,9%	2,3%	2,6%	3,0%	3,4%	3,8%	4,1%	4,5%	4,9%	5,3%	5,6%
	Kyjov	0,2%	0,5%	0,7%	1,0%	1,2%	1,5%	1,7%	1,9%	2,2%	2,4%	2,7%	2,9%	3,2%	3,4%	3,6%

Na modelovém případě, pro uzel 110 kV s nízkým zkratovým výkonem (400 MVA), byly provedeny výpočty, které mají dokladovat závislost stupně nesymetrie napětí na velikosti dvoufázového trakčního odběru a způsobu jeho zapojení.

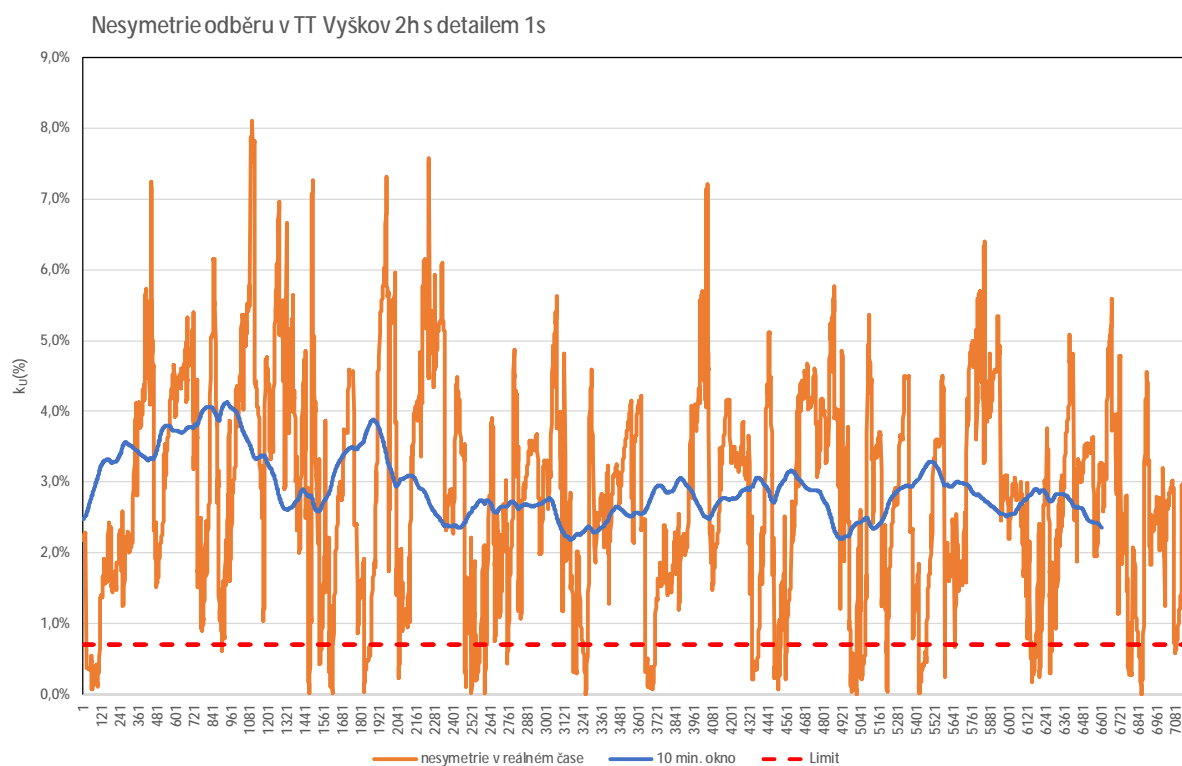
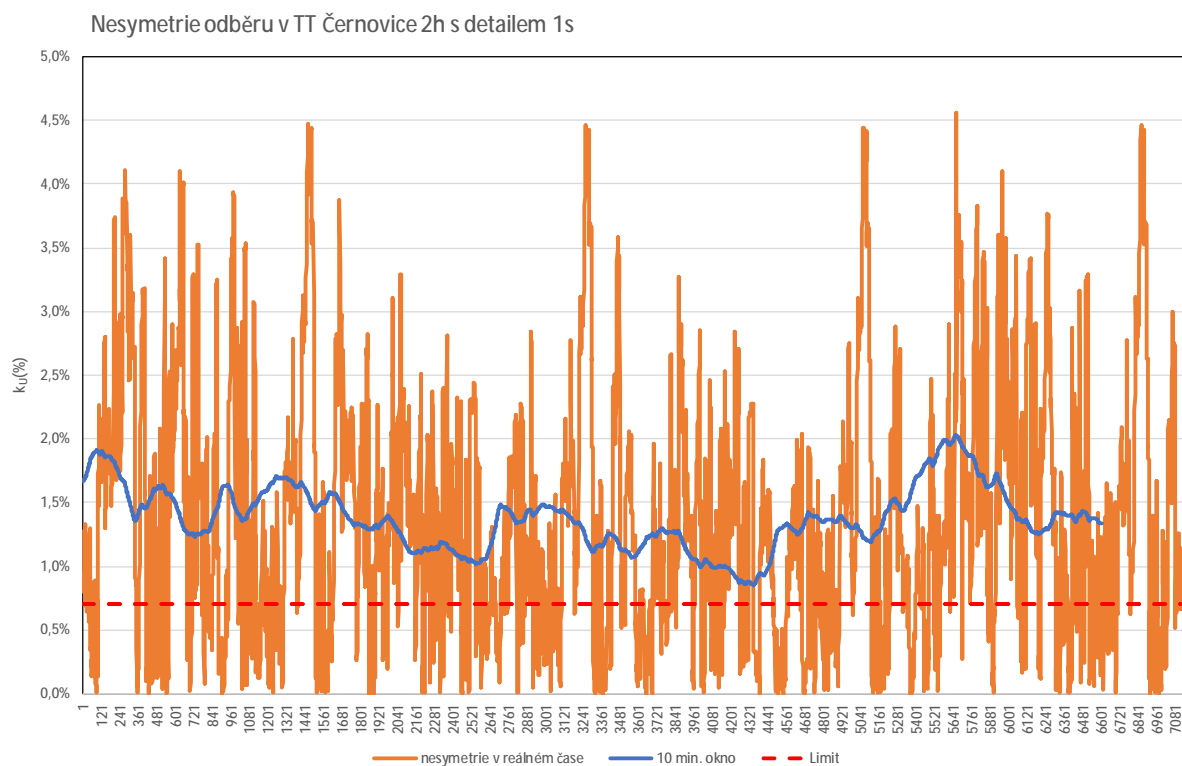
Z výpočtů vyplynulo:

- Y Stupeň nesymetrie je přímo úměrný odebíranému nesymetrickému výkonu (např. dvojnásobný výkon zdvojnásobí nesymetrii).
- Y Při použití transformátorů zapojených do V lze v ideálním případě ve stavu N při stejném zatížení obou napájených úseků odebrat dvojnásobný (přesněji týž plus týž) výkon při zachování stejného stupně nesymetrie než u zapojení jednoho transformátoru v místě. Toto však není možné vzhledem ke koncepci zálohování transformátorů na trakci garantovat (úseky nejsou stejně zatíženy, neplatí ve stavu N-1).

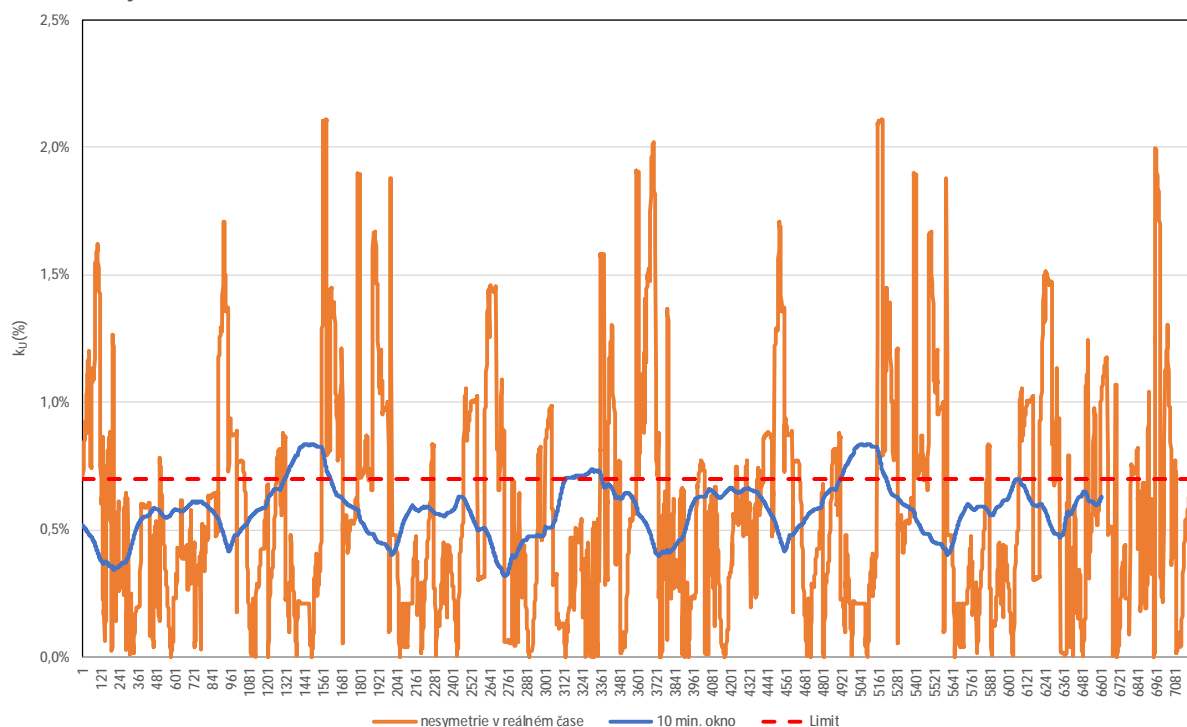
Obrázek 8.1 Vektorové znázornění nesymetrie napětí v závislosti na zapojení a zatížení



