

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

I. etapa: Analýzy v úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice

duben 2017

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

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

Evidenční čísla smluv: 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

I. etapa: Analýzy v úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice

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

Zpracováno ve spolupráci se zadavatelem

Obsah

Obsah	5
1 Úvod	7
2 Spolupráce napěťových soustav	7
2.1 Koncepce provozu PS a DS z hlediska napěťových hladin.	7
2.2 Současná koncepce napájení trakčního systému 25 kV	9
2.3 Nová koncepce napájení systému 25 kV	11
3 Faktory ovlivňující velikost paralelního toku výkonu	14
3.1 Veličiny ovlivňující tok výkonu	14
3.2 Podmínky pro napájení trakce z hlediska provozu PS, transformace i DS 110 kV	15
3.3 Závislosti při vícestranném napájení trakčního systému	22
4 Modelování trakčního systému	24
4.1 Ověření simulačního modelu	27
5 Výpočty paralelního provozu DS a trakce v oblasti TNS Říkovice, Otrokovice a Nedakonice	28
5.1 Způsob modelování nadřazené soustavy a vzájemného provozu s trakcí	28
5.2 Variantní řešení základního zapojení	28
5.3 Výsledky za varianty	30
5.4 Výpočty při neúplném zapojení DS a PS	41
5.5 Zatěžování trakčních transformátorů při průjezdu vlaku	46
5.6 Poměry na trakčních rozvodnách jihozápadní Moravy	49
6 Zkratové poměry	50
7 Shrnutí výsledků	56
Přílohy	56

1 Úvod

Cílem studie je prověřit dopad přechodu napájení trakce na střídavé napětí 25 kV se systémem „jednotné fáze“ na distribuční síť 110 kV E.ON Distribuce a ČEZ Distribuce. Celková analýza bude provedena v oblasti vymezené trojúhelníkem Brno–Přerov–Břeclav. Předkládaná I. etapa řešení se zabývá analýzou v úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice. Výpočty elektrických sítí budou v této I.etapě zaměřeny na oblasti distribučních sítí 110 kV zahrnující stávající trakční stanice Nedakonice, Otrokovice (oblast sítí E.ON Distribuce) a Říkovice (oblast sítí ČEZ Distribuce)

II.etapa řešení bude zpracována následně a bude zahrnovat 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. Na základě simulačních výpočtů jsou stanoveny úhly napětí v napájecích stanicích 110 kV a toky výkonu přes trakční systém v porovnání se stavem bez propojení trakčních napájecích stanic systémem jednotné fáze. Obdobné analýzy byly provedeny pro méně četná nestandardní zapojení (náhradní a poruchová schémata) uzlových oblastí 110 kV a poruchové stavy – výpadky napájecích transformátorů z přenosové soustavy PS/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.

2 Spolupráce napěťových soustav

2.1 Koncepce provozu PS a DS z hlediska napěťových hladin.

Na úrovni napětí přenosové soustavy (400 kV, 220 kV) je síť provozována jako zauzlená, v základním zapojení v ní nejsou vyděleny části, které pracují mimo synchronní režim se sousedními synchronními soustavami. Systémy 400 kV a 220 kV jsou propojeny přes vazební transformátory 400/220 kV.

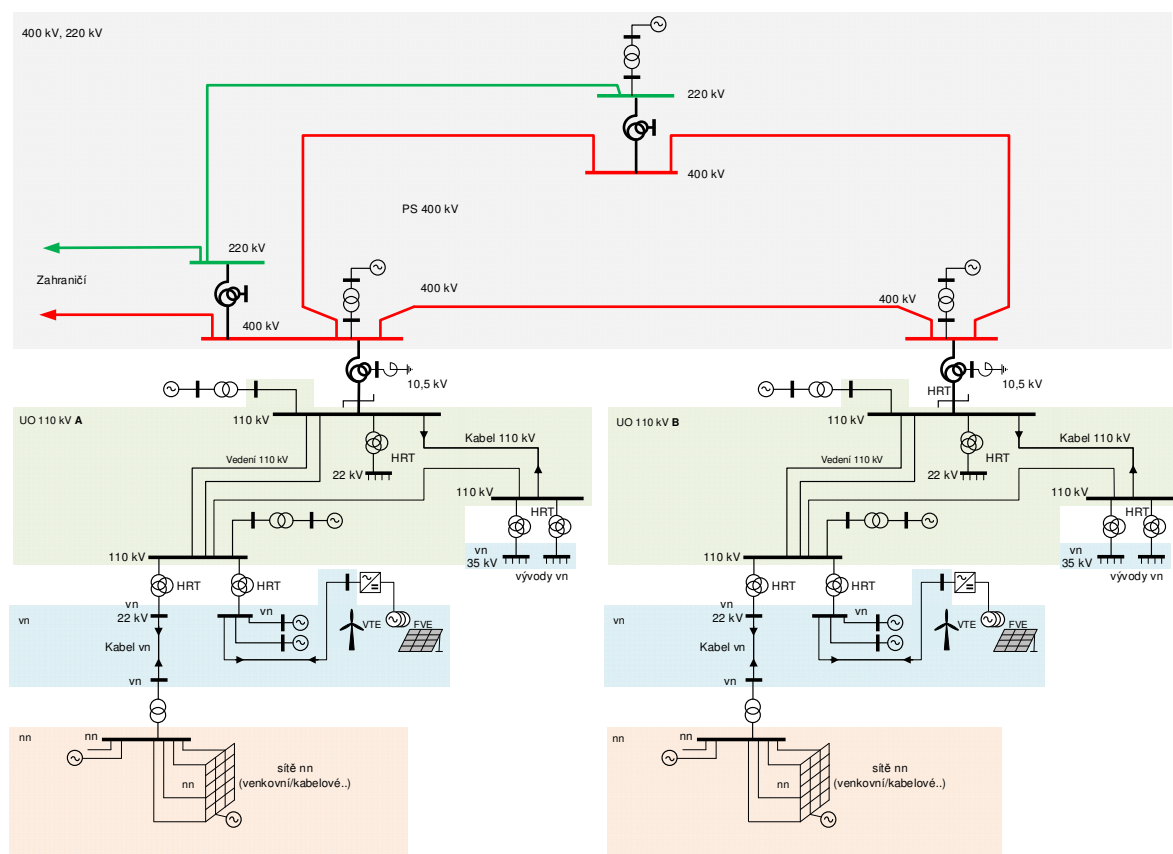
Přenosová soustava je s distribucí propojena transformátory 400/110 kV a 220/110 kV. Tyto transformátory zásobují tzv. uzlové oblasti, což jsou vydělené oblasti sítí 110 kV, které jsou napájeny transformátorem nebo transformátory z jednoho uzlu PS. V určitých případech se používá tzv. paralelní provoz DS vůči PS, kdy je uzlová oblast 110 kV napájena transformací z více uzlů PS. V podmínkách ČR se nejedná o standardní stav a je použit většinou v oblastech, kde jsou kladeny vysoké nároky na spolehlivost napájení systému 110 kV. V současnosti je tento způsob provozován pouze ve dvou lokalitách, které se však netýkají oblasti řešené v této studii. Paralelní provoz je

realizován u elektricky blízkých rozvodů, v případě nedodržení této podmínky mohou negativa tohoto typu provozu převážet nad jeho přínosy. Krátkodobé napájení uzlové oblasti z více uzlů PS se také používá při manipulacích na úrovni 110 kV.

Sítě VN (22 kV, 35 kV) jsou také provozovány v naprosté většině případů s napájením z jednoho vazebního bodu – transformace 110 kV/ VN. Důvodem je snazší možnost chránění, větší přehlednost dispečerského řízení a také absence paralelních toků výkonů vnutených vyššími napěťovými hladinami. Stejně jako na úrovni 110 kV je vícestranné napájení většinou záležitostí nestandardních zapojení či manipulačních stavů.

Toto tradiční pojetí elektrizační soustavy s jednosměrným tokem elektrické energie od výroby elektrické energie k její spotřebě v posloupnosti PS – DS110 kV – VN - NN je (a stále více bude) modifikována změnou centralizované výroby elektrické energie na decentralizovanou. Sítě VN a NN již nemají výhradně spotřební charakter a získávají též charakter výrobní. Přitom zpravidla jde o výrobu s časově nepredikovatelným chováním, která náhodně mění směr toku činného výkonu v NN, VN i vedeních 110 kV. To se významně týká i posuzované oblasti. Zejména v její jižní části byly v nedávné době vybudovány mohutné fotovoltaické elektrárny (FVE), které svým špičkovým výkonem přesahují obvyklou spotřebu v dané lokalitě.

Obr. 2.1 Struktura uspořádání přenosové a distribuční sítě v elektrizační soustavě ČR



2.2 Současná koncepce napájení trakčního systému 25 kV

Elektrizace železnic byla v ČR zahájena stejnosměrným systémem 3 kV, který využívá dvoustranné napájení (usměrňovače brání vzniku vyrovnávacích proudů). Původně od sebe byly jednotlivé meziměřírenské úseky elektricky odděleny. V současnosti již je praktikováno spojitě napájení, záležitost vzdálených zkratů je řešeno vazbou napáječových rychlovypínačů (blízká trakční napájecí stanice vypíná při zjištění nadproudu a zároveň dává pokyn k vypnutí i sousedním napájecím stanicím).

Od počátku aplikace elektrizace železnic střídavým systémem 25 kV 50 Hz bylo v ČR řešeno téma připojení jednofázového spotřebiče (elektrická vozidla) ke třífázové distribuční soustavě. Nesymetrický odběr proudu (respektive výkonu) ze třífázové soustavy totiž vlivem vnitřní impedance sítě vede ke vzniku nesymetrie napětí. Aby mohl dodavatel elektrické energie zajistit všem odběratelům symetrii dodávaného napětí, může připustit nesymetrický odběr jen do určité výše. Přibližně platí, že nesymetrie napětí odpovídá poměru nesymetricky odebíraného výkonu ku zkratovému výkonu v místě odběru. Pro jednotlivé odběratele stanoví PNE 33 3430 mezní hodnotu nesymetrického odběru 0,7 %, platnou pro 10minutové maximum.

Trakční transformovny na železničních elektrizovaných systémech 25 kV jsou zpravidla opatřeny dvojicí jednofázových transformátorů. Ty jsou obvykle ve standardním zapojení provozovány v zapojení do V:

- jeden transformátor, připojený na primární straně ke dvojici fází DS, napájí úsek od napájecí stanice k začátku trati,
- druhý transformátor, připojený na primární straně k jiné dvojici fází DS, napájí úsek od napájecí stanice ke konci trati.

V důsledku toho je trakční vedení napájeno nespojitě. Místa přerušeného napájení v důsledku střídání fází jsou v trakčním vedení umístěna jak u každé trakční napájecí stanice (TNS), tak zhruba uprostřed mezi nimi. Tam je umístěna podélná spínací stanice, která je v základním provozním stavu rozpojena. Při typické vzdálenosti trakčních napájecích stanic 50 km se tedy zhruba každých 25 km mění fáze napětí 25 kV v trakčním vedení. V místech střídání fází je v trakčním vedení vloženo neutrální pole, přes které musí vlaky projíždět s vypnutým odběrem proudu, aby nezpůsobily mezifázový zkrat.

Toto uspořádání má mnohé nevýhody, jejichž význam s časem narůstá:

- s rostoucí rychlostí jízdy vlaků roste výkon vozidel (u lokomotiv z tradičních 3 MW na současných 6 MW) a s tím i špičkové odběry. Mezní hodnota nesymetrického odběru z DS je u trakčních transformoven napájených z DS v místě slabšího zkratového výkonu DS citelně překračována,
- s rostoucí rychlostí jízdy vlaků klesá doba jízdy mezi místy střídání fází (vzdálenost 25 km ujezdí vlak při rychlosti 160 km/h za 9 minut),
- vypínání odběru vede k řadě komplikací (obtěžuje strojvedoucího, opotřebovává přístroje, znemožňuje vyvíjení tažné síly, znemožňuje rekuperační brzdění, komplikuje provoz klimatizačních agregátů a dalších elektrických spotřebičů ve vozidlech,
- délkově omezuje úseky, na kterých se sčítají (a navzájem se doplňují, respektive vyrovnávají) okamžité odběry výkonů jednotlivými vlaky. V důsledku toho je odběr výkonu z transformátoru v trakční napájecí stanici (a tím i zatížení navazující DS) časově velmi proměnný, nastává nepříznivě velký poměr maximálního a středního výkonu,

- délkově omezuje úseky, na kterých si vozidla mohou navzájem předávat rekuperovanou energii – v trakčním vedení často vzniká přebytek rekuperované energie a s tím požadavek jej dodávat zpět do DS.

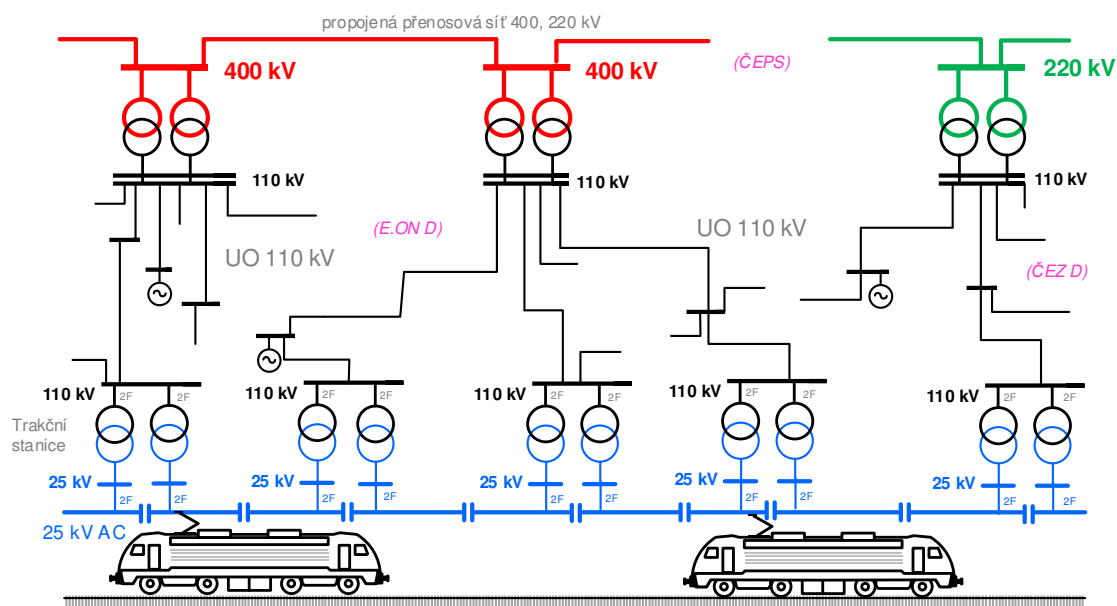
Tyto fyzikální jevy jsou nyní ještě zdůrazněny perspektivním přechodem železnic v ČR na jednotný systém napájení 25 kV, který schválila Centrální komise MD ČR v prosinci roku 2016.