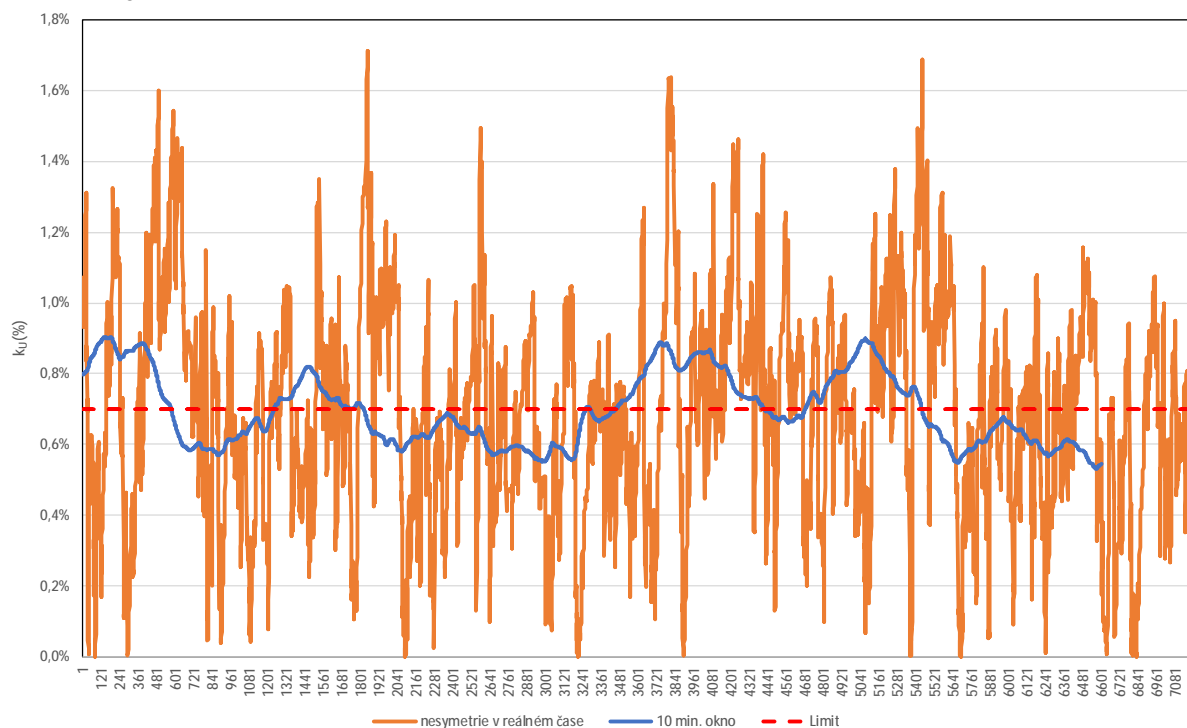
Ze simulovaného budoucího průběhu odběrů trakčních stanic byl vytvořen průběh nesymetrie napětí na úrovni 110 kV. Uvažováno bylo se současným zapojením pouze mezi dvě fáze distribuční soustavy 110 kV pouze u TNS Modřice bylo počítáno se zapojením do V. V průbězích je uvažováno i s vlivem rekuperace. Hodnocena byla nesymetrie v sekundových řezech a v 10 min. plovoucím okně. Porovnávána byla s mezním stupněm nesymetrie pro jedno spotřebitelské místo. Zkratové výkony v místě připojení trakční stanice odpovídají budoucímu stavu s výpadkem (N-1). **Z hlediska nesymetrie je trakční odběr výrazně nevyhovující.** Předpokládá se, že u technologie TNS s balancérem nebo u technologie TNS s měničem bude odběr ze 110 kV symetrický.

Obrázek 8.2 Nesymetrie odběrů v uzlech 110 kV vyvolaná TNS

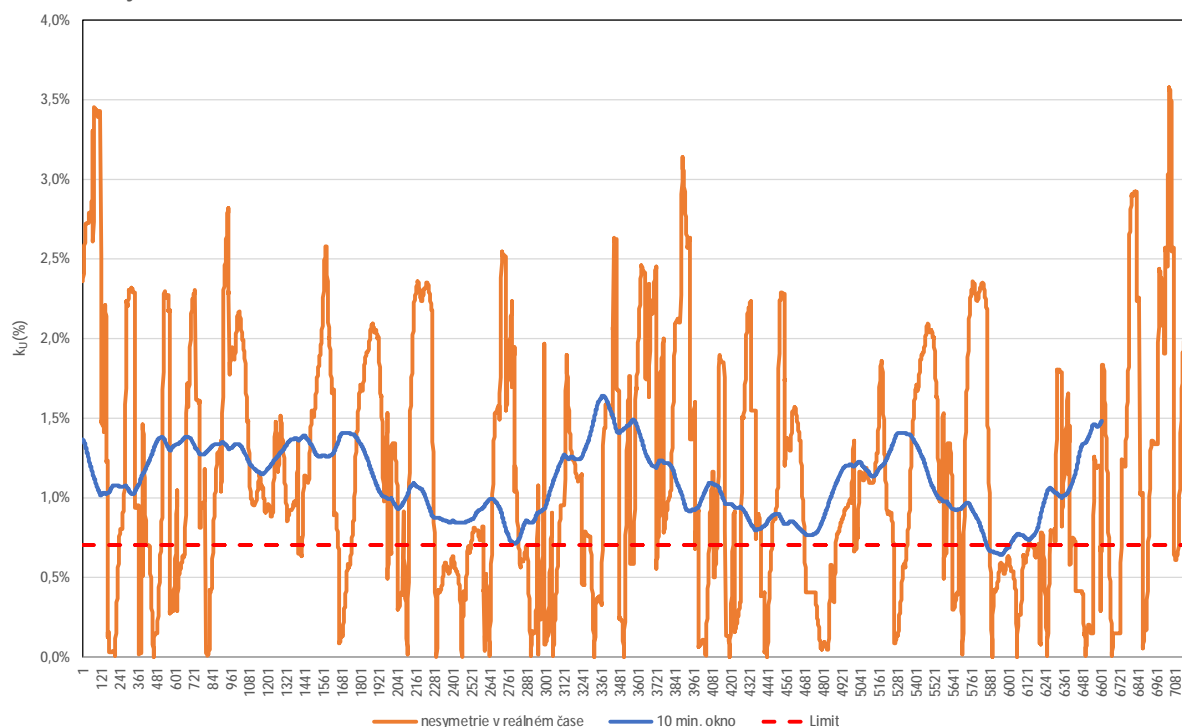
Nesymetrie odběru v TT Říkovice 2h s detailem 1s



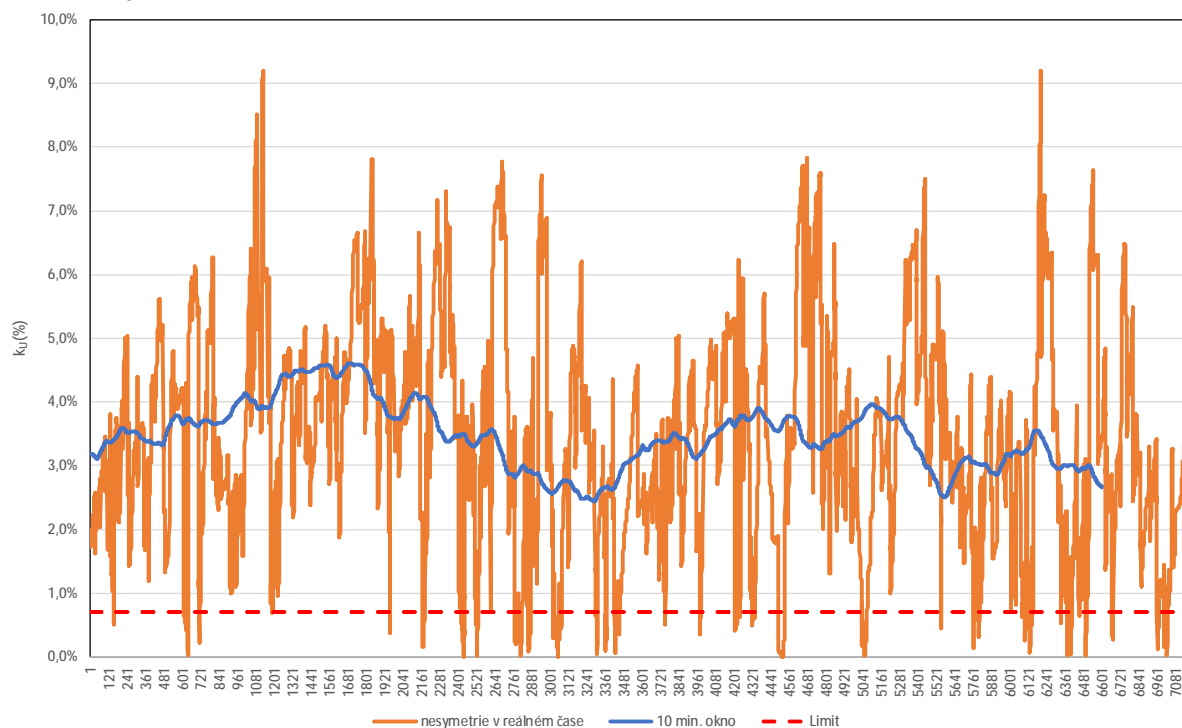
Nesymetrie odběru v TT Otrokovice 2h s detailem 1s



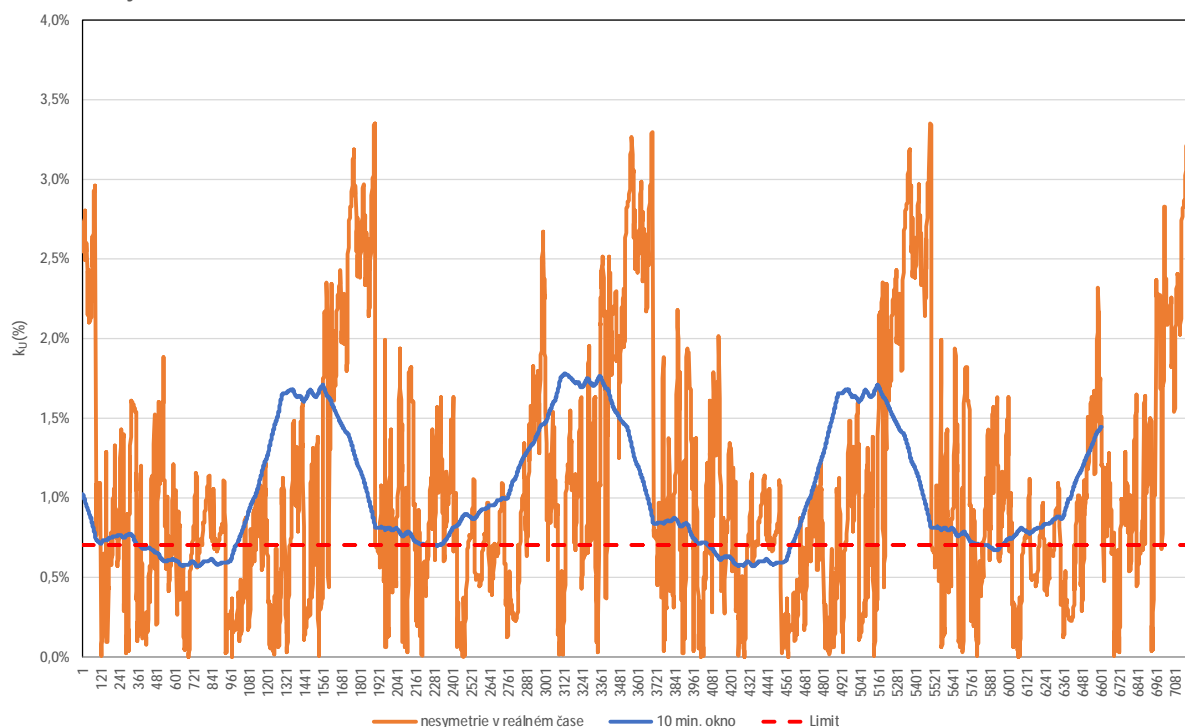
Nesymetrie odběru v TT Nedakonice 2h s detailem 1s