Důvodem k přechodu na jednotný systém 25 kV, tedy přeměna (konverze) tratí dosud elektrizovaných systémem 3 kV na 25 kV, je více:

- nízká přenosová schopnost trakčního vedení při napětí 3 kV neumožňuje plnohodnotně napájet výkonná vozidla ani zajistit jízdu vlaků v těsném sledu, který tratě umožňují; k zajištění potřebné kvality napájení by bylo nutno dosavadní vzdálenost stejnosměrných trakčních napájecích stanic (cca 25 km) snížit na polovinu, a to výstavbou podpůrných měníren (a zajistit přívod VN elektrické energie k nim),
- vysoké ztráty energie v trakčním vedení (běžně i kolem 20 %),
- potíže s poškozováním kovových konstrukcí bludnými proudy,
- velmi vysoké náklady na elektrizaci dalších tratí (těžké trakční vedení, velký počet napájecích stanic a nutnost jejich připojení k DS, protikorozní opatření aj., která je v ČR připravována,
- nepoužitelnost pro vysokorychlostní tratě, jejichž vybudování se v ČR připravuje.

Trakční systém 25 kV je v současném pojetí podobný provozu distribučních sítí napěťové úrovně VN. Napájecí stanice 25 kV zásobují vydělený úsek trakčního vedení, k trvalé spolupráci více trakčních stanic, napájejících jeden úsek trakčního vedení, nedochází. Vícestanné napájení není dost často ani možné, protože trakční transformátory jsou napájeny z různých fází distribuční sítě 110 kV, v případě sepnutí by došlo k mezifázovému zkratu.

Obr. 2.2 Současný způsob napájení trakčního systému 25 kV v návaznosti na síť ES ČR (jednofázové transformátory zapojené do V)



2.3 Nová koncepce napájení systému 25 kV

Příprava elektrizace dalších tratí, a s ní související konverze tratí v severní části ČR, dosud elektrizovaných systémem 3 kV, již na jednotný systém 25 kV, vedou k potřebě řešení výše uvedených nedostatků tradičního napájení systému 25 kV:

- zajistit potřebný výkon pro napájení vlaků (rostoucí počet, hmotnost a rychlost jízdy vlaků, nová výkonnější vozidla, elektrizace odbočných tratí),
- dodržet podmínky symetrie třífázového odběru – tradiční transformátory zapojené do V již v mnoha místech nevyhoví – odběr (10 minutové maximum) je vyšší, než 0,7 % zkratového výkonu DS v místě připojení TNS,
- scelit napájené úseky na větší oblasti s cílem vyrovnat odběr výkonu,
- zajistit odběr pro rekuperovanou energii prioritně v trakčním vedení, případné přebytky přijmout do distribuční sítě.
- minimalizovat počet míst nespojitého napájení (střídání fází).

Řešením je nahradit již od roku 1965 tradičně používané pojetí střídavých trakčních napájecích stanice s dvojicí jednofázových transformátorů zapojených do V (respektive místně i do I) moderními polovodičovými technologiemi.

Ty jsou k dispozici dvě:

- kaskáda dvojice měničů 3AC/DC a DC/1 AC,
- paralelní aktivní balancér.

Obě tato zařízení jsou schopna zajistit potřebnou symetrii odběru výkonu i potřebnou symetrii dodávek rekuperovaného výkonu. Výkonovou polovodičovou část obou zařízení lze složit ze stejných stavebních prvků (vodou chlazené multilevel IGBT spínače), technologicky jsou si obě zařízení velmi podobná. Avšak v řadě dílčích vlastností se tato zařízení navzájem liší:

- kaskádou dvojice měničů prochází veškerý napájecí výkon, což klade vysoké nároky na jeho dimenzování i na jeho spolehlivost. Porucha měniče vede k přerušení napájení, měniče je nutno dimenzovat na krátkodobé výkonové špičky i na zkrat).
- paralelním balancérem prochází pouze symetrizační výkon, což klade nižší nároky na jeho dimenzování i na jeho spolehlivost. Porucha balancéru nevede k přerušení napájení, balancér není nutno dimenzovat na krátkodobé výkonové špičky i na zkrat).

Obecně proto platí, že řešení s balancéry je investičně levnější, než řešení s kaskádou dvojice měničů 3AC/DC a DC/1 AC. Ve srovnání se současnou technologií (dvojice transformátorů zapojených do V) odpadá při použití balancérů střídání fází u každé trakční napájecí stanice. Avšak tématem k řešení je odstranění přerušeného napájení mezi sousedními napájecími stanicemi. Při technologii kaskády dvojice měničů 3AC/DC a DC/1 AC lze dvě a více napájecích stanic navzájem synchronizovat a tím vytvořit spojitě napájení (analogie ke stejnosměrným systémům). Při technologii paralelních balancérů lze též vytvořit systém jednotné fáze v trakčním vedení, avšak v závislosti na poměrech v distribuční soustavě nemusí mít ani jednotná fáze stejnou amplitudu a stejný fázový úhel. Obě tyto veličiny jsou vlivem úbytků napětí na impedancích transformátorů i vedení v DS 3 x 110 kV mírně proměnné v závislosti na místě připojení a na čase. Rozdílnost amplitudy či fáze navzájem trakčním vedením propojených trakčních napájecích stanic 110 kV/25 kV pak vyvolává vznik vyrovnávacích proudů.

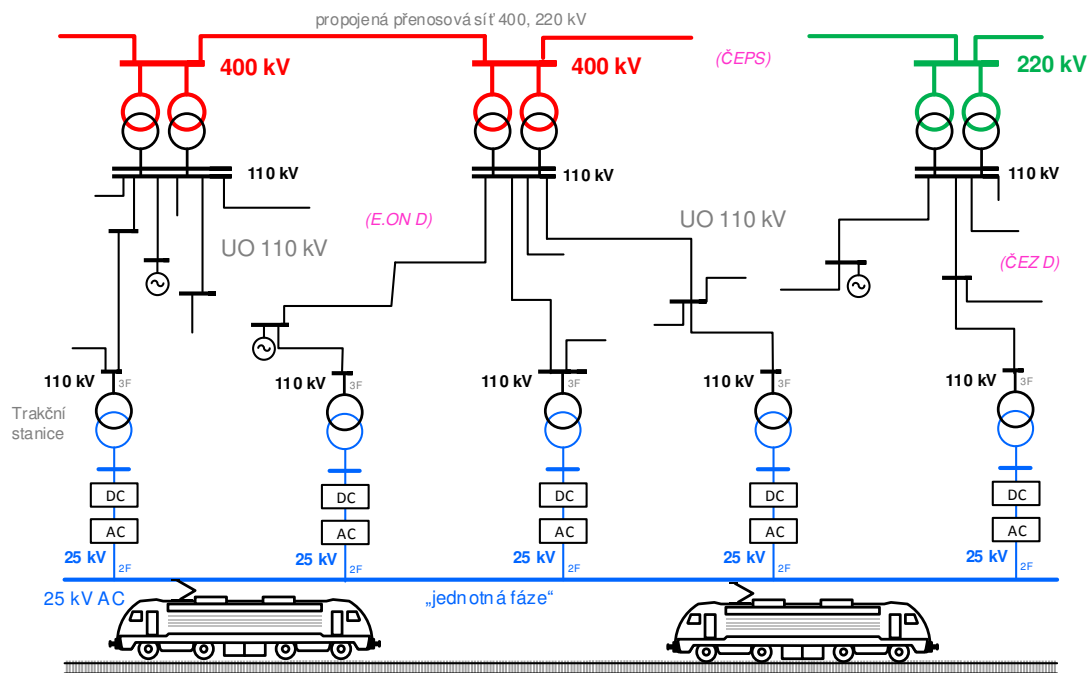
Z toho pak vyplývají čtyři možné přístupy řešení:

- Vyrovnávací proudy jsou ve srovnání s odběry energie malé, neprojeví se zřetelné přetoky energie mezi TNS a různými body DS přes trakční vedení (vyrovnávací proudy jsou překryty pracovními proudy), paralelní provoz sousedních i dalších TNS je možný. Vozidla mají zajištěno spojitě napájení. K energeticky významným přetokům mezi TNS a DS nedochází,
- Vyrovnávací proudy jsou ve srovnání s odběry energie nezanedbatelné, projevovaly by se zřetelné přetoky energie mezi TNS a různými body DS přes trakční vedení, které nelze dlouhodobě akceptovat (krátkodobě však ano). Paralelní provoz sousedních TNS je praktikován pouze v okamžiku průjezdu sběrače trakčního vozidla přes dělení trakčního vedení mezi sousedními napájecími stanicemi. Vozidla mají zajištěno spojitě napájení. K déle trvajícím přetokům mezi TNS a DS nedochází.
- Vyrovnávací proudy jsou ve srovnání s odběry energie nezanedbatelné, projevovaly by se zřetelné přetoky energie mezi TNS a různými body DS přes trakční vedení, které nelze akceptovat ani krátkodobě. Sousední TNS pracují navzájem izolovaně (viz současná praxe). Vozidla nemají zajištěno spojitě napájení. K přetokům mezi TNS a DS nedochází.
- Vyrovnávací proudy by byly ve srovnání s odběry energie nezanedbatelné, projevovaly by se zřetelné přetoky energie mezi TNS a různými body DS přes trakční vedení, které nelze dlouhodobě ani krátkodobě akceptovat. Paralelní provoz sousedních TNS je praktikován díky záměrnému pootočení fáze, například pomocí Z transformátoru. Vozidla mají zajištěno spojitě napájení. K energeticky významným přetokům mezi TNS a DS nedochází.

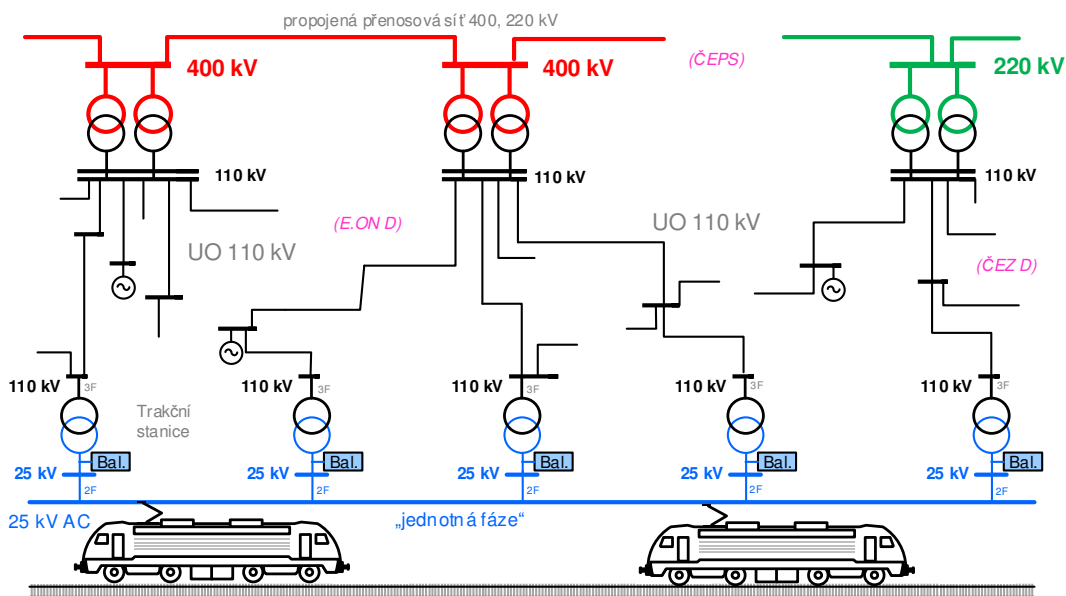
Posouzení míry přípustnosti či nepřípustnosti dlouhodobých či krátkodobých vyrovnávacích proudů nelze učinit bez podrobné analýzy poměrů v DS a to ve vztahu k napájení drah. To je předmětem předkládané studie.

V případě vícestranného napájení z trakčních transformátorů napájených ze shodných fází sítě 110 kV by se přes trakční vedení uzavíraly paralelní toky výkonu, což by bylo problematické minimálně z obchodního hlediska. Problémy technického rázu by zase mohl způsobovat fakt, že paralelní tok mezi uzly 110 kV by byl pouze dvoufázový.

Obr. 2.3 Způsob napájení trakčního systému 25 kV přes dva měniče



Obr. 2.4 Způsob napájení trakčního systému 25 kV s jednotnou fází s využitím symetrizačních balancérů



3 Faktory ovlivňující velikost paralelního toku výkonu

3.1 Veličiny ovlivňující tok výkonu

Při napájení trakčního úseku z více stran se přes tento úsek uzavírají toky výkonu dle Kirchhoffových zákonů. Z hlediska fyzikálních veličin mají hlavní vliv:

Absolutní hodnota napětí na trakčních rozvodnách

Rozdíl absolutních hodnot napětí při stejném fázovém úhlu (dále jen napětí) na trakčních rozvodnách protlačí přes trakční úsek výkon, který z hlediska poměru P/Q přibližně odpovídá poměru R/X úseku. Velikost napětí je z větší části dispečersky ovlivnitelná hned z několika úrovní (vazba PS/DS, regulace Q v DS, vazba DS/trakce). Vzhledem k tomu, že velikost napětí je cíleně regulována na zvolené hodnoty a že se musí pohybovat v zadaných pásmech, je vliv napětí na velikost přetoků výkonu přes trakční obvod málo podstatný a lze jej technickými prostředky potlačit. Toky výkonu způsobené rozdílem absolutních hodnot napětí nejsou v této studii podrobně řešeny.

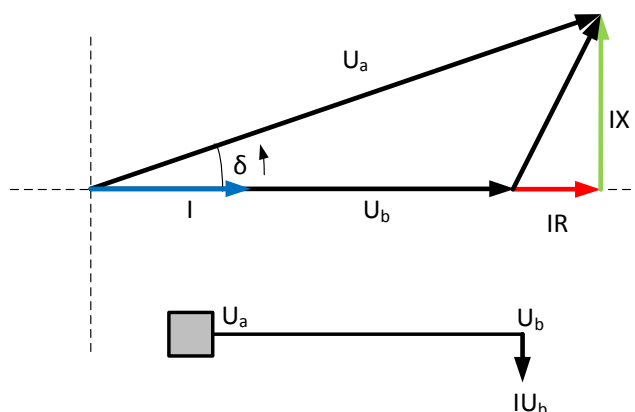
Velikost úhlů napětí u trakčních rozvodech

Rozdíl úhlů napětí na trakčních rozvodnách 110 kV je z hlediska přetoku výkonu přes trakční úsek velmi významný. Úhel napětí se mění průchodem výkonu přes impedanci, v řešeném případě tedy průchodem výkonových toků (nikoliv jen trakčních, ale všech) přes přenosovou a distribuční soustavu. Vzhledem k R/X poměrům má tok výkonu přes trakční obvody napájený z více stran činný charakter (P) a to obráceně k poměru R/X . Úhel napětí není přímou funkcí zkratového výkonu v místě připojení trakční stanice.

Impedance trakčního obvodu

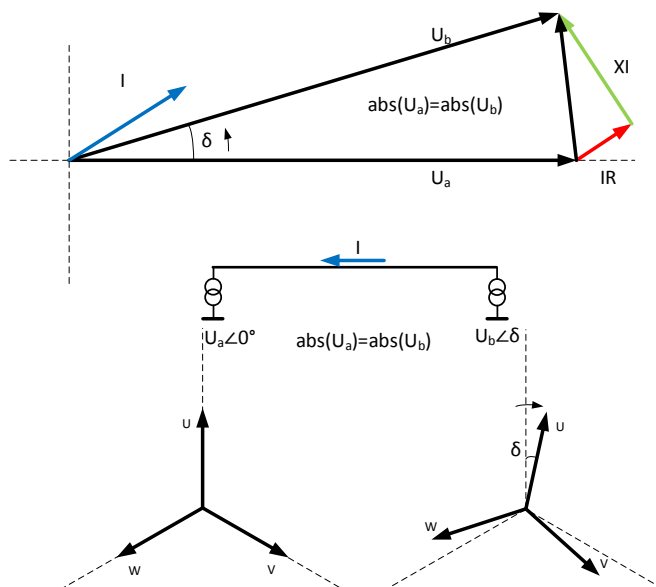
Hodnota impedance trakčního obvodu je dána součtem impedance transformátorů (její hodnota je nepřímo úměrná jejich jmenovitému výkonu) a impedance trakčního vedení (její hodnota je úměrná délce napájeného úseku a nepřímo úměrná počtu paralelních kolejí). Obecně platí, že při určitém rozdílu úhlu napětí v přípojných bodech k DS s rostoucí vzdáleností trakčních stanic klesá hodnota přetoků výkonů přes trakční úsek. S rostoucím jmenovitým výkonem trakčních transformátorů hodnoty přetoků rostou.

Obr. 3.1 Schéma jednoduchého obvodu s činným odběrem



Modelový příklad jednoduchého obvodu zatíženého činným odběrem, průchodem výkonu vzniká úbytek napětí a posun úhlu napětí mezi tvrdou sítí a místem připojení odběru.

Obr. 3.2 Obvod napájený ze dvou stran



Druhý modelový příklad ukazuje obvod napájený ze dvou stran, amplituda napájecích napětí je shodná, je však rozdílný jejich úhel. Rozdíl úhlu napětí protlačí vyrovnávací proud (činný i jalový).

3.2 Podmínky pro napájení trakce z hlediska provozu PS, transformace i DS 110 kV

Posuny úhlů napětí na úrovni 110 kV jsou dány poměry v nadřazených napěťových hladinách a poměry v samotné síti 110 kV. Jsou určeny zapojením sítě, rozložením výroby a spotřeby a tranzitovaným výkonem. V následujících kapitolách je popsán vliv jednotlivých prvků ES na změny úhlů napětí.

ÚHLÝ NAPĚTÍ DOSAHOVANÉ NA ÚROVNI PS

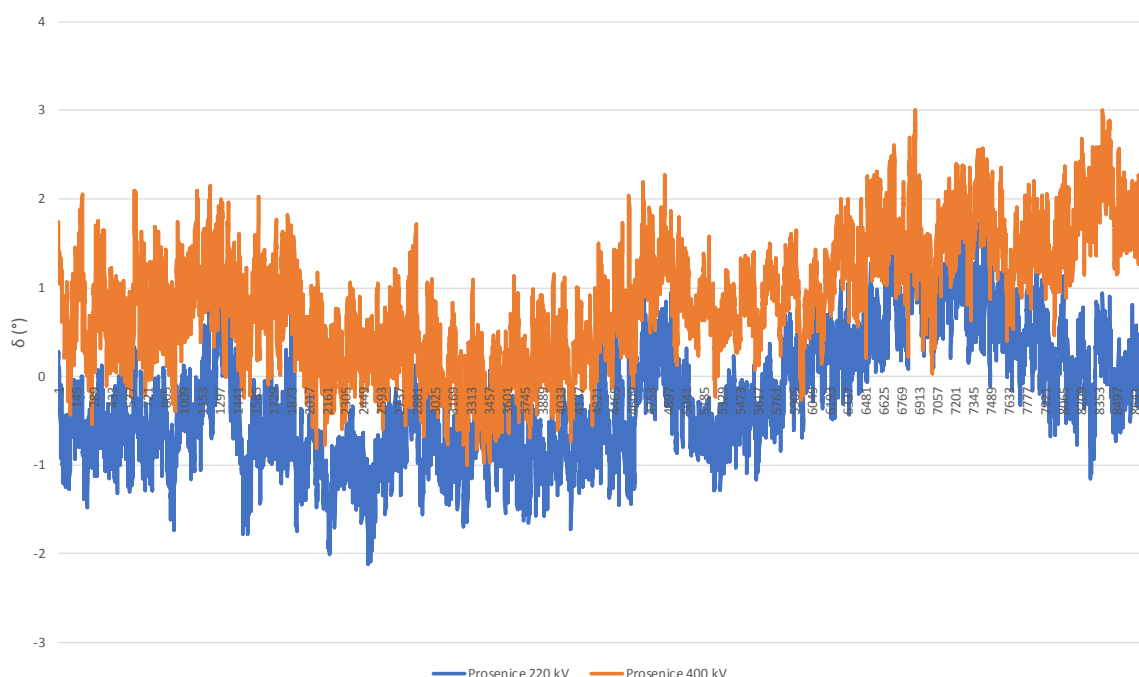
V přenosové síti (PS) je velikost úhlů napětí v rozvodnách dána rozložením spotřeby a výroby v síti, impedancí PS a velikostí tranzitních toků výkonu. I zde se jedná o posuny úhlů vyvolané průchodem výkonu přes impedanci sítě. V řešené oblasti jsou pro úhly napětí dominantní tyto vlivy:

- Tranzit na profilu Polsko–ČR
- Tranzit na profilu Rakousko–ČR
- Rozložení zatížení na profilu Slovensko–ČR
- Režim výroby zdrojů na Ostravsku (200 MW bloky EDE)

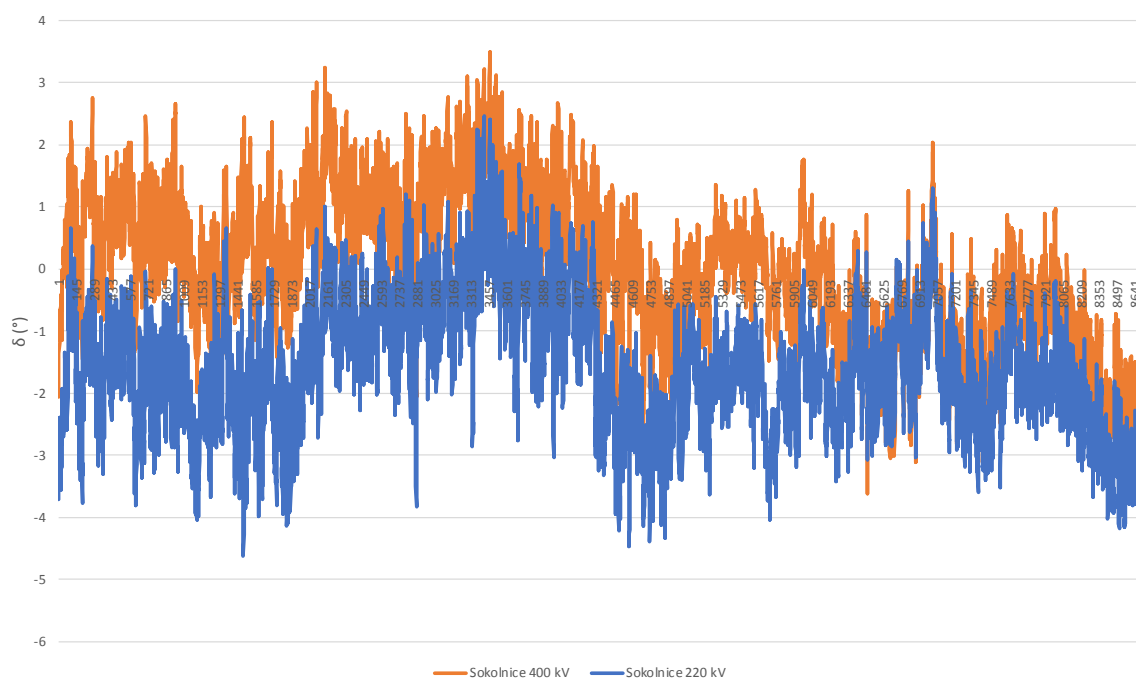
- Cyklování přečerpávací vodních elektráren Dlouhé stráně a Dalešice.
- Počet nasazených bloků jaderné elektrárny Dukovany.

Na simulačním modelu bilančně odpovídajícím roku 2015 byly určeny vzájemné rozdíly úhlů napětí mezi rozvodnami PS v oblasti prověřování traktu. Výsledky jsou vždy vztaženy k rozvodně Otrokovice 400 kV. Jedná se tedy o rozdíl úhlů napětí mezi vybranými sousedními rozvodnami Prosenice 220 kV a 400 kV a Sokolnice 220 kV a 400 kV a rozvodnou Otrokovice 400 kV. Graf znázorňuje jak proměnnost vzájemného úhlu napětí mezi oběma rozvodnami, tak i skutečnost, že napětí na úrovni 220 kV je fázově posunuto za napětím 400 kV (vliv impedance transformátoru 400 kV/ 220 kV). To je dáno tokem činného výkonu ze sítě 400 kV do sítě 200 kV. Převažující fázové posunutí napětí na obou navzájem srovnatelných úrovních (400 kV se 400 kV, 220 kV se 220 kV) rozvodny Otrokovice za Prosenicemi je dáno silnými tranzitními toky energie v relaci DE – PL – CZ – AT.

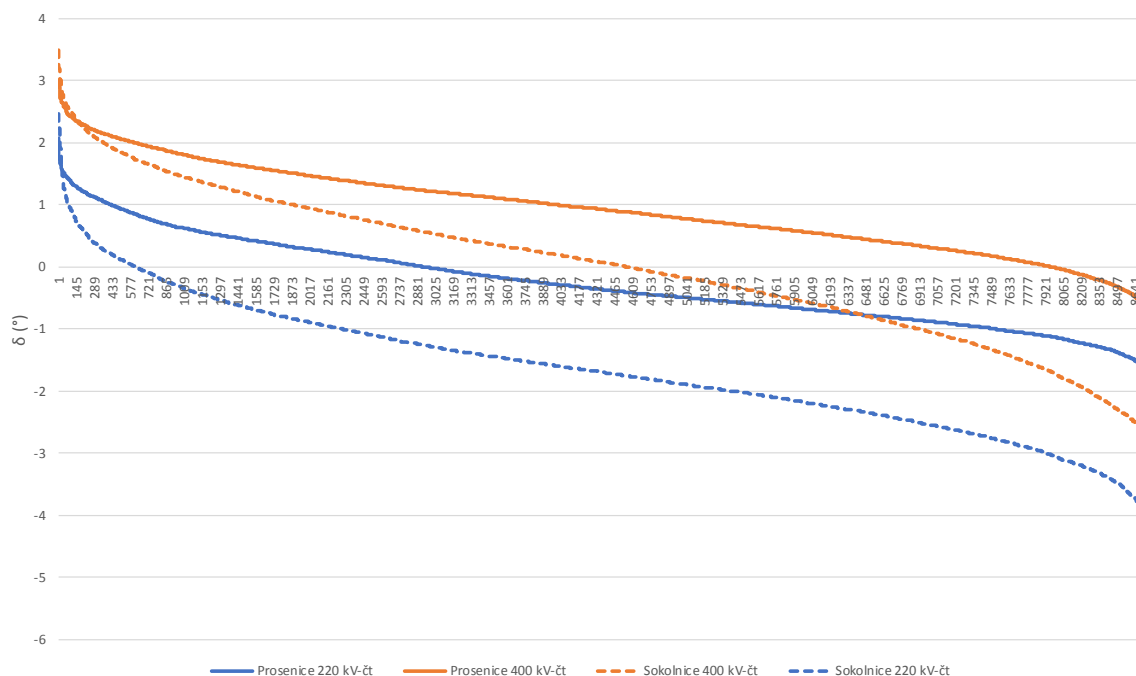
Obr. 3.3 Rozdíl úhlů napětí přípojnic uzlu Prosenice 400 kV a 220 kV vůči uzlu Otrokovice 400 kV (hodinová simulace na základě statistiky ročního průběhu 2015)



Obr. 3.4 Rozdíl úhlů napětí přípojníc uzlu Sokolnice 400 kV a 220 kV vůči uzlu Otrokovice 400 kV (hodinová simulace na základě statistiky ročního průběhu 2015)



Obr. 3.5 Čáry trvání rozdílu úhlů vybraných rozveden vůči rozvodně Otrokovice 400 kV (simulace na základě statistiky ročního průběhu 2015)



Z grafů je zřejmé, že úhly napětí na srovnatelné úrovni 400 kV jsou v průběhu roku značně rozkolísané rozsah rozdílu úhlu napětí vůči rozvodně Otrokovice může být až 6 °.