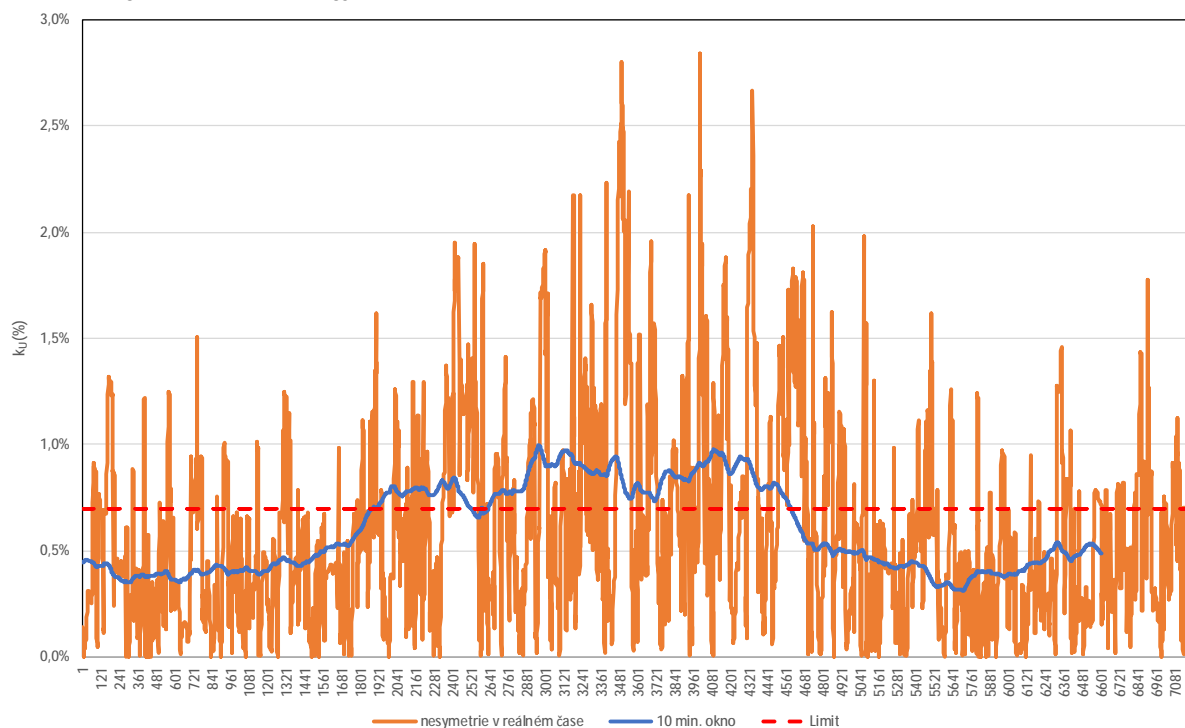
Nesymetrie odběru v TT Břeclav 2h s detailem 1s



Nesymetrie odběru v TT Modřice 2h s detailem 1s



Nesymetrie odběru v TT Kyjov 2h s detailem 1s



9 Flikr

Pod pojmem flikr rozumíme rychlé periodické změny napětí způsobené kolísáním napětí. Tento jev se projevuje na světelných spotřebičích rychlou změnou světelného toku a způsobuje změnu zrakového vnímání. Řešení flikru je součástí připojovacích podmínek PDS.

Výpočet dopadu odběru trakčních rozvodů z pohledu flikru byl proveden v souladu s PNE 33 3430-0, postupy v této normě jsou přejaty z IEC/TR 61000-3-7 (PNE odkazuje na údaje uvedené pouze v IEC).

V kapitole 3.3.2 PNE - Posuzování připojitelnosti v sítích vn a 110 kV – jsou uvedeny 3 etapy posouzení, tyto se liší úrovní detailu, pokud vyhoví první (či druhá) etapa, není třeba posuzovat dle postupů etapy další.

Etapa 1. používá jednoduchý přepočet přes zkratový výkon v místě připojení trakční stanice, tento přístup je však velmi přísný a nevyhověla by téměř žádná trakční rozvodna. Proto bylo, v souladu s postupem uvedeným v normě, provedeno hodnocení dle Etapy II.

V souladu s doporučením norem bylo pro výpočet uvažováno s plánovací úrovní sítě 110 kV a PS $L_{Pst}=0,8$ a $L_{Plt}=0,6$. Přenosový koeficient byl uvažován $T_{HM}=0,8$.

Stanovené limity pro jednoho odběratele $P_{lt}=0,25$ pro dlouhodobou míru vjemu flikru a $P_{st}=0,35$ nebyly překročeny u žádného z výpočtů.

Charakter odběru trakce je specifický v tom, že v rámci kolísání odběru nedochází k rázům výkonu s velkou strmostí, velké špičky výkonu rostou po dobu přibližně 10s. I v případě, že by byl flikr řešen analytickou metodou, bylo by dosaženo příznivých výsledků, protože by se pracovalo s vysoce příznivými koeficienty tvaru.

Tabulka 9.1 Příspěvek k flikru u uzlů 110 kV z jednotlivých TNS – krátkodobá míra vjemu flikru

Základní zapojení, po roce 2030

Název		Mezní odebíraný výkon									
		5 MVA	10 MVA	15 MVA	20 MVA	25 MVA	30 MVA	35 MVA	40 MVA	45 MVA	50 MVA
P _{st} (-)	Říkovice	0,10	0,13	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22
	Otrokovice	0,07	0,09	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,16
	Nedakonice	0,11	0,14	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,23	0,24
	Břeclav	0,11	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,24	0,24
	Modřice	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18
	Brno Černovice	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,19
	Vyškov	0,11	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23
	Kyjov	0,11	0,14	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,23	0,23	0,24

Základní zapojení, po roce 2030, stav s výpadky (N-1)

Název		Mezní odebíraný výkon									
		5 MVA	10 MVA	15 MVA	20 MVA	25 MVA	30 MVA	35 MVA	40 MVA	45 MVA	50 MVA
P _{st} (-)	Říkovice	0,10	0,13	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22
	Otrokovice	0,08	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18
	Nedakonice	0,14	0,18	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,28	0,30	0,31
	Břeclav	0,15	0,18	0,21	0,23	0,25	0,26	0,28	0,29	0,30	0,31
	Modřice	0,09	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,20
	Brno Černovice	0,12	0,15	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
	Vyškov	0,13	0,17	0,19	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29
	Kyjov	0,11	0,14	0,17	0,18	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25

Tabulka 9.2 Příspěvek k flikru u uzlů 110 kV z jednotlivých TNS – dlouhodobá míra vjemu flikru

Základní zapojení, po roce 2030

Název		Mezní odebíraný výkon									
		5 MVA	10 MVA	15 MVA	20 MVA	25 MVA	30 MVA	35 MVA	40 MVA	45 MVA	50 MVA
P _{fl} (·)	Říkovice	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17
	Otrokovice	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12
	Nedakonice	0,08	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18
	Břeclav	0,08	0,11	0,12	0,13	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18
	Modřice	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,14
	Brno Černovice	0,07	0,08	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,14
	Vyškov	0,08	0,10	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18
	Kyjov	0,08	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,18

Základní zapojení, po roce 2030, stav s výpadky (N-1)

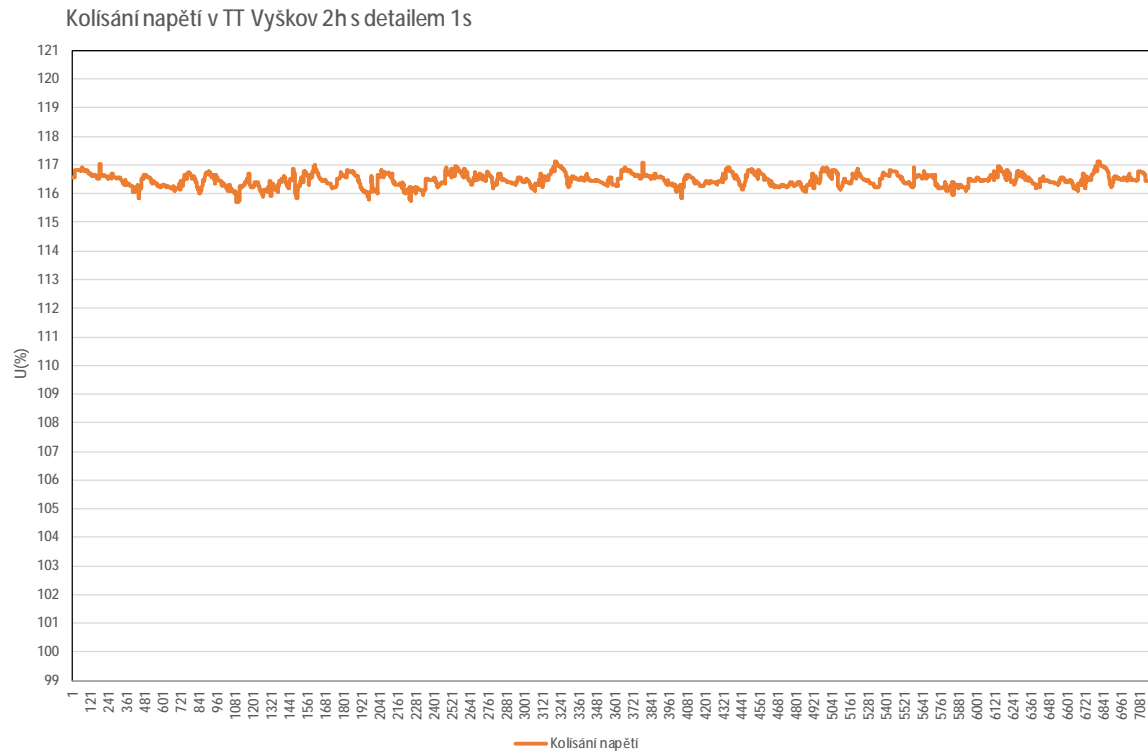
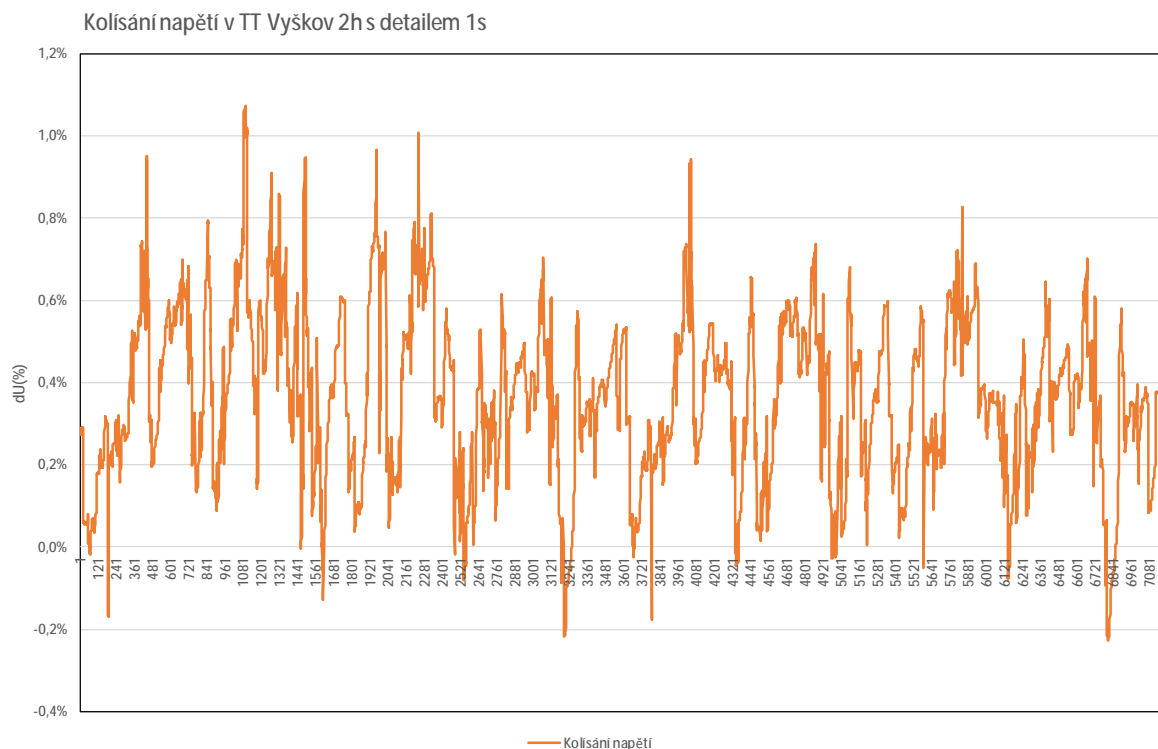
Název		Mezní odebíraný výkon									
		5 MVA	10 MVA	15 MVA	20 MVA	25 MVA	30 MVA	35 MVA	40 MVA	45 MVA	50 MVA
P _{fl} (·)	Říkovice	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17
	Otrokovice	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14
	Nedakonice	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23
	Břeclav	0,11	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,23
	Modřice	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,15
	Brno Černovice	0,09	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19
	Vyškov	0,10	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21
	Kyjov	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,18	0,19

Norma IEC/TR 61000-3-7 v kapitole 10. pracuje s pojmem rychlé změny napětí (Rapid voltage change), jedná se například o změny vzniklé přímým připojením velkých asynchronních motorů, zdrojů jalového výkonu a podobně. Toto také z hlediska strmosti neodpovídá charakteru trakčního odběru. Lze však srovnat maximální povolené ovlivnění sítě připojením těchto typů zdrojů a charakteristického průběhu trakčního odběru.

Výše uvedená norma v tabulce 10. připouští až 10 skokových změn napětí na úrovni 110 kV za hodinu, změna napětí může dosahovat až 2,5 % Un.

Při simulaci průběhu závislosti napětí na odběru trakce u relativně měkkého uzlu Vyškov byly dosahovány změny kolem 1 % Un, četnost špiček je také nižší než 10 za hodinu. I z tohoto pohledu je dopad trakce na kolísání napětí ve 110 kV přijatelný.

Simulace byla provedena pro uzel Vyškov s již dříve použitým diagramem budoucího symetrického odběru trakce při zapojení trakčního vedení s neutrálními poli, procentní kolísání napětí je vztaženo k výchozímu napětí bez odběru trakce. Kolísání je způsobeno pouze odběrem trakce, v rámci řešených 2 hodin nedocházelo k dalším změnám odběrů, které by vyvolaly změnu napětí. Kladná procentní hodnota značí pokles napětí, záporná hodnota značí nárůst napětí (vlivem rekuperace).

Obrázek 9.1 Kolísání napětí vlivem trakce v uzlu 110 kV Vyškov

Tabelárně byly vyhodnoceny četnosti napětí na úrovni 110 kV pro všechny trakční rozvodny, pro stav se zapojením s neutrálními poli a pro stav s realizovanou nepřímou jednotnou fází (s měniči). Četnosti udávají počet sekundových řezů (celkem 7200) při nichž je dosažena odchylka napětí vůči výchozímu

stavu. Z porovnání tabulek pro neutrální pole a pro jednotnou fázi je vidět, že se systémem jednotné fáze dochází k nižšímu kolísání napětí. Další zlepšení by bylo možné dosáhnout při řízení měničů s cílem dosáhnout maximální omezení špiček na jednotlivých napáječkách. Simulační dopravní model SUDOP Brno pracoval s decentrálním pojetím řízením měničů, které se z hlediska rozložení zatížení chovaly jako fiktivní transformátory (měly vnější charakteristiku $U = f(I)$).

Obrázek 9.2 Kolísání napětí 110 kV vlivem trakce – neutrální pole

	Počet sekundových řezů s odchylkou napětí (celkem 7200 s)							
dU (%)	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyškov	Kyjov
1,5 %	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4 %	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3 %	0	0	0	10	0	0	0	0
1,2 %	0	0	0	15	0	0	0	0
1,1 %	0	0	0	97	0	0	22	0
1,0 %	0	0	0	188	0	0	22	0
0,9 %	0	0	0	431	0	0	32	0
0,8 %	0	0	0	374	0	0	220	0
0,7 %	0	0	0	792	0	0	523	2
0,6 %	0	0	0	1085	0	0	1087	17
0,5 %	65	0	71	1187	0	0	1161	106
0,4 %	255	0	714	1290	74	176	1338	311
0,3 %	758	0	1582	703	1020	1252	1288	591
0,2 %	2135	965	2115	446	2611	2677	704	1341
0,1 %	2713	6175	1790	264	2890	2499	571	2043
0,0 %	1071	60	802	198	605	539	168	1822
-0,1 %	157	0	108	72	0	57	33	736
-0,2 %	30	0	18	41	0	0	31	157
-0,3 %	16	0	0	0	0	0	0	61
-0,4 %	0	0	0	7	0	0	0	13
-0,5 %	0	0	0	0	0	0	0	0

Obrázek 9.3 Kolísání napětí 110 kV vlivem trakce – nepřímá jednotná fáze

	Počet sekundových řezů s odchylkou napětí (celkem 7200 s)							
dU (%)	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice	Břeclav	Modřice	Černovice	Vyškov	Kyjov
1,5 %	0	0	0	0	0	0	0	0
1,4 %	0	0	0	0	0	0	0	0
1,3 %	0	0	0	0	0	0	0	0
1,2 %	0	0	0	0	0	0	0	0
1,1 %	0	0	0	0	0	0	0	0
1,0 %	0	0	0	0	0	0	0	0
0,9 %	0	0	0	3	0	0	0	0
0,8 %	0	0	0	93	0	0	0	0
0,7 %	0	0	4	324	0	0	0	0
0,6 %	0	0	78	790	0	0	0	7
0,5 %	0	0	491	1294	24	11	186	152
0,4 %	58	0	2200	2075	414	394	1957	335
0,3 %	1268	0	2855	1647	1806	1816	3275	1568
0,2 %	4623	44	1360	767	3558	3575	1645	2800
0,1 %	1234	7156	201	158	1362	1361	137	1791
0,0 %	17	0	11	45	36	43	0	499
-0,1 %	0	0	0	4	0	0	0	48
-0,2 %	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,3 %	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,4 %	0	0	0	0	0	0	0	0
-0,5 %	0	0	0	0	0	0	0	0

10 Rekuperace

Provozovatel dráhy (SŽDC) má vůči dopravcům zákonnou povinnost zajistit na nových a modernizovaných TNS odběr rekuperované energie (zákon o dráhách č. 266/1994 Sb. ukládá povinnost zajistit interoperabilitu a technická specifikace pro interoperabilitu TSI ENE rekuperaci vyžaduje). V souladu s tím si dopravci pořizují a používají lokomotivy bez brzdových odporníků. Funkčnost elektrodynamického brzdění je proto podmíněna odebráním proudu buď dalšími vozidly, nebo distribuční sítí. Je všeobecnou snahou, aby rekuperovaný proud odebrala další vozidla v trakční síti a přebytky vrácené do distribuční sítě byly minimalizovány. Toho je docilováno zejména vytvářením dlouhých napájených úseků s pravděpodobností výskytu většího počtu vlaků. Pro dodržení podmínky možné rekuperace za všech okolností, tedy i ve stavu kdy se rekuperovanou energií nepodaří spotřebovat v rámci LDS, musí být případné přetoky výkonu ošetřeny smluvně. Stanovení podmínek pro přetok výkonu z TNS jako předacího místa LDS do distribuce musí být řešeno v rámci studie připojitelnosti jednotlivých TNS a v rámci smluvního vztahu pro připojení celé železniční LDS k distribuční soustavě.

U rekuperace se nejedná o primární výrobu elektřiny, ale o navracení části odebrané a krátkodobě akumulované energie (ve formě kinetické či potenciální energie vlaku) zpět do LDS. Navracení části předtím odebrané elektrické energie do distribuční soustavy není pouze specifikem železnice. Problematika rekuperace se vyskytuje i v jiných oblastech (výtahy, jeřáby, doběh regulovaných pohonů), přitom není řešena v rámci Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS).

Objemy navracené energie jsou velmi malé, vždy bude zachován odběrový charakter drážních stanic. V rámci PPDS nebo smlouvy o připojení by měla být stanovena taková pravidla, která umožní bez dalšího detailního posuzování provozování rekuperace s velmi malými objemy navracené energie v přiměřené míře neohrožující bezpečný a spolehlivý provoz distribučních soustav. Tato pravidla musí spolehlivě vyloučit systematické paralelní přetoky přes trakční systém. Existující paralelní přetoky by znamenaly porušení smlouvy o připojení LDS, pokud nejsou smlouvou povoleny.

Na základě simulovaných budoucích průběhů odběrů a dodávek energie získané rekuperací pro TT v řešeném trojúhelníku jsou navrženy následující body, které by mohly být využity v rámci úprav PPDS nebo při realizaci smluvního vztahu.

O rekuperaci se jedná a je přípustná, pokud jsou zároveň splněny následující body pro jedno vazební místo s TT:

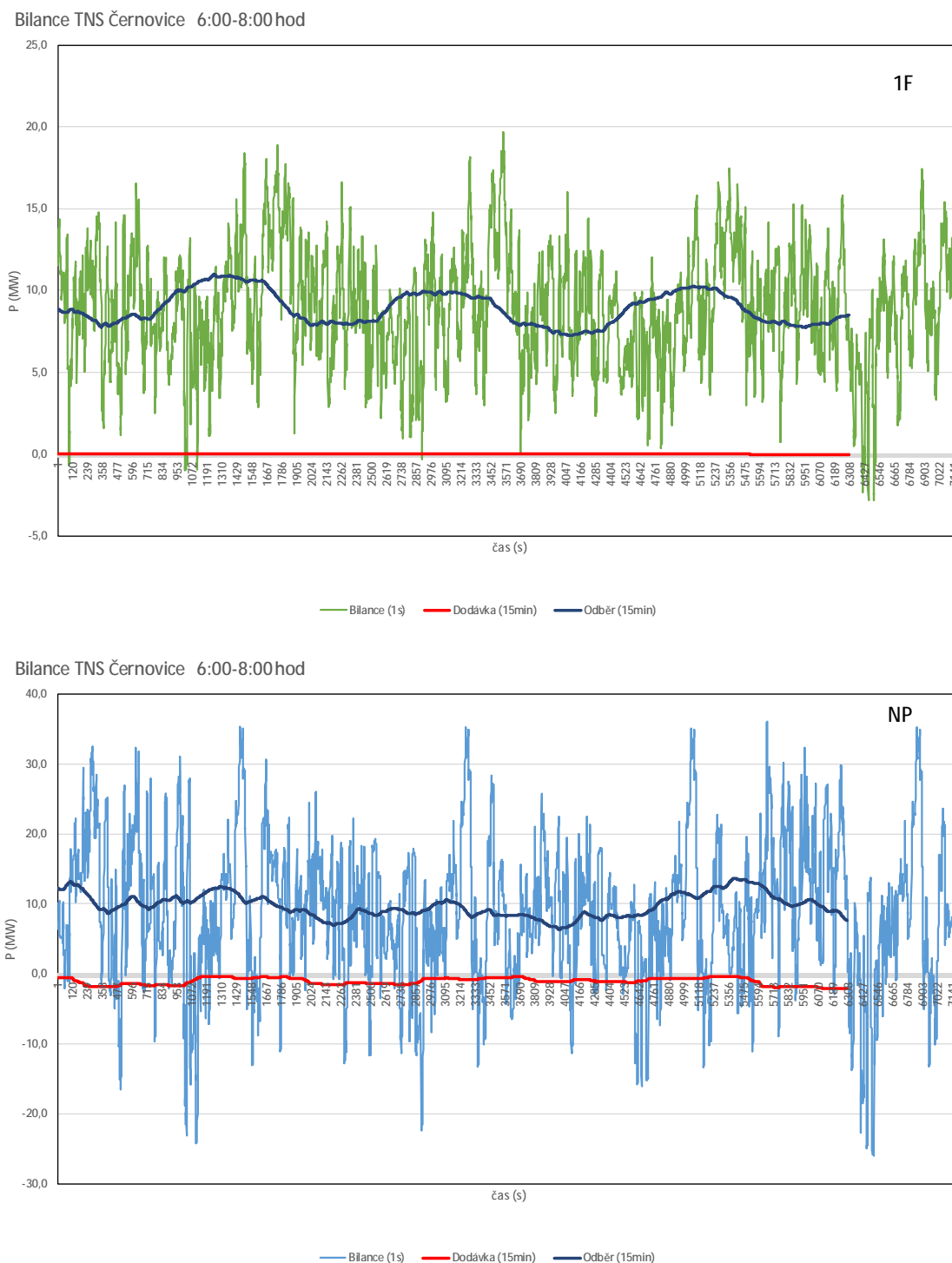
- Dodávka energie do DS během čtvrt hodiny nesmí překročit hodnotu 30 % energie odběru za tutéž čtvrt hodinu.
- Dodávka energie do DS během jednoho dne nesmí překročit hodnotu 5 % energie odběru za daný den.