ÚHLY NAPĚTÍ DOSAHOVANÉ NA TRANSFORMACI PS/110 KV

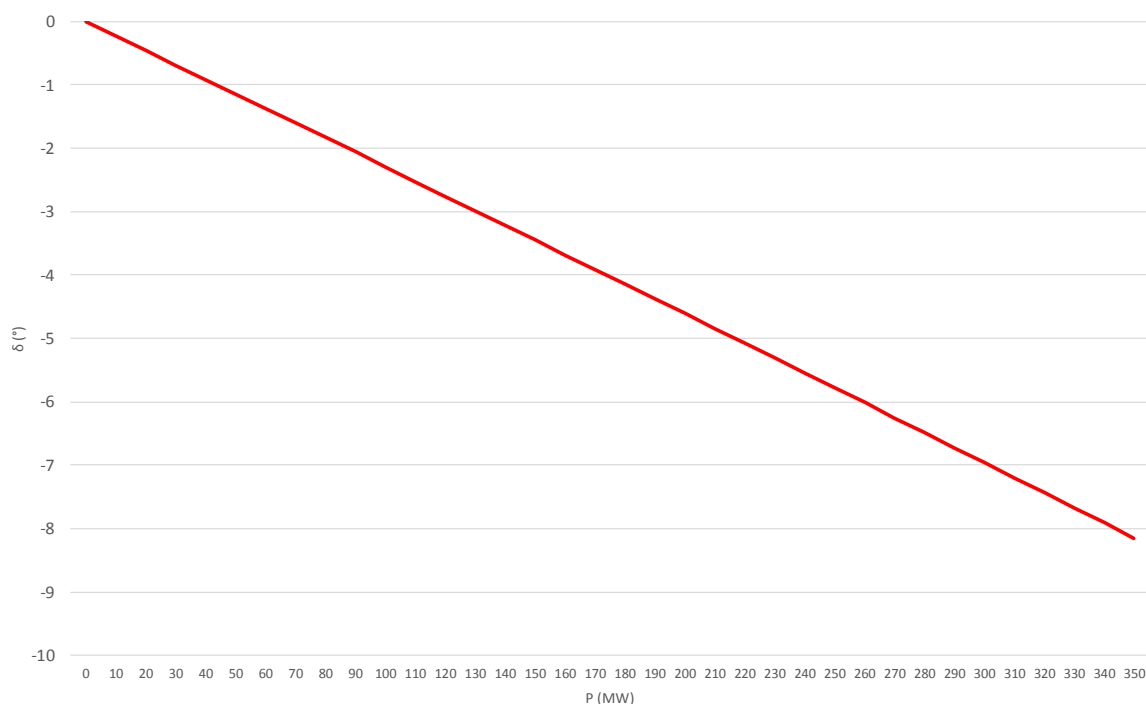
Při plném zatížení transformátoru PS/110 kV na něm dochází ke změně úhlu 6° až 8° (mezi primárem a sekundárem), změna úhlu je lineární v závislosti na zatížení. Provozně je tedy velmi podstatné, jak je zatížený transformátor, který napájí větve s trakční stanicí. Při oboustranně napájených trakčních stanicích pak záleží na tom, jak rozdílně jsou zatíženy transformátory napájející větve s trakčními stanicemi.

Ve sledované oblasti je zatížení transformátorů velmi různorodé a během roku značně proměnné (vliv jak změny zatížení, tak i výroby v oblasti DS).

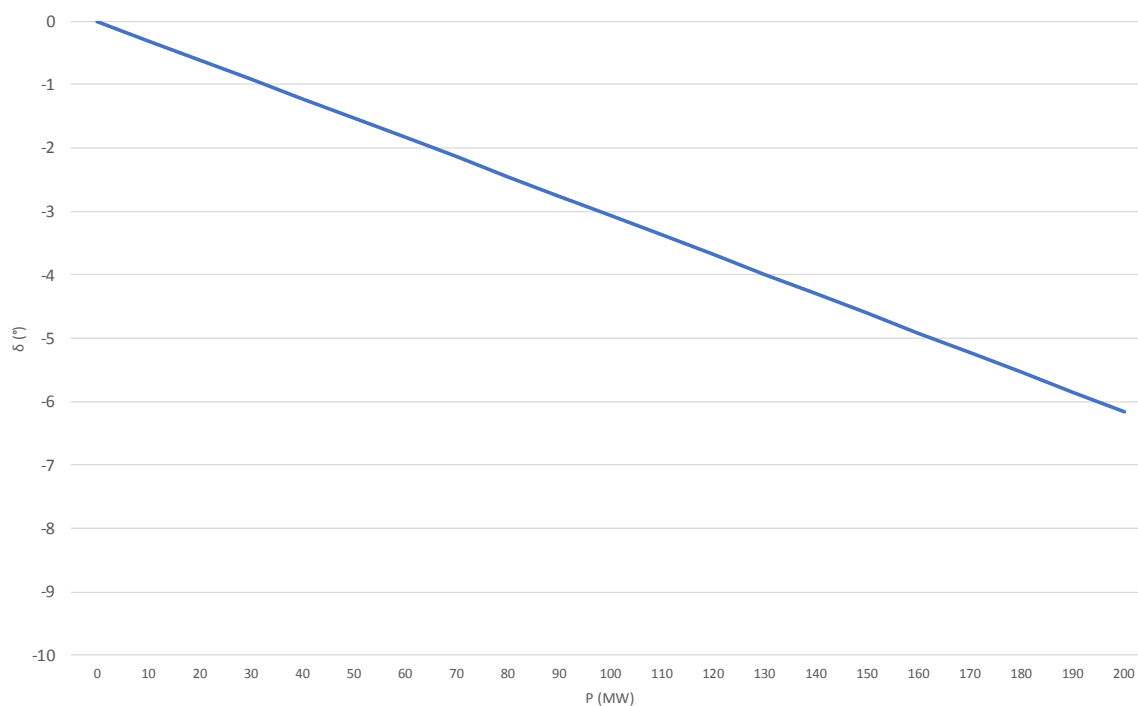
Vliv má různý charakter napájených oblastí (spotřební, výrobní) a také provozní změny v zapojení transformátorů, kdy během roku dochází ke změnám v počtu provozovaných transformátorů, a tím i k jejich zatížení.

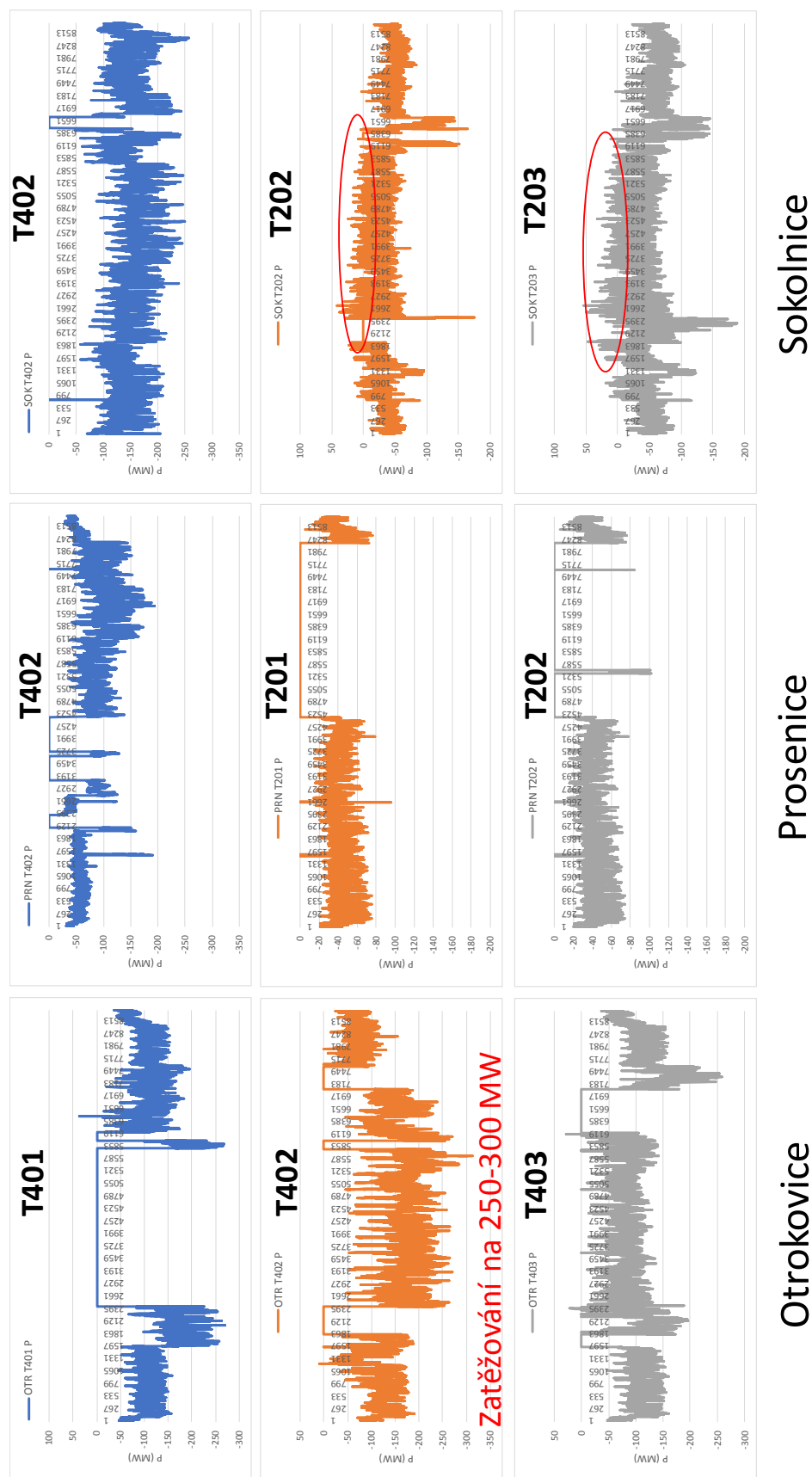
V řešené oblasti také dochází také k velké sezonní variabilitě výroby. Je zde vysoká penetrace FVE a téměř 100 MW výkonu z elektrárny Hodonín, která pracuje dle potřeby do různých uzlových oblastí (UO Sokolnice, UO Otrokovice).

Obr. 3.6 Rozdíl úhlu napětí mezi primární a sekundární stranou transformátoru 400/110 kV 350 MVA v závislosti na zatížení (záporný úhel charakterizuje tok výkonu ze soustavy 400 kV do soustavy 220 kV)



Obr. 3.7 Rozdíl úhlu napětí mezi primární a sekundární stranou transformátoru 220/110 kV 200 MVA v závislosti na zatížení (záporný úhel charakterizuje tok výkonu ze soustavy 220 kV do soustavy 110 kV)



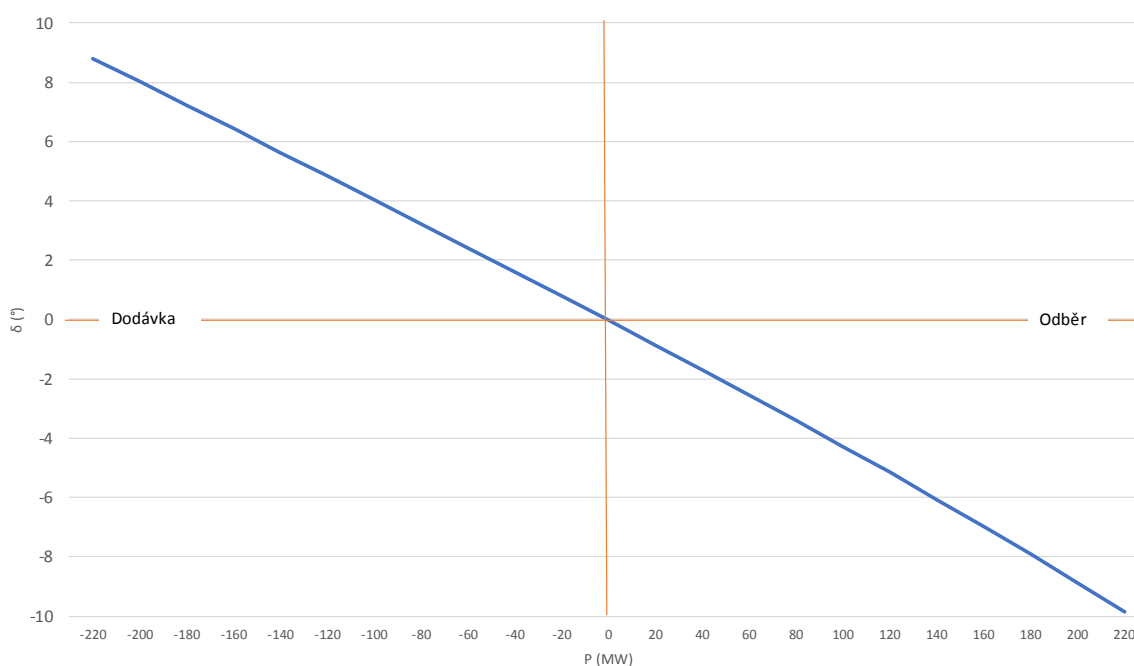


Obr. 3.8 Roční průběhy zatížení jednotlivých transformátorů v TR Otrokovice, Prosenice a Sokolnice charakterizující změny úhlu napětí způsobené jak vlivem kolísání výkonových toků, tak i odstávkou (revizemi) jednotlivých zařízení.