V případě, že by některé trakční úseky tato kritéria nesplňovaly, bylo by třeba výpočetně posoudit dopady rekuperace na síť 110 kV.

Na následujících grafech je průběh reálné bilance konkrétní TNS po sekundových řezech a průběh 15 minutových hodnot z plovoucího okna. U 15minutových hodnot je vyhodnocována vždy zvlášť dodávka (rekuperace) a odběr. 15minutové okno znamená že pro každou sekundu se spočítá průměrná hodnota za následujících 900 sekund (15 minut). Tento způsob vylučuje nepřesnosti, které by vznikly rozdělením řešených 2 hodin na 8x15 minut. Požitou metodou lze z daného průběhu odečíst teoretickou maximální i minimální čtvrt hodinu.

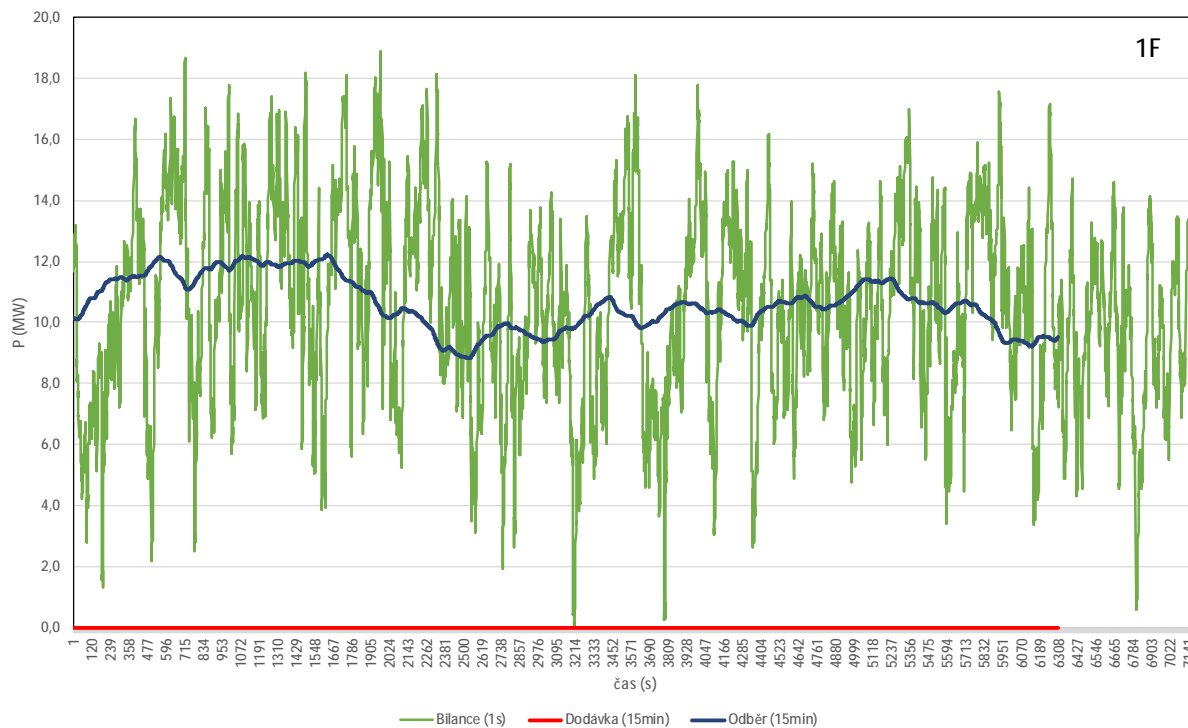
Hodnoty jsou pro neutrální pole a pro nepřímou jednotnou fázi. Z průběhů je patrné, že u systému nepřímé jednotné fáze nedochází prakticky k přetoku rekuperované energie do sítě. U systému s neutrálními poli sice nedochází k vysokým 15 min. hodnotám dodávky rekuperované energie, ale špičky dodávaného výkonu jsou značné.

Obrázek 10.1 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Černovice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

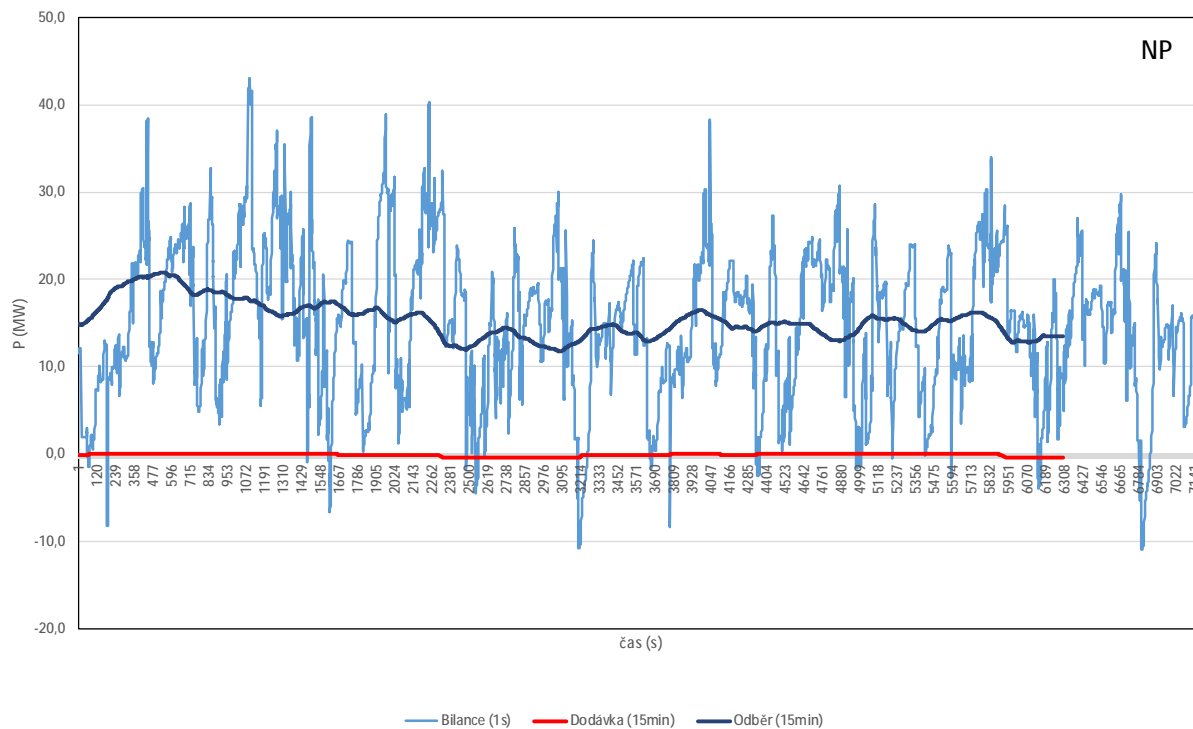


Obrázek 10.2 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Vyškov pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

Bilance TNS Vyškov 6:00-8:00 hod

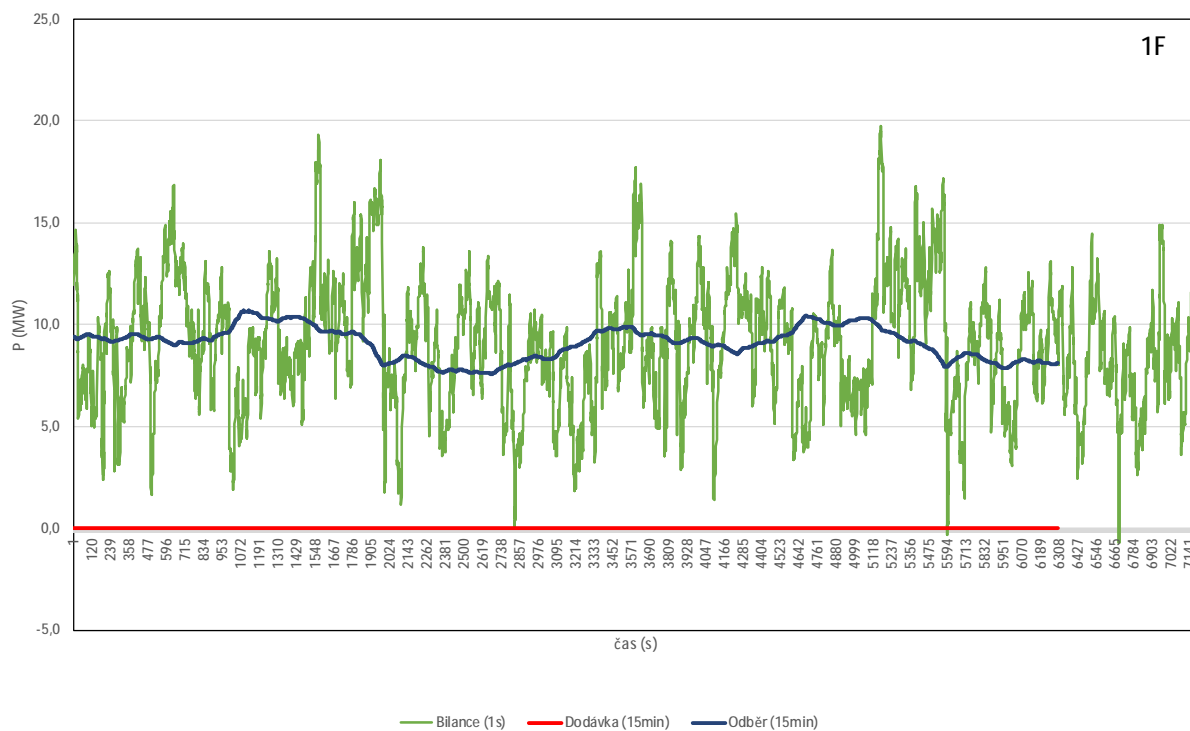


Bilance TNS Vyškov 6:00-8:00 hod

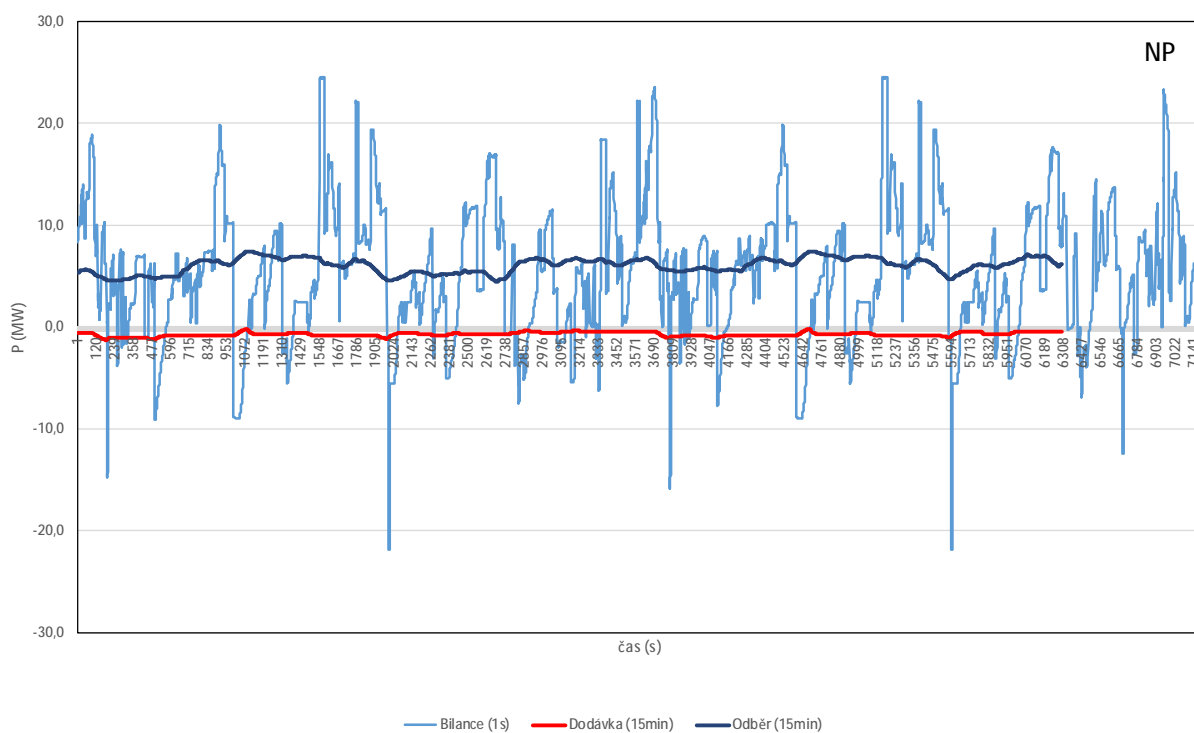


Obrázek 10.3 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Říkovice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