VLIV ZATĚŽOVÁNÍ VEDENÍ 110 KV

Změna úhlů napětí v závislosti na velikosti zatížení vedení 110 kV byla provedena na modelovém příkladu. Byl uvažován 50 km dlouhý úsek sítě 110 kV složený ze 2 paralelních vedení vybavených vodiči AlFe 240 mm² zatěžován dodávkou a odběrem až na hranici zatížitelností. Závislost je opět lineární a změna úhlu je asi 4 ° na 100 MW zatížení úseku. Problematické z hlediska úhlů napětí mohou být především situace s náhradním zapojením během výpadků (v PS i ve 110 kV) a při výskytech vývodů s trakční rozvodnou, které mají výrazně výrobní či odběrový charakter připojených rozvodů. Velké rozdíly v bilančním charakteru rozvodů PS/110 kV jsou typické pro oblast jižní Moravy.

Obr. 3.9 Rozdíl úhlu napětí mezi počátečním a koncovým uzlem dvojitého vedení 110 kV AlFe 240 mm² v závislosti na zatížení koncového uzlu (dodávka výkonu –220 MW až odběr výkonu 220 MW v součtu)



3.3 Závislosti při vícestranném napájení trakčního systému

Pro stanovení závislostí při vícestranném napájení trakčního obvodu byl sestaven modelový příklad. Je uvažováno dvoustranné napájení fiktivní referenční dvoukolejné trati bez stanic s kolejovým rozvětvením třífázovými transformátory o jmenovitém výkonu 12,5 MVA a převodu 110/27 kV, doplněné aktivním balancérem. Trakční vedení je uvažováno v délce 50 km pro každou kolej. Parametry transformátoru a trakčního vedení jsou použity stejné jako v předchozí kapitole.

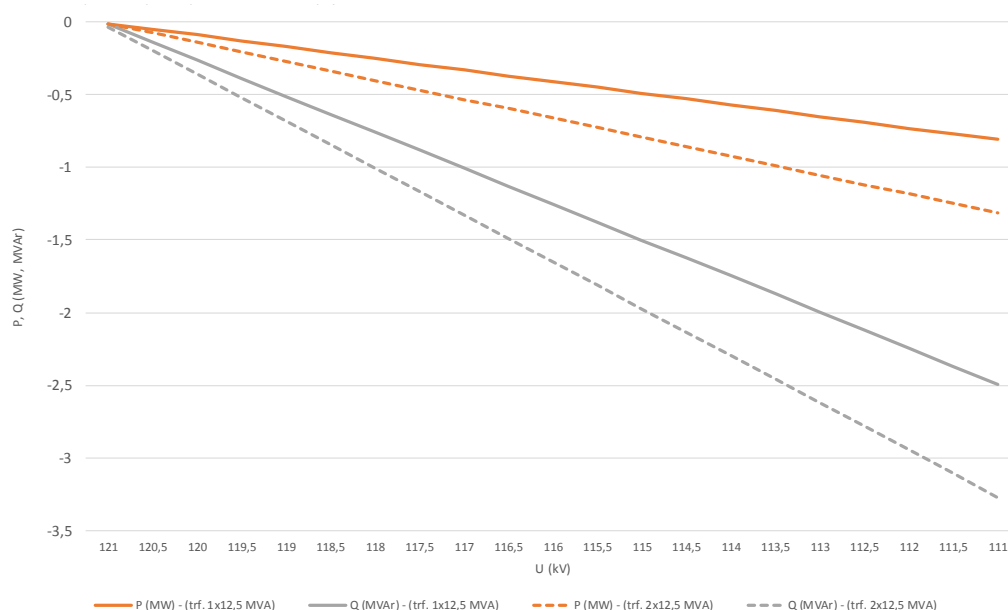
TRAKČNÍ ÚSEK NAPÁJENÝ Z TRAKČNÍCH NAPÁJECÍCH STANIC S RŮZNÝM NAPĚTÍM

Ve výpočtu bylo u jedné ze stanic udržováno na straně 110 kV konstantní napětí 121 kV, u druhé ze stanic bylo na úrovni 110 kV napětí spojitě měněno v rozsahu 121–110 kV. Byly sledovány závislosti toku činného a jalového výkonu přes trakční obvod. U obou rozveden byl udržován shodný úhel napětí.

Z průběhu je patrné, že u modelového zapojení změnou napětí dochází k protlačování činného i jalového výkonu přes trakční obvod. Závislost je přibližně 0,25 MVar /1 kV a 0,08 MW/1 kV. Na rozdíl od energetických třífázových vedení vyšších napěťových hladin zde dochází k významnějšímu ovlivnění toku činného výkonu změnou napětí, je to dáno nižším poměrem X/R u trakčního vedení ve srovnání s třífázovými energetickými vedeními. Činný i jalový výkon tečou od vyššího napětí k nižšímu. V reálném provozu jsou rozdíly napětí DS 3 x 110 kV mezi napájecími stanicemi většinou do 4 kV a jejich dopad lze minimalizovat přepínáním odboček transformátoru, respektive řízením jalového výkonu aktivním balancérem.

Řízený záměrný rozdíl napětí sousedních TNS s cílem kompenzovat přetok činného výkonu přes trakční vedení, vyvolaný změnou fázových úhlů napětí, není v praxi možná, mohlo by docházet k nárůstu přetoku jalového výkonu a ke zvýraznění rozdílu napětí v napájecích stanicích (v extrémním případě za provozní meze napětí).

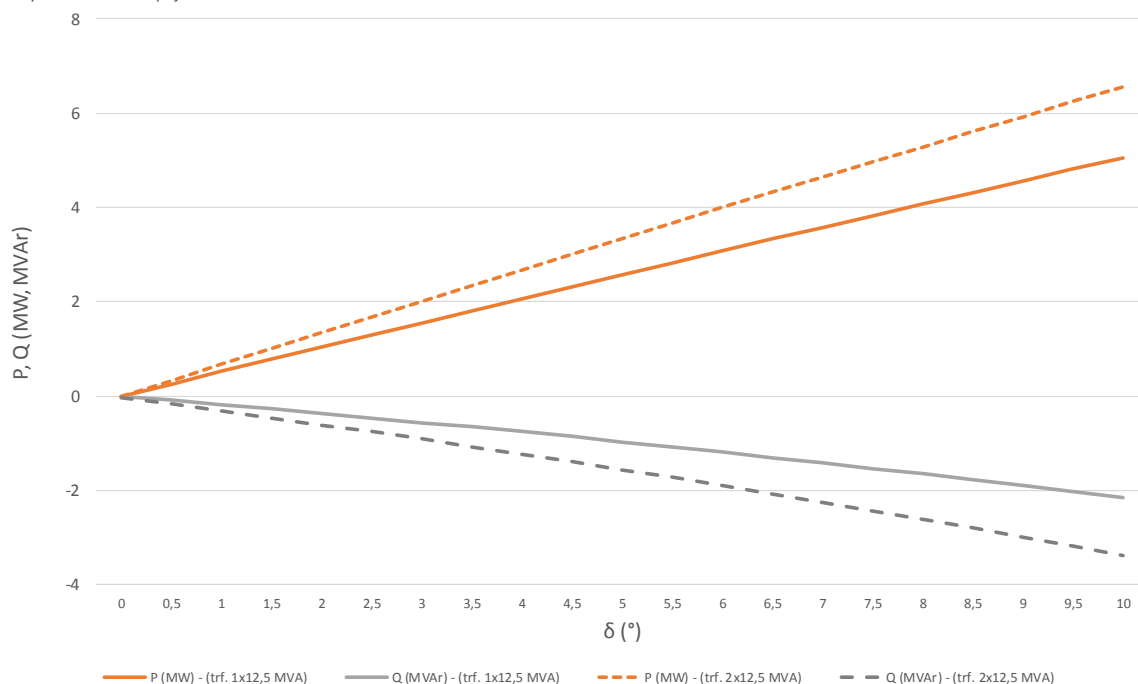
Obr. 3.10 Toky vyvolané rozdílem napětí na napájecích bodech trakčního úseku s konstantním napětím 121 kV na jedné napájecí straně a s proměnným napětím na druhé napájecí straně (dvojkolejná trať délky 50 km, v každé TNS 1 transformátor 12,5 MVA nebo 2x12,5 MVA).



TRAKČNÍ ÚSEK NAPÁJENÝ Z TRAKČNÍCH NAPÁJECÍCH STANIC S RŮZNÝM ÚHLEM NAPĚTÍ

U tohoto výpočtu byly udržovány na obou napájecích stanicích shodné absolutní hodnoty napětí, u jedné z rozveden byl měněn úhel napětí na úrovni 110 kV. Výsledkem je závislost přetoku činného a jalového výkonu přes trakční vedení v závislosti na rozdílu úhlů napětí mezi trakčními napájecími stanicemi 110 kV. Rozdíl 1° vyvolá přetok činného výkonu 0,5 MW a přetok jalového výkonu ve výši 0,21 MW. Směr vyvolaných toků činného a jalového výkonu je rozdílný.

Obr. 3.11 Tok výkonu přes oboustranně napájený trakční úsek transformátory 1x12,5 MVA a 2x12,5 MVA v napájecí stanici (3 fázové), 2 koleje 50 km v závislosti na rozdílu úhlu napětí 110 kV v trakčních napájecích stanicích



4 Modelování trakčního systému

Při modelování trakčního systému bylo výhradně uvažováno s třífázovými trakčními transformátory s aktivními balancéry. Vůči nadřazené distribuční soustavě se takto uvažovaná vazba chovala jako symetrický třífázový odběr. U transformátoru nebylo uvažováno třetí vinutí 22 kV (nemá vliv na výsledky výpočtů). Při modelování trakčního vedení bylo uvažováno s běžným jednofázovým zapojením. Při oboustranném napájení trakčního vedení byly uvažovány 2 paralelní koleje s trakčním vedením mezi trakčními transformovny.

U jednoduchého trakčního obvodu byla uvažována impedance trakčního vedení jedné traťové koleje ve velikosti $0,25 + j0,40 \Omega$ na 1 km úseku (typová impedance).

Parametry trakčních transformátorů byly uvažovány následující:

TNS Říkovice

	primár	sekundár	terciár
Výkon [MVA]	28	25	3
Napětí [kV]	110	27	23
Proud [A]	147	535	75
Počet stupňů (\pm)	8		
krok	2,00%		
Upm [kV]	123	36	24

Počet fází: 3

Frekvence: 50 Hz

Zapojení bude upřesněno v další etapě řešení

Napětí nakrátko:

	primár - sekundár	primár - terciár	sekundár - terciár
Napětí nakrátko [%]	12,5	7	5
Tolerance [%]	$\pm 7,5$	± 15	± 15
Vztažný výkon [MVA]	12,5	3,5	3,5

Ztráty:

Ztráty:	Po [kW]	Pk[kW]	Pcelk[kW]
	16,5	122	138,5
tolerance	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$	$\pm 10\%$

TNS Otrokovice, TNS Nedakonice

	primár	sekundár	terciár
Výkon [MVA]	16	12,5	3,5
Napětí [kV]	110	27	23
Proud [A]	84	267	88
Počet stupňů (\pm)	8		
krok	2,00%		
Upm [kV]	123	36	0

Počet fází: 3

Frekvence: 50 Hz

Zapojení bude upřesněno v další etapě řešení

Napětí nakrátko:

	primár - sekundár	primár - terciár	sekundár - terciár
Napětí nakrátko [%]	12,5	7	4
Tolerance [%]	$\pm 7,5$	± 15	± 15
Vztažný výkon [MVA]	12,5	3,5	3,5

Ztráty:

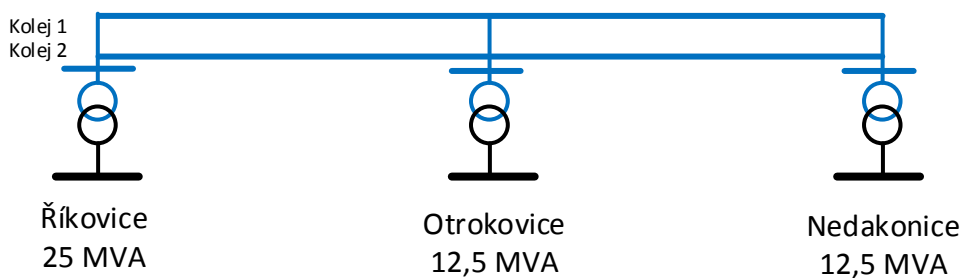
Ztráty:	Po [kW]	Pk[kW]	Pcelk[kW]
	7,5	96	103,5
tolerance	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$	$\pm 10\%$

V rámci první etapy řešení bylo uvažováno pouze s napájením úseku Říkovice – Otrokovice – Nedakonice (viz kapitola 5), a to pro varianty:

- propojeno Říkovice – Otrokovice, T1
- propojeno Otrokovice – Nedakonice, T1
- propojeno Říkovice – Otrokovice – Nedakonice, T1, T2, T3

Výkony trakčních transformátorů jsou uvedeny na obrázku 4.1. Uvažované vzdálenosti mezi stanicemi jsou: Říkovice–Otrokovice 20 km, Otrokovice–Nedakonice 24 km.