Bilance TNS Říkovice 6:00-8:00 hod

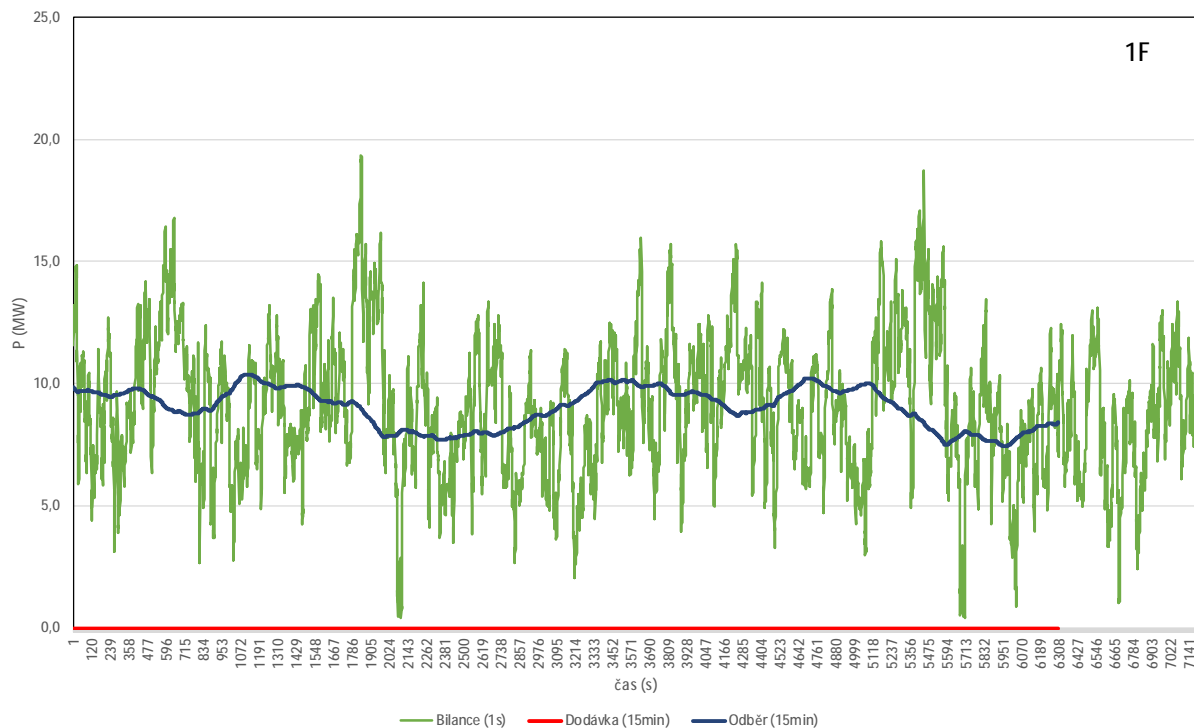


Bilance TNS Říkovice 6:00-8:00 hod

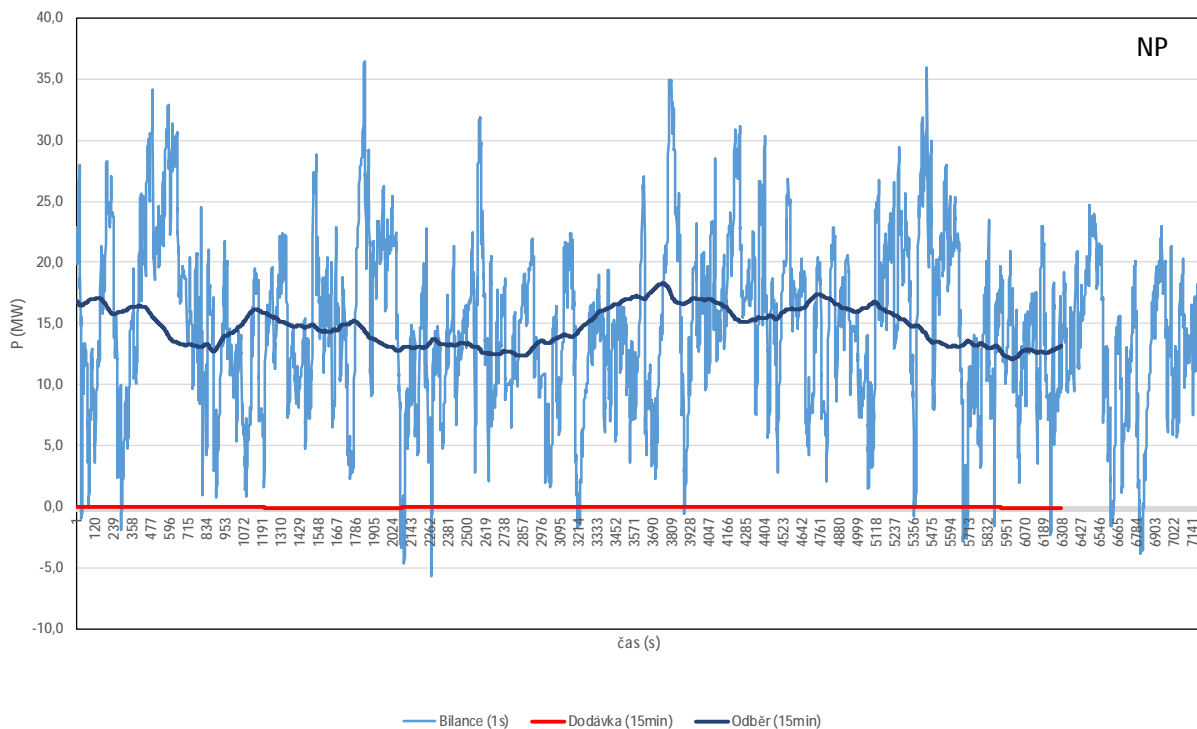


Obrázek 10.4 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Otrokovice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

Bilance TNS Otrokovice 6:00-8:00 hod

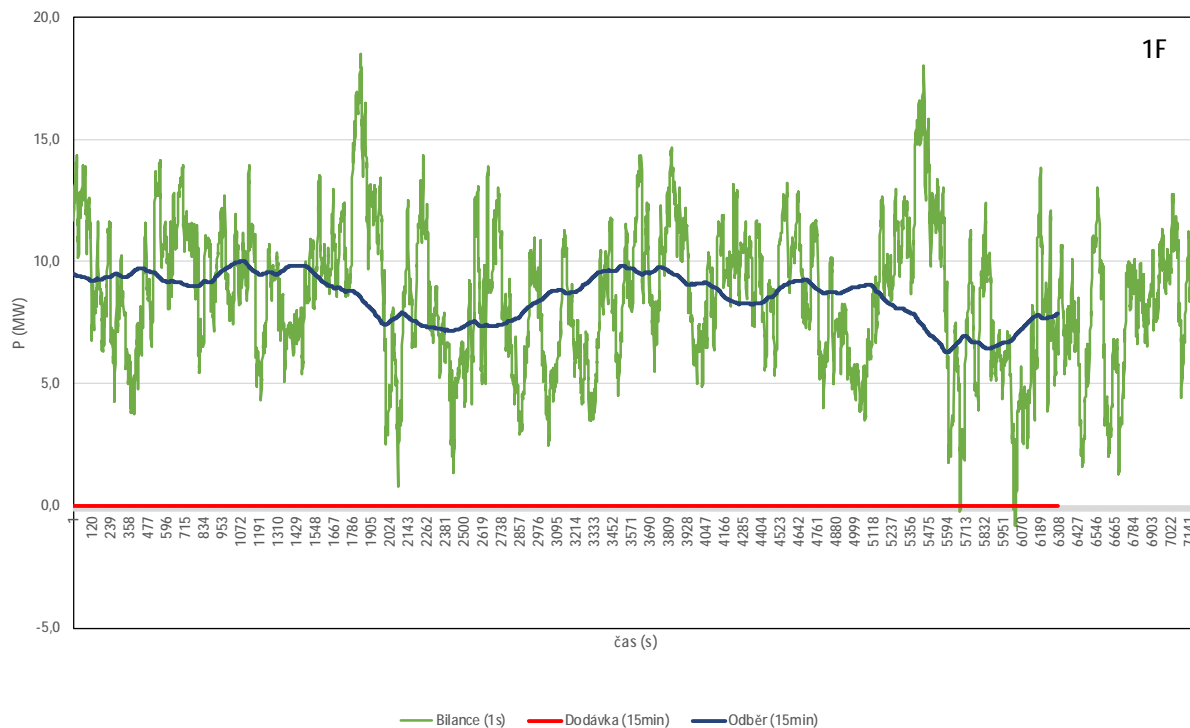


Bilance TNS Otrokovice 6:00-8:00 hod

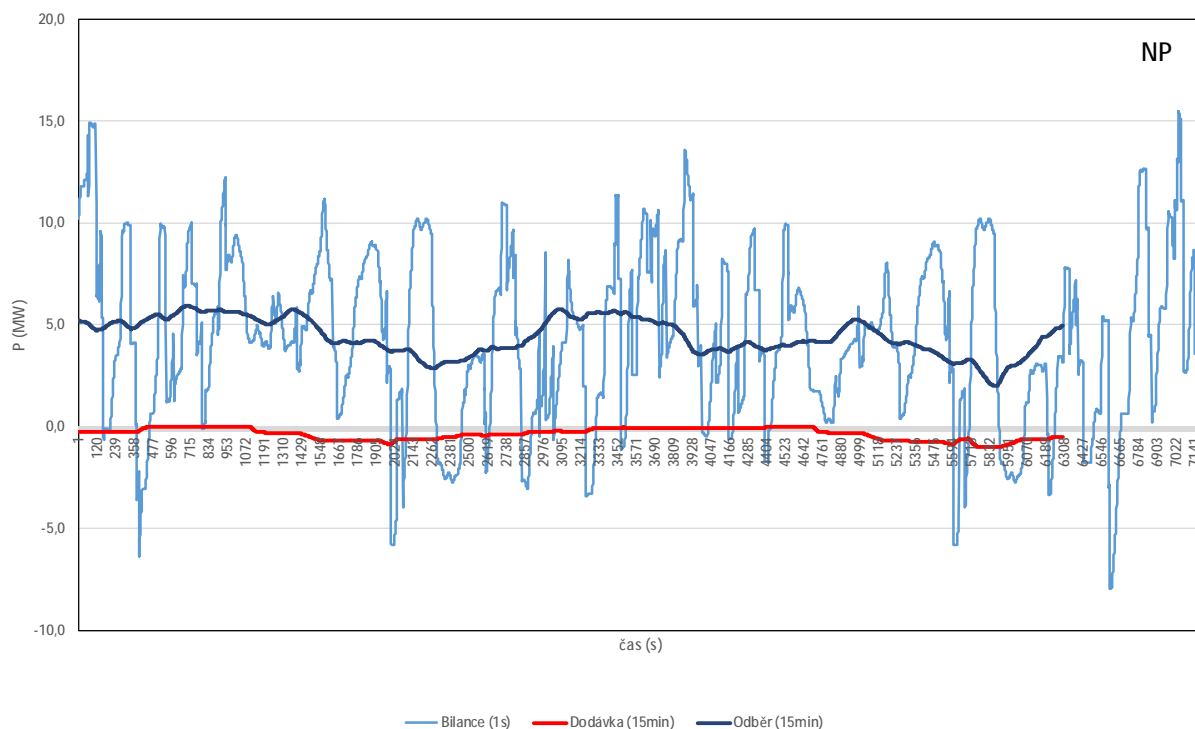


Obrázek 10.5 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Nedakonice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