Obr. 4.1 Schéma napájeného úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice



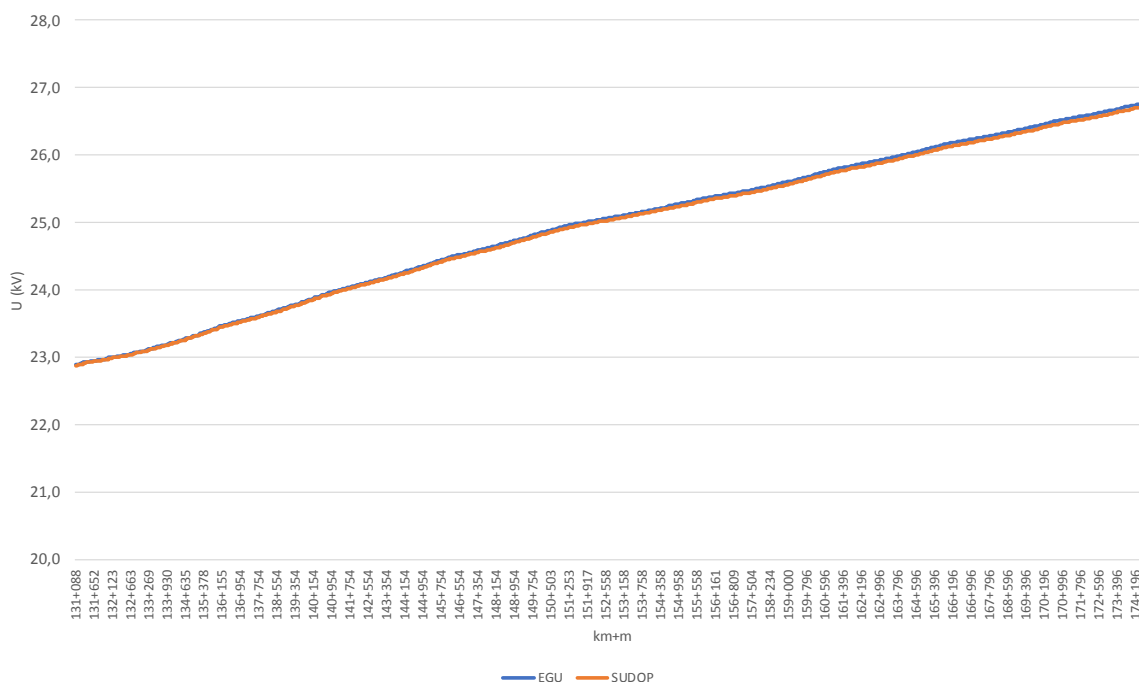
4.1 Ověření simulačního modelu

Vzhledem k určitým odlišnostem v technické terminologii a interpretaci některých vstupních hodnot (způsob uvažování impedance) byl proveden porovnávací výpočet síťového modelu. Pro výpočet byly použity vstupy a výstupy z modelu SUDOP Brno, na stejných vstupech byl proveden kontrolní výpočet v modelovém prostředí používaném v EGÚ Brno. Model obsahoval trakční transformátor a trakční vedení.

Výpočet spočíval v simulaci průjezdu vlaku s konstantním odběrem 440 A (při napětí 25 kV trakční výkon na obvodu kol asi 10 MW, příkon na sběrači 11 MW) jednostranně napájeným trakčním úsekem. Porovnávány byly hodnoty napětí na sběrači lokomotivy a ztráty činného výkonu na trakčním vedení a transformátoru.

Při porovnávání výsledků mezi oběma výstupy docházelo prakticky k plnému zákrytu, případná chyba vzniklá chybnou interpretací vstupů, či chybným metodickým uchopením byla vyloučena.

Obr. 4.2 Porovnání napětí na sběrači lokomotivy – výpočet EGÚ/SUDOP – jednostranně napájený úsek z Říkovic; konstantní odběr lokomotivy 440 A (cca 10 MW)



5 Výpočty paralelního provozu DS a trakce v oblasti TNS Říkovice, Otrokovice a Nedakonice

5.1 Způsob modelování nadřazené soustavy a vzájemného provozu s trakcí

Pro výpočty byl použit kompletní model sítí 400, 220 a 110 kV, jedná se tedy o plný model přenosové soustavy a distribuční soustavy 110 kV. Od provozovatelů soustav byly poskytnuty bilanční data dodávek a odběrů pro jednotlivé uzly v členění odpovídajícím 8760 hodinám roku 2015. Na úrovni mezistátních vazeb (PS) byly uvažovány hodnoty z reálných přenosů výkonu roku 2015. Výpočetní model byl sestaven pro základní zapojení sítí 110 kV a 400 kV, výjimkou byly stavy přeshraničních vedení, které respektovaly skutečné podmínky provozu (zapnuto/vypnuto). Takto sestavený model umožňuje výpočet časových řad (s hodinovým detailem) zatížení jednotlivých prvků soustavy a určení úhlů napětí v jednotlivých uzlech soustavy. Po propojení s modelem trakčních obvodů je možné simulovat vliv nadřazené soustavy na toky přes vícestranně napájenou trakční soustavu.

Výpočet toků přes trakční soustavu byl počítán pro tzv. stav naprázdno, kdy se přes trakční napájecí stanice a trakční vedení přenáší pouze toky vyvolané toky výkonu v přenosové a distribuční soustavě. Tento způsob výpočtu umožňuje popis situace bez toho, aniž by byly výkonové a napěťové poměry ovlivněny proměnnými odběry (a dodávkami) vlaků projíždějícími přes úsek. Je tak možné porovnat vliv jednotlivých zapojení v sítích 110 kV a vliv poruchových stavů na vedeních 400 a 220 kV. Skutečné poměry v trakčních zařízeních jsou dány spolupůsobením přetoků výkonů vyvolaných poměry v DS a odběry vlaků. Při intenzivním železničním provozu se vyrovnávací proudy neprojevují jako přetoky, ale pozměňují rozložení trakčního odběru na paralelně spolupracující trakční napájecí stanice.

5.2 Variantní řešení základního zapojení

U přenosové soustavy bylo řešeno pouze jedno základní zapojení. Na rozdíl od distribučních sítí je variabilita zapojení přenosové soustavy výrazně menší a je omezena prakticky jen na údržbové stavy jednotlivých prvků, případně na poruchové stavy. Rozhodně nedochází a nemůže docházet k zásadním změnám konfigurace jako u distribučních sítí 110 kV.

Zapojení na úrovni 110 kV se během roku výrazně mění. Důvodem těchto změn je zvýšení spolehlivosti provozu sítě během neúplných údržbových situací, optimalizace chodu sítě z hlediska zapojení spotřeby a výroby, případně optimalizace zatěžování přenosových prvků včetně vazeb na přenosovou soustavu. Pro výpočty vzájemného ovlivnění trakce a DS byly sestaveny stavy, které spočívají v odlišném zapojení transformátorů PS/110 kV a v rozdílném uvažování vyvedení elektrárny Hodonín. Zapojení transformátorů PS/110 kV (napájení uzlových oblastí) a tím jejich úzce ovlivněné zatížení je faktor, který v provozu velmi výrazně ovlivňuje rozdíly úhlů napětí na trakčních rozvodnách. Provoz zdroje Hodonín byl uvažován jako trvalý s dodávkou výkonu 80 MW buď vůči rozvodně Otrokovice nebo vůči rozvodně Sokolnice. Využití průběhu dodávky elektrárny z roku 2015 by mohlo být zavádějící, protože výrobní diagram elektrárny nemá meziročně pravidelný průběh. Všechny varianty řešené v této kapitole uvádí toky výkonu bez zatížení odběrem

vlaků. Jedná se tedy o stav naprázdno, kdy jsou toky výkonu a ztráty na trakční soustavě způsobeny pouze paralelním tokem vynuceným poměry v nadřazených napěťových hladinách.

Celkem byly řešeny tři varianty zapojení ve 110 kV: **T1**, **T2** a **T3**. Z hlediska četnosti výskytů pokrývají přibližně polovinu roku varianta T1 a varianta T2, varianta T3 je spíše teoretická, provoz tří transformátorů v Otrokovicích paralelně by byl technicky problematický.

Zapojení T1

Oblast	Charakteristika
PS	Základní zapojení
TT Říkovice	Základní zapojení, napájení z T201PRO+T202PRO
TT Otrokovice	Základní zapojení, napájení z T403OTR+T402OTR
TT Nedakonice	Základní zapojení, napájení z T401OTR
Vedení 110 kV	-
Elektrárna Hodonín	Celoročně na Sokolnice

Zapojení T1 je velmi citlivé na vznik vysokých přetoků přes trakční systém. Jednotlivé uzlové oblasti napájející trakční rozvodny jsou od sebe poměrně výrazně elektricky vzdálené. Je to dáno napájením z různých napěťových hladin PS a z děleného napájení v rozvodně 110 kV Otrokovice (TT Otrokovice a TT Nedakonice jsou napájeny z různých transformátorů 400/110 kV). Provoz elektrárny Hodonín je vyveden mimo řešenou oblast tak, aby se zdůraznil odběrový charakter oblasti rozvodny Otrokovice.

Zapojení T2

Oblast	Charakteristika
PS	Základní zapojení
TT Říkovice	Základní zapojení, napájení z T201PRO+T202PRO
TT Otrokovice	Základní zapojení, napájení z T403OTR+T402OTR
TT Nedakonice	Základní zapojení, napájení z T401OTR
Vedení 110 kV	-
Elektrárna Hodonín	Celoročně na Otrokovice

Zapojení T2 je shodné s T1, rozdíl je v celoročním vyvedení 80 MW elektrárny Hodonín směrem na Otrokovice (částečně přes větev s rozvodnou Nedakonice). Cílem výpočetního modelu je určení citlivosti přetoku přes trakční systém v závislosti na změně bilance v oblasti.

Zapojení T3

Oblast	Charakteristika
PS	Základní zapojení
TT Říkovice	napájení z T402PRO (Celá UO na T402PRO)
TT Otrokovice	napájení z T403OTR+T402OTR+T401OTR
TT Nedakonice	napájení z T403OTR+T402OTR+T401OTR
Vedení 110 kV	-
Elektrárna Hodonín	Celoročně na Slavětice

Zapojení T3 má ukázat závislosti při maximální elektrické blízkosti rozvodu s vazbou na trakci. Elektrické přiblížení je dáno volbou napájení řešených oblastí 110 kV z napěťové hladiny 400 kV. Všechny transformátory v rozvodně Otrokovice pracují paralelně (sepnutí přípojníc 110 kV), toto zkracuje elektrickou vzdálenosti mezi trakčními rozvodnami Otrokovice a Nedakonice.

5.3 Výsledky za varianty

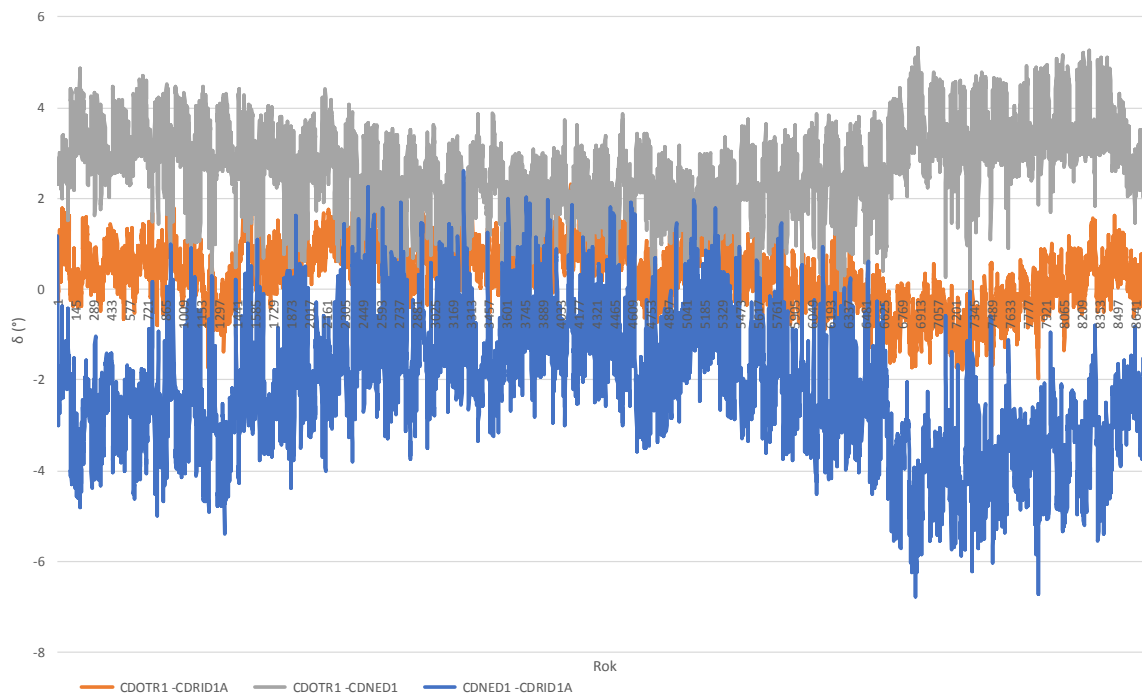
ZAPOJENÍ T1

Varianta T1 je z hlediska přetoků výkonů přes trakční systém zcela nejhorší. Dochází zde k vysokým přetokům výkonu především přes rozvodnu Nedakonice, kterou je přenášen výkon k všeobecné spotřebě na distribuční větví 110 kV. Přetoky u rozvodny Nedakonice v některých případech vytěžují přes 30 % kapacity transformátoru. Výkon do systému vtéká přes transformaci v Otrokovicích. Transformace v Říkovících je zatěžována výrazně oběma směry, a to především v závislosti na poměrech na systému 220 kV a 400 kV.