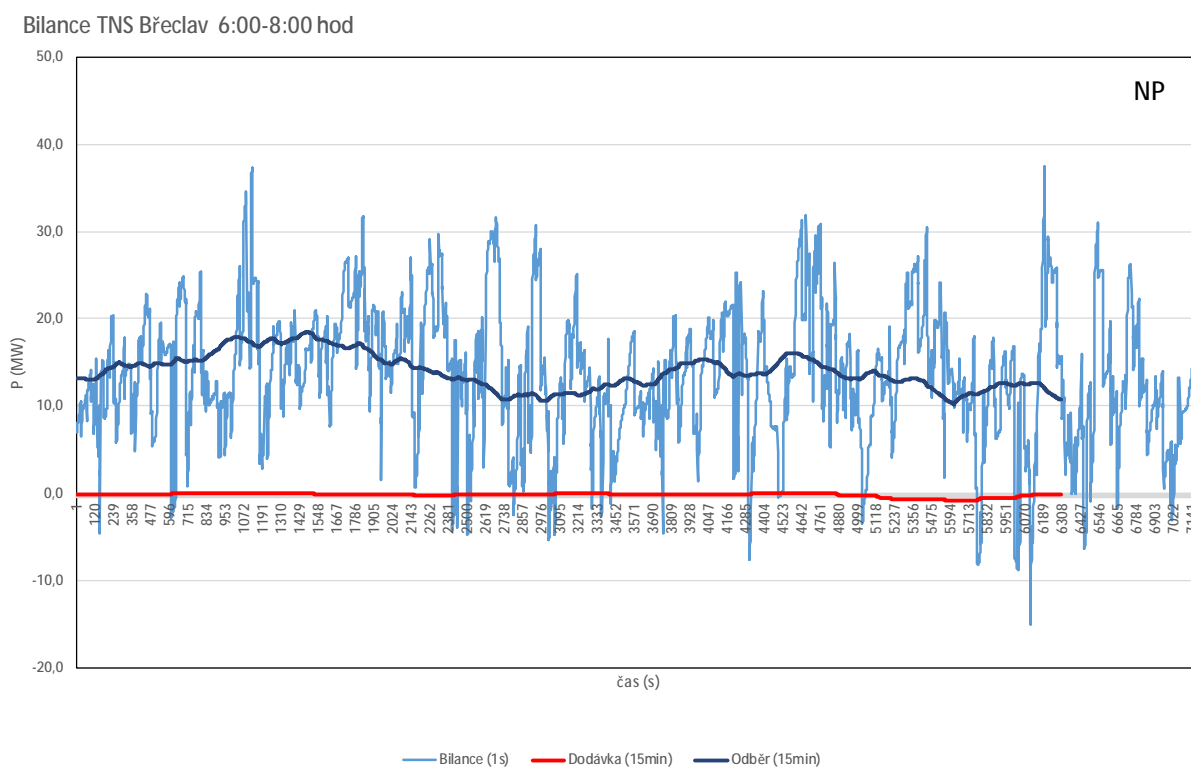
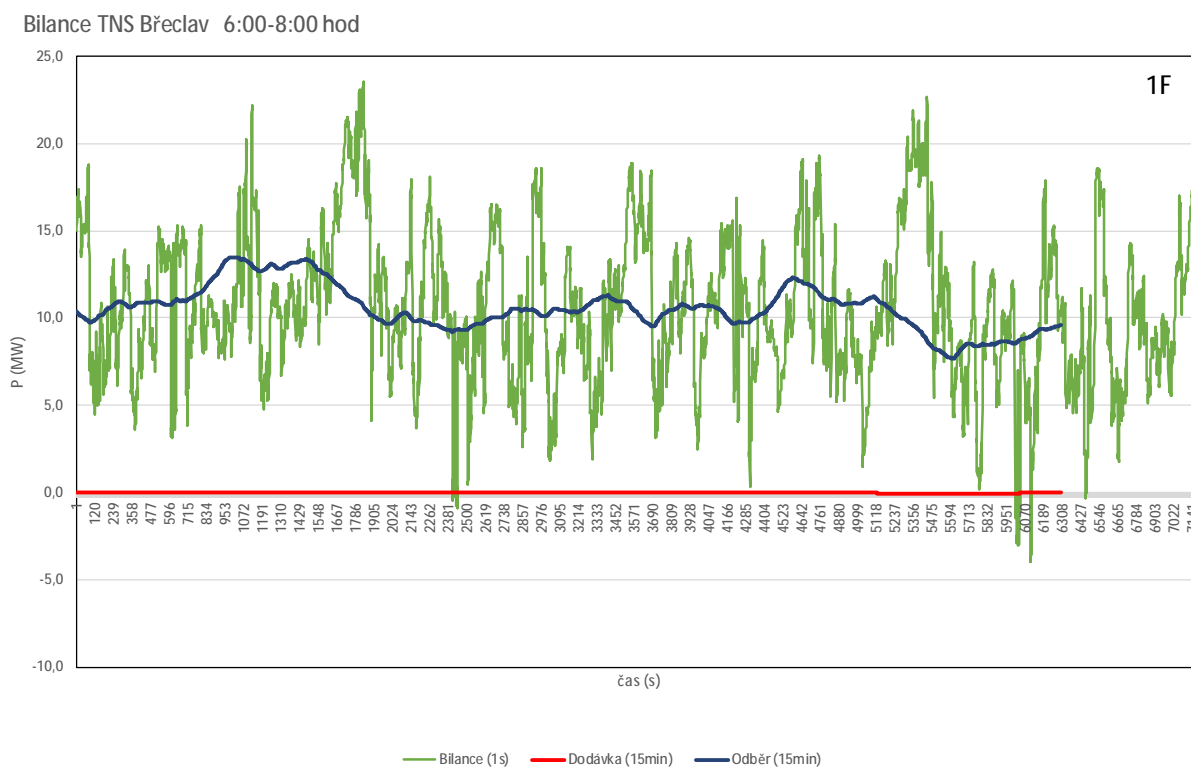
Bilance TNS Nedakonice 6:00-8:00 hod



Bilance TNS Nedakonice 6:00-8:00 hod

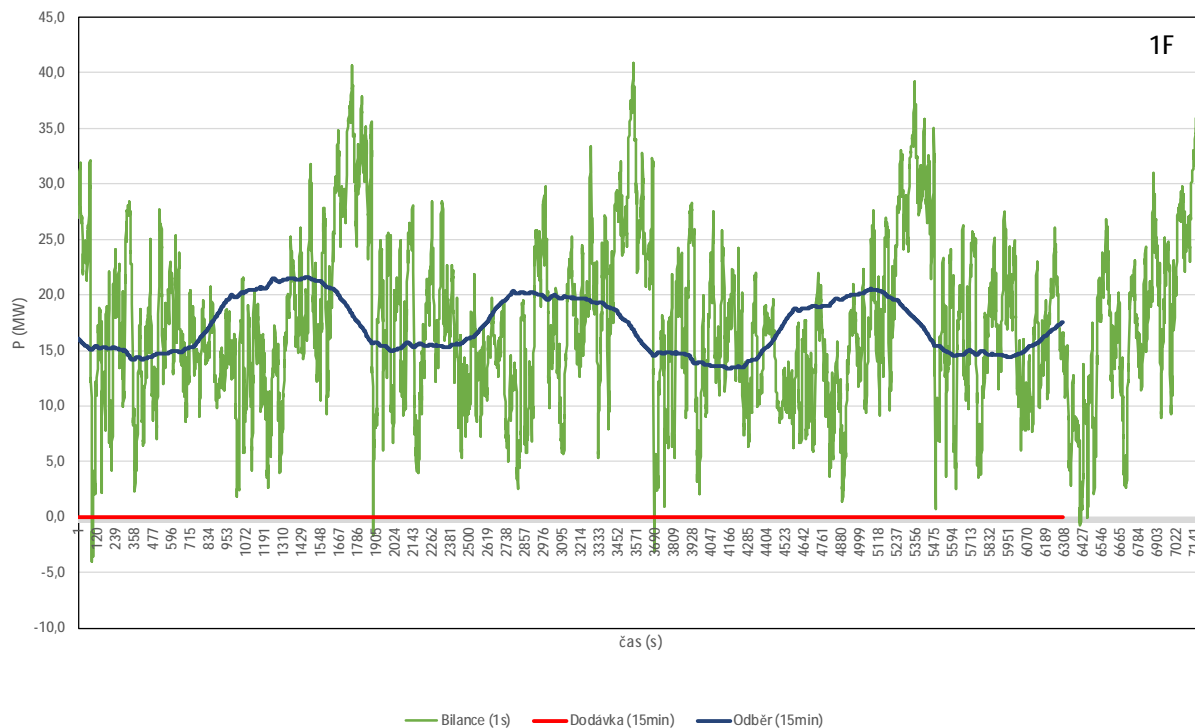


Obrázek 10.6 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Břeclav pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

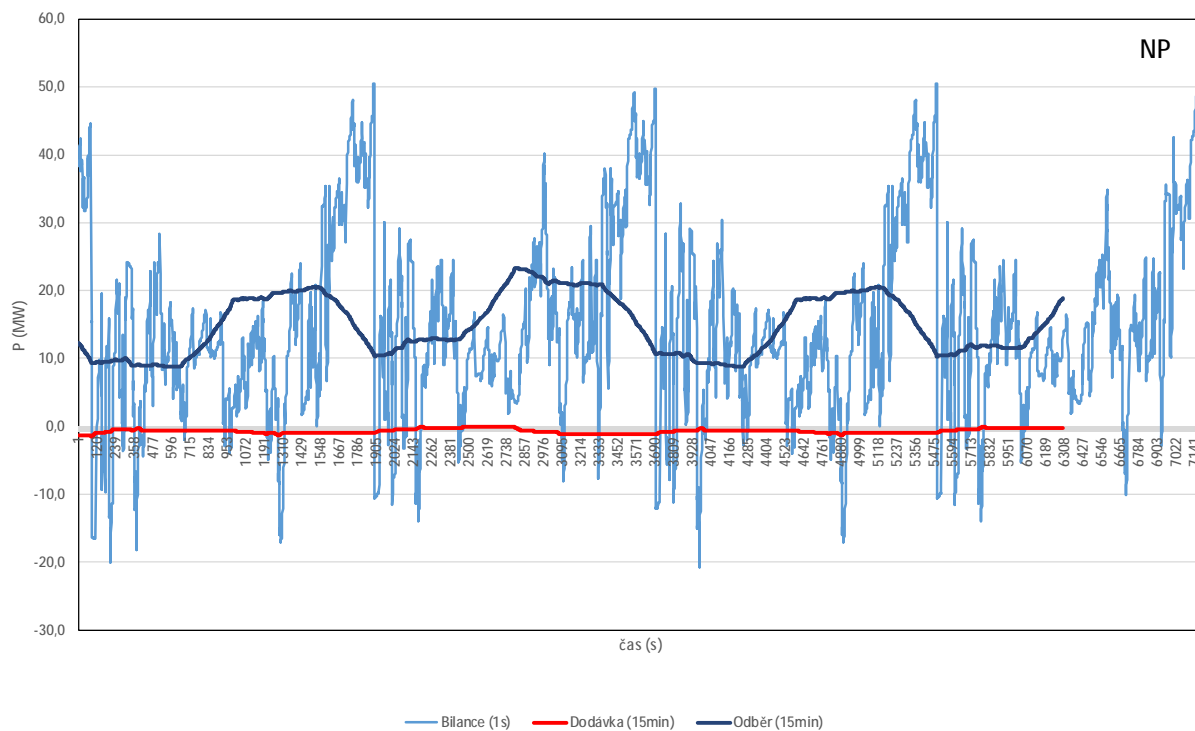


Obrázek 10.7 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Modřice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