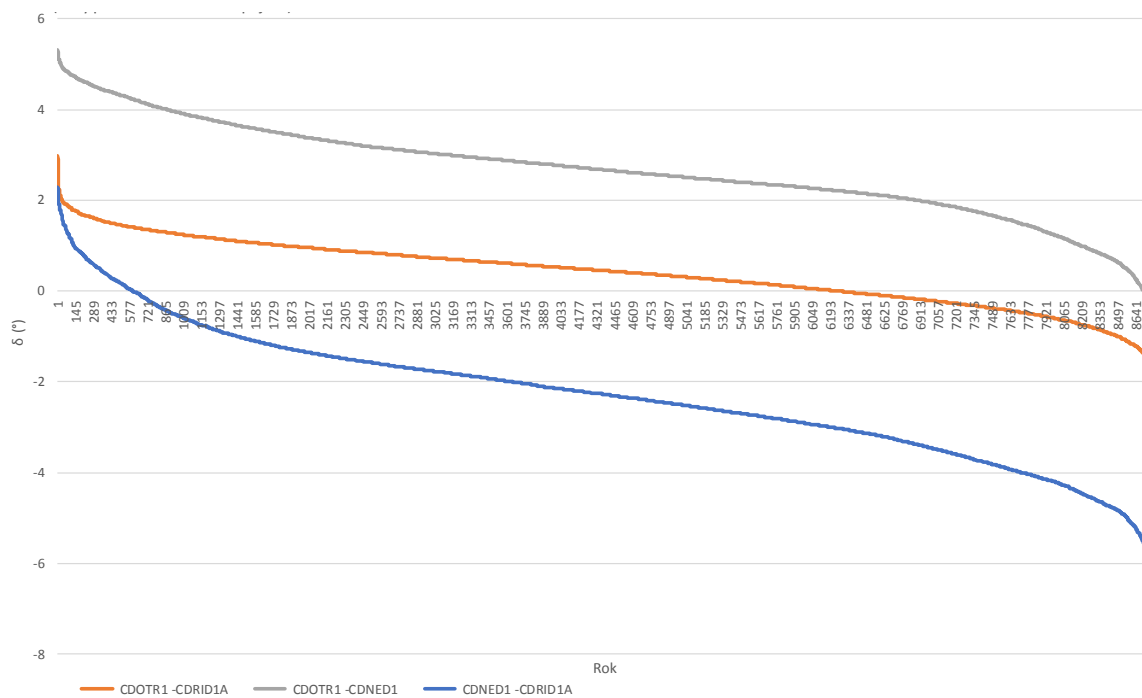
Pro toto zapojení bylo řešeno napájení trojstranné napájení Říkovice – Otrokovice – Nedakonice a dvoustranné napájení úseků Říkovice – Otrokovice a Otrokovice Nedakonice.

Následující grafy ukazují roční průběhy a čáru trvání úhlů napětí v napájecích rozvodnách 110 kV. Platí, že čím větší je rozdíl úhlů tím větší budou vyvolané paralelní přetoky přes napájecí systém.

Obr. 5.1 Graf ročního průběhu rozdílu úhlů napětí Říkovice – Otrokovice, Nedakonice – Otrokovice a Říkovice – Nedakonice

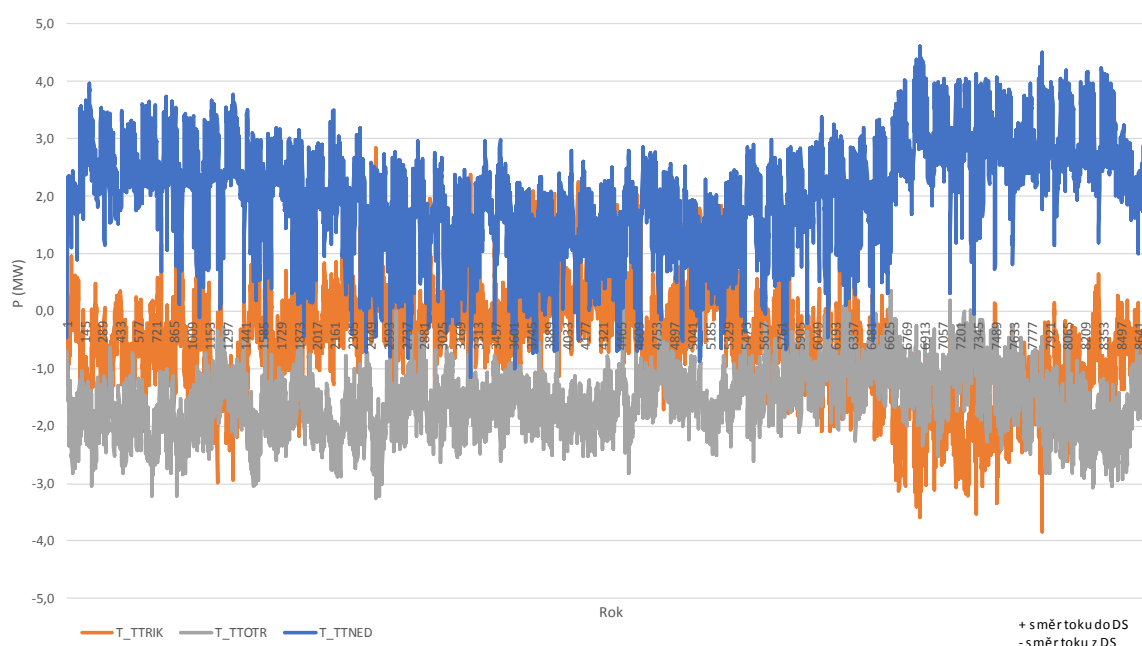


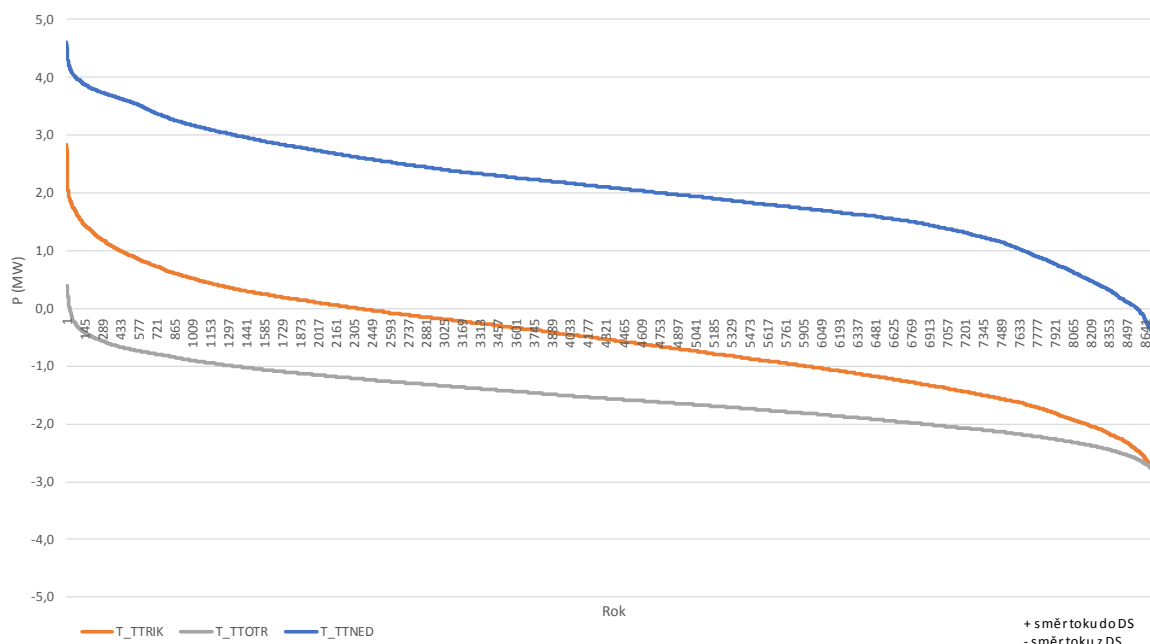
Obr. 5.2 Graf trvání rozdílu úhlů napětí (distribuční funkce) Říkovice – Otrokovice, Nedakonice – Otrokovice a Říkovice – Nedakonice (při vícestranném napájení)



Následující grafy udávají průběh toku výkonu po transformátorech za 8760 hodin roku při trojstranném napájení, jedná se o soudobé hodnoty (součet toků po transformátorech a ztrát je roven nule), kde záporné hodnoty značí tok výkonu směrem do trakčního systému a kladné hodnoty tok výkonu ve směru z trakčního systému do distribuce. V případě zatížení trakčního obvodu odběrem vlaku se k v grafu uvedenému průběhu bude přičítat i tento výkon, rozložení výkonu na jednotlivé trakční stanice bude záviset na poloze vlaku a velikosti jeho odběru. Jak je patrné z grafů, toky výkonu naprázdno přes trakční transformátor mohou dosahovat až velikosti přes 4MW. Takto vysoké hodnoty toků výkonu by ve stavu naprázdno přes trakční systém přenesly až 18 GW energie za rok.

Obr. 5.3 Graf ročního průběhu toku výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseků Říkovice – Otrokovice – Nedakonice

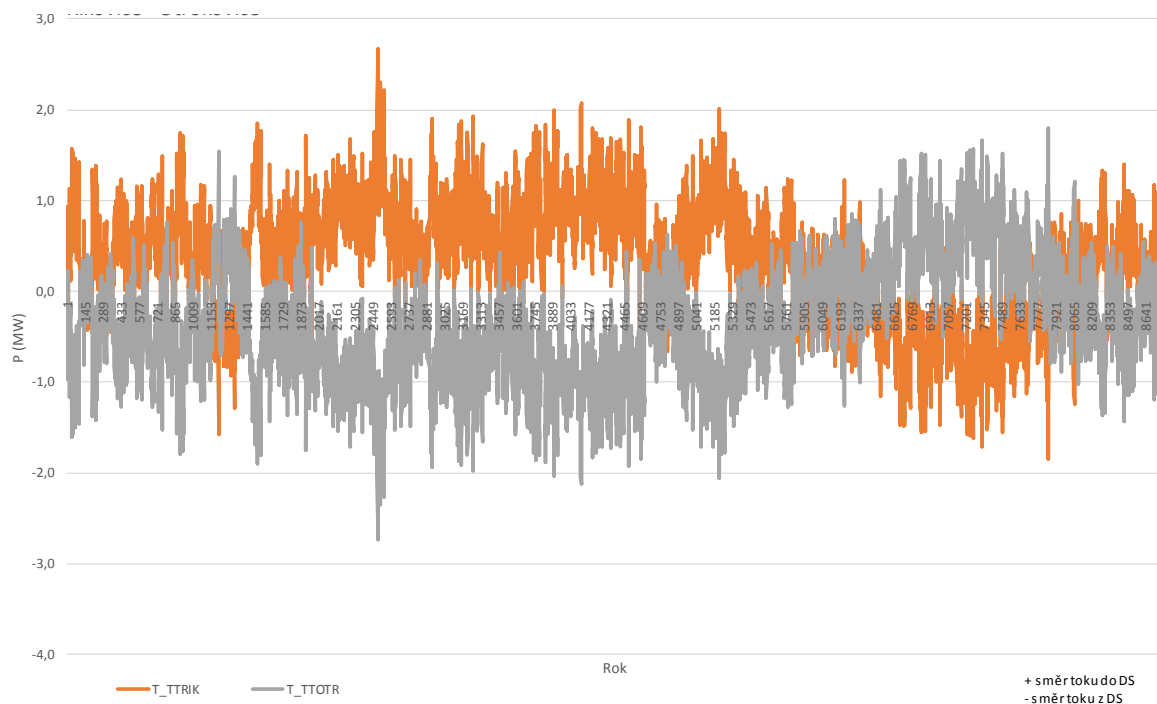


Obr. 5.4 Graf trvání toku výkonu (distribuční funkce) Říkovice – Otrokovice – Nedakonice**Tab. 5.1 Roční četnost toku výkonu Říkovice – Otrokovice – Nedakonice**

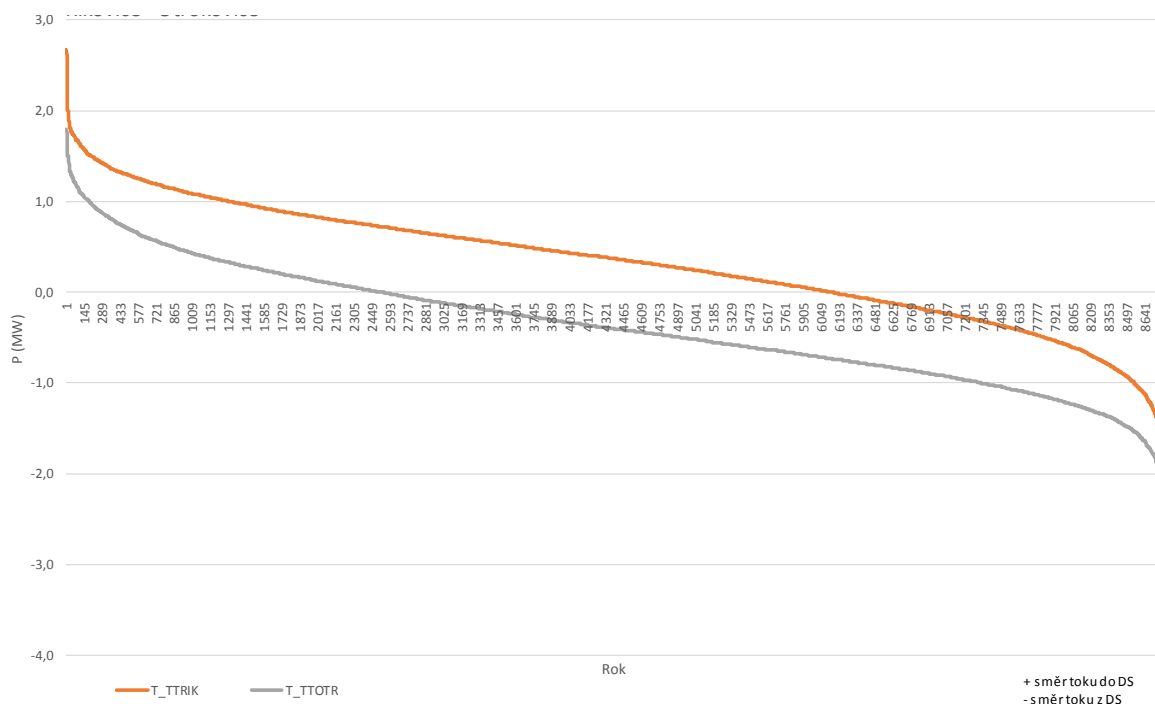
Veličina	Percentil	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice
Toky výkonu po trakčních transformátorech P (MW)	100.	2,8	0,4	4,6
	95.	1,0	-0,7	3,6
	90.	0,6	-0,9	3,2
	80.	0,2	-1,1	2,8
	20.	-1,4	-2,0	1,4
	10.	-1,8	-2,3	0,8
	5.	-2,1	-2,4	0,4
	0.	-3,8	-3,3	-1,2
Tok energie do trakčního systému z DS (MWh/rok)	-	1316	4	18140
Tok energie z trakčního systému do DS (MWh/rok)	-	-6337	-13655	-61

Z charakteru výsledků separátně řešených úseků (Obr. 5.5 – Obr. 5.8) Nedakonice – Otrokovice a Otrokovice – Říkovice je patrný obdobný charakter průběhů jako u trojstranného napájení. Z výsledků je také zřejmé, že při trojstranném napájení úseku (Říkovice – Otrokovice – Nedakonice) dochází k superpozici toků výkonů a je dosahováno vyšších toků i vyšších přenášených energií. Pro získání reálného přehledu o situaci na širším území je třeba řešit oblast jako celek.