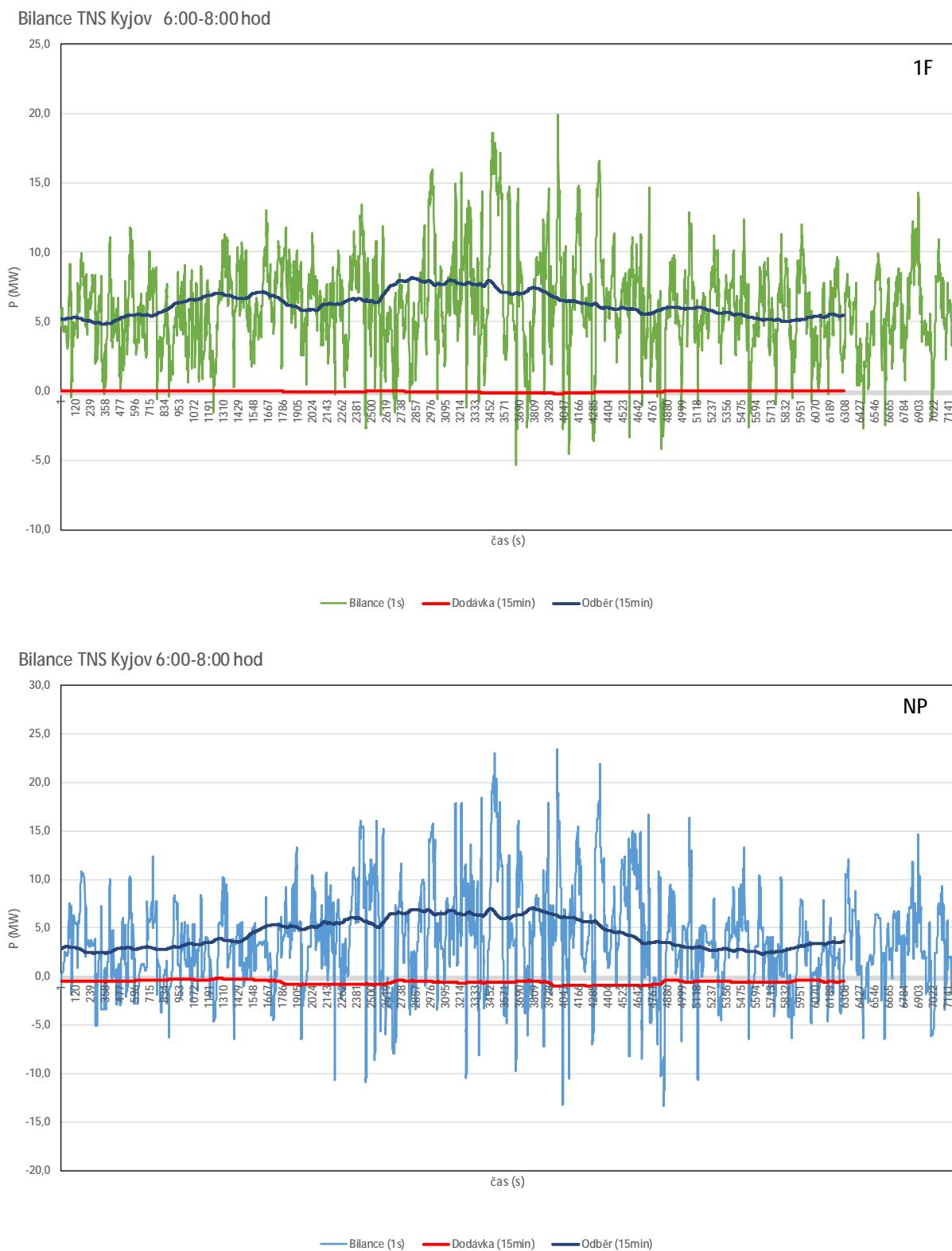
Bilance TNS Modřice 6:00-8:00 hod



Bilance TNS Modřice 6:00-8:00 hod



Obrázek 10.8 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Kyjov pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)



11 Meze vyšších harmonických a udržování účinníku

Otázka velikosti emisí vyšších harmonických je výrazně ovlivněna typy vozidel, které budou v rámci řešených úseků nasazovány. V případě nasazení nových vozidel nelze předpokládat negativní dopady nad rámec požadavků PNE 33 3460-0. V případě nasazování vozidel starší konstrukce (s nízkým účinníkem a nesinusovým proudem) by bez dalších opatření nebyly požadavky splněny. Řešení nevyhovujících poměrů z hlediska emisí vyšších harmonických může spočívat v nasazení problematických FKZ stávající koncepce (avšak po jejich dořešení tak, aby nebyly poškozovány moderními vozidly se vstupními čtyřkvadrantovými měniči – rezonanční jevy), v nasazení aktivní kompenzace harmonických na bázi IGBT, nebo nasazením řešení, které neumožňuje přenos harmonických už přímo z principu fungování zařízení trakční stanice (měničové technologie).

Řešení v podobě byť dočasného provozování starších lokomotiv bez odpovídajících opatření proti emisím vyšších harmonických není pro distribuci přijatelné.

Schopnost udržovat účinník na požadované hodnotě mají všechny uvažované technologie pro nové trakční stanice kromě transformátorů bez kompenzačních zařízení. Zde lze tedy očekávat vyhovující stav vůči požadavkům PDS za všech okolností. Naopak kompenzační výkon trakčních zařízení by bylo možné využít také pro potřeby distribuční soustavy. V současnosti však tento typ služeb není ze strany PDS poptáván jako nefrekvenční podpurná služba. Toto se však v blízké budoucnosti pravděpodobně změní. Z hlediska objemu regulační energie i z hlediska rovnoměrnosti rozmístění trakčních stanic po soustavě se jedná o velmi zajímavé řešení, které může sloužit pro regulaci bilance jalového výkonu v rámci distribuční soustavy. Například 80 trakčních stanic se schopností regulace Q v rozsahu ± 10 MVar/stanice by dokázalo vyrovnat celou současnou bilanci DS vůči PS. Vysoká bilance Q generovaného sítěmi DS je v současnosti na mnoha místech soustavy zdrojem problémů.

Tuto problematiku doporučujeme dále sledovat a řešit ve spolupráci se SŽDC a provozovateli distribučních sítí.

12 HDO

Ovlivnění systému HDO odběrným místem řeší norma PNE 33 3430-6. U současné střídavé trakce je ovlivnění systému HDO vyřešeno prostřednictvím FKZ, které zároveň funguje jako hradící člen vůči signálům HDO.

Chování budoucího trakčního zařízení vůči signálu není možné posoudit bez detailní znalosti konkrétních parametrů zařízení. U studie připojitelnosti se posuzuje ekvivalentní impedance zařízení na kmitočtu HDO a její dopad na snížení hladiny signálu HDO v místě připojení. Pokud je dopad připojovaného zařízení na signál HDO vyšší, než umožňuje PNE, je nutné realizovat opatření pro snížení dopadů. To znamená ve velké většině případů realizaci hradícího členu. Hradící člen je rezonanční obvod, to potenciálně může způsobovat budoucí problémy ve vzájemné interferenci různých rezonančních obvodů na trakci.

Další podmínkou je, že zařízení nesmí vysílat rušivá napětí na kmitočtu HDO a v jeho bezprostřední blízkosti. Rušivé napětí na kmitočtu HDO, způsobené zařízením zákazníka nebo ležící v bezprostřední blízkosti tohoto kmitočtu, nesmí překročit hodnotu $0,1 \% U_n$. K chybné funkci přijímačů HDO mohou v důsledku modulačních efektů vést rovněž rušivá napětí s odstupem ± 100 Hz od použitého kmitočtu HDO. Rušivá napětí s odstupem ± 100 Hz od kmitočtu HDO způsobená zařízením zákazníka nebo ležící v bezprostřední blízkosti těchto kmitočtů, nesmí být vyšší než $0,3 \% U_n$.

PNE přímo neřeší možné přenášení signálů přes trakční vedení mezi oblastmi distribuce s různým kmitočtem HDO a s různými telegramy. Takto pojaté provozování LDS totiž pravděpodobně není v praxi zatím nikde uplatněno. Lze očekávat, že pokud bude dostatečná impedance trakční stanice (na kmitočtu HDO), nebudou přenosy signálů HDO dosahovat problematických hodnot. V případě, že by se v průběhu času ukázala daná věc jako problematická, může PDS využít větu z PNE: „PDS může požadovat na zákaznících úhradu nákladů vyvolaných investicemi pro omezení zpětných vlivů, nebo úhradu podílu na nich.“

13 Závěry

Z hlediska budoucího provozu se nepodařilo najít trakční rozvodny, mezi kterými by mohl být provozován systém přímé jednotné fáze, tedy jednotná fáze s přímou vazbou na distribuci přes trakční transformátor. Ve většině případů by docházelo k přetokům výkonu mezi trakčními stanicemi, které by byly pro provozovatele distribuční soustavy neakceptovatelné. Při poruchových stavech v rámci distribuce a přenosové soustavy by mnohdy jediným řešením bylo rozdělení jednotné fáze neutrálními poli. S ohledem na zajištění bezpečného a spolehlivého provozu distribučních soustav nelze provozovat systém jednotné fáze s přímou vazbou na distribuci přes trakční transformátor.

U systému nepřímé jednotné fáze (systém bez přímé vazby na DS, kdy je propojení realizováno přes měnič), k žádným přetokům výkonu přes trakční systém nedochází (pokud nejsou řízeně umožněny). Z výpočtů bylo jasně patrné snížení špiček odběru na jednotlivých trakčních stanicích a také výrazná minimalizace přetoků rekuperované energie ve směru do DS. I u systému s neutrálními poli je množství rekuperované energie malým zlomkem energie trakčním systémem spotřebované.

Z hlediska nesymetrie napětí, která by byla v budoucnu způsobována připojením trakčních stanic dle současné koncepce, bylo prokázáno, že by byly nevyhovující všechny TNS v řešené oblasti. Při budování nových TNS je nezbytné zvolit takovou technologii, která zajistí symetrický odběr z DS (přímá vazba s balancéry, nebo vazba přes měnič).

Z hlediska flikru a kolísání napětí způsobeného změnami odběru na úrovni 110 kV nebyly nalezeny problematické rozvodny.

Všechny uvažované technologie TNS (kromě přímého napojení bez FKZ) umožňují kompenzovat jalový výkon v potřebném rozsahu. Balancéry a měničová technologie z principu své funkce mohou dodávat či odebírat jalový výkon ve velikostech, které potenciálně umožní fungování těchto zařízení jako prostředku poskytující podpůrné služby PDS. Z hlediska přenosů emisí vyšších harmonických ze starších lokomotiv do distribuce je bez dalších opatření vyhovující pouze měničová technologie (přes DC stupeň se harmonické nepřenáší). U trakčních stanic stávající koncepce nebo u stanic s balancérem by bylo stále nutné provozovat filtrační zařízení.



www.egubrno.cz