Obr. 5.5 Graf ročního toku výkonu Říkovice – Otrokovice (bez Nedakonic) při oboustranném napájení



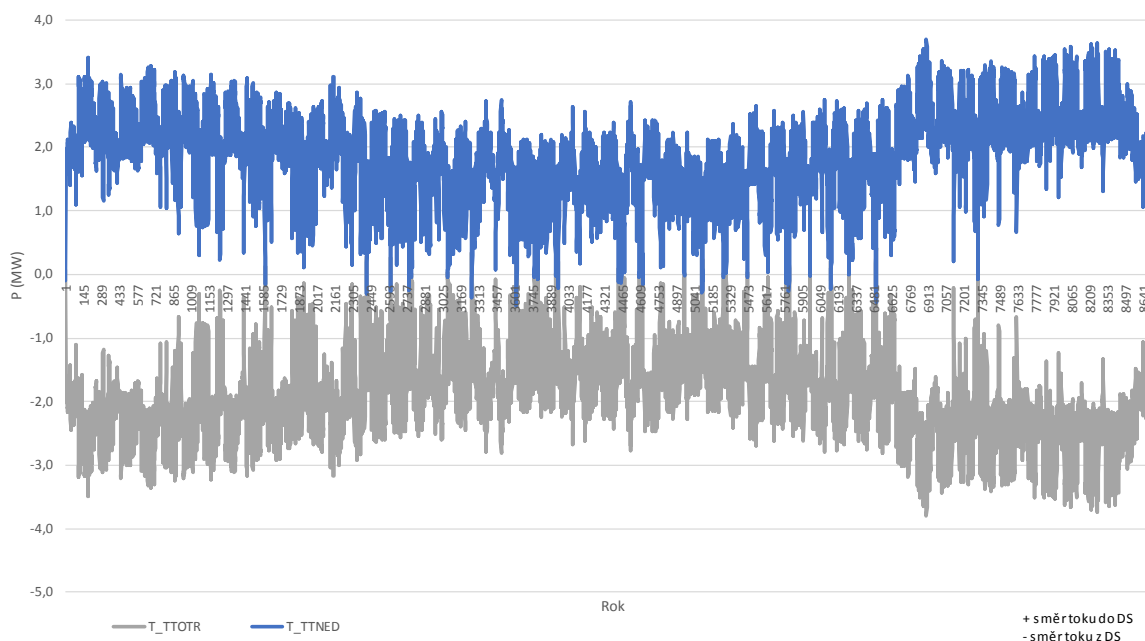
Obr. 5.6 Graf trvání toku výkonu (distribuční funkce) Říkovice – Otrokovice (bez Nedakonic) při oboustranném napájení



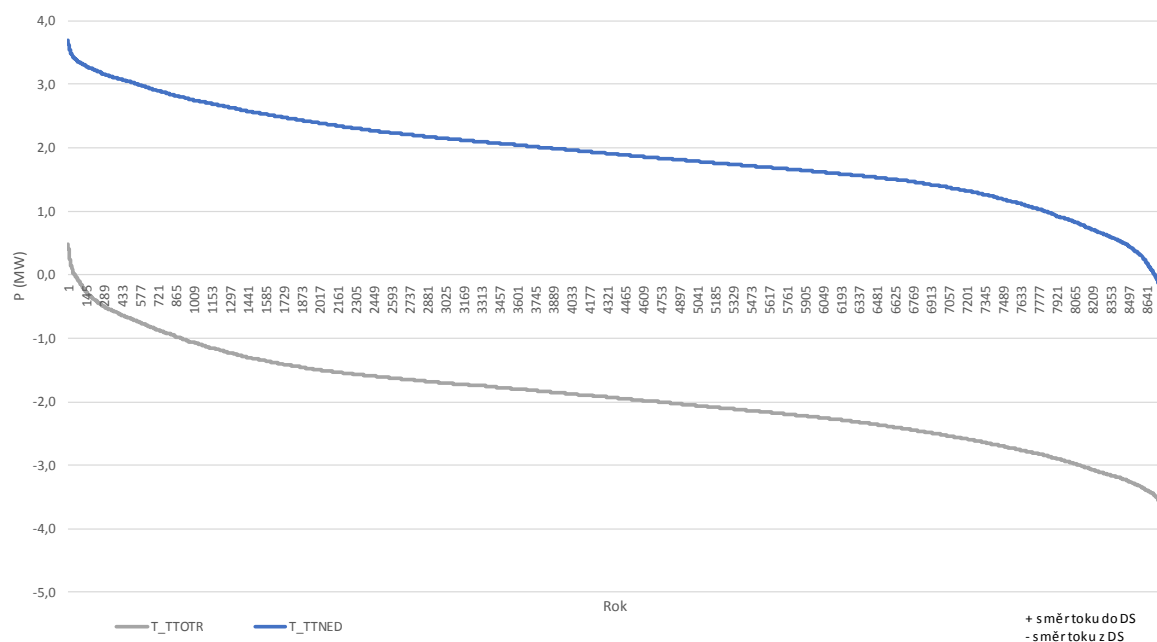
Tab. 5.2 Roční četnost toku výkonu Říkovice – Otrokovice (bez Nedakonice)

Veličina	Percentil	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice
Toky výkonu po trakčních transformátorech P (MW)	100.	2,7	1,8	0,0
	95.	1,3	0,7	0,0
	90.	1,1	0,5	0,0
	80.	0,9	0,2	0,0
	20.	-0,2	-0,9	0,0
	10.	-0,5	-1,2	0,0
	5.	-0,8	-1,4	0,0
	0.	-1,8	-2,7	0,0
Tok energie do trakčního systému z DS (MWh/rok)	-	4048	1062	0
Tok energie z trakčního systému do DS (MWh/rok)	-	-1136	-4233	-75

Obr. 5.7 Graf ročního toku výkonu Otrokovice – Nedakonice (bez Říkovice) při oboustranném napájení



Obr. 5.8 Graf trvání toku výkonu (distribuční funkce) Otrokovice – Nedakonice (bez Říkovic) při oboustranném napájení



Tab. 5.3 Roční četnost toku výkonu Otrokovice – Nedakonice (bez Říkovic)

Veličina	Percentil	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice
Toky výkonu po trakčních transformátorech P (MW)	100.	0,0	0,5	3,7
	95.	0,0	-0,6	3,1
	90.	0,0	-1,0	2,8
	80.	0,0	-1,4	2,5
	20.	0,0	-2,5	1,4
	10.	0,0	-2,9	1,0
	5.	0,0	-3,1	0,6
	0.	0,0	-3,8	-0,5
Tok energie do trakčního systému z DS (MWh/rok)	-	0	8	16606
Tok energie z trakčního systému do DS ((MWh/rok))	-	-162	-16955	-8

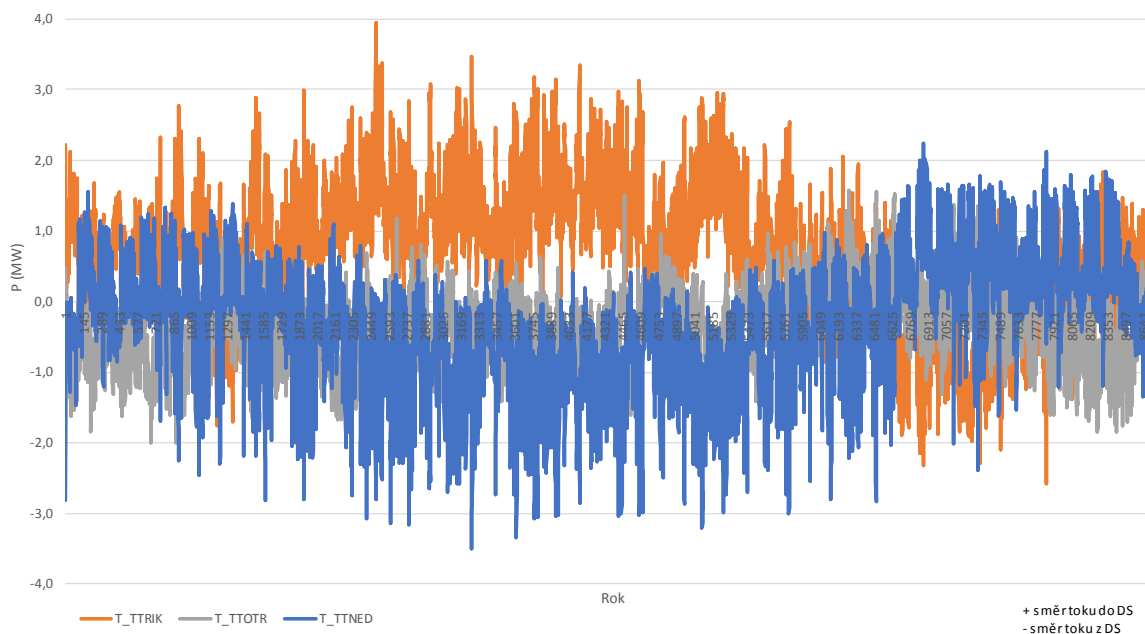
ZAPOJENÍ T2

Uvažovanou změnou zapojení a změnou provozu elektrárny Hodonín došlo ve srovnání se zapojením T1 ke snížení přetoků přes trakční transformátor v Nedakonících, dodávkou výkonu z Hodonína se snížil odběrový charakter celé smyčky 110 kV s trakční rozvodnou Nedakonice. Tomu odpovídá ve srovnání se zapojením T1 výrazná změna energií přenesených přes trakční systém a snížení velikosti ztrát činného výkonu.

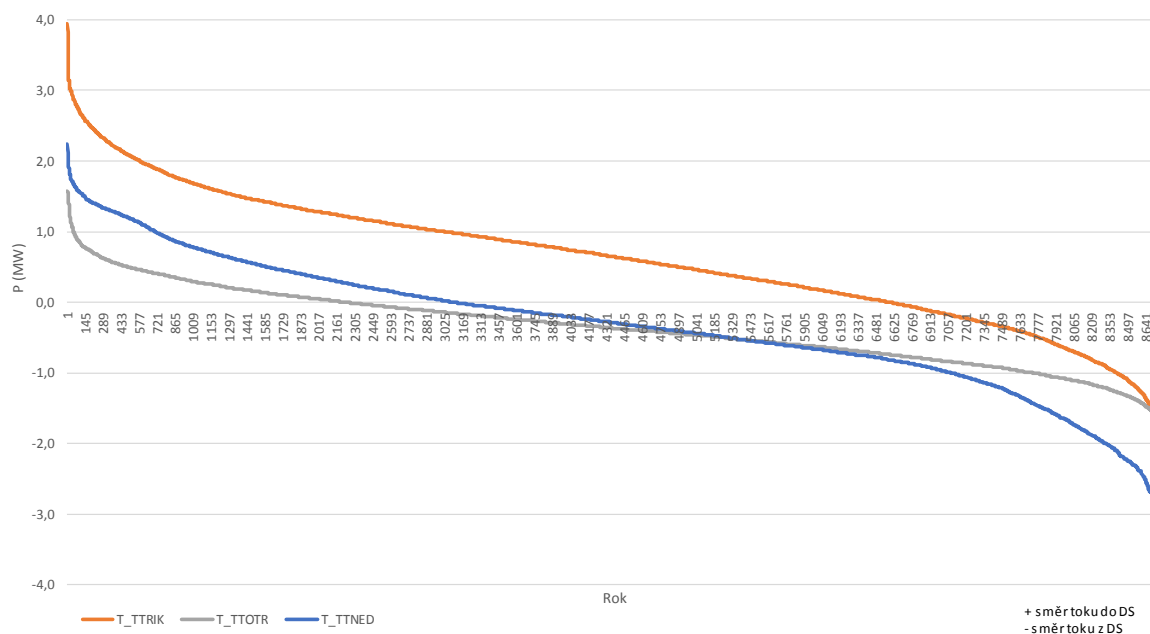
Tab. 5.4 Toky výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice, roční ztráty energie a jejich ocenění (T2)

Veličina	Percentil	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice
Toky výkonu po trakčních transformátorech P (MW)	100.	3,9	1,6	2,2
	95.	2,1	0,5	1,2
	90.	1,8	0,3	0,9
	80.	1,4	0,1	0,4
	20.	-0,2	-0,8	-1,0
	10.	-0,6	-1,0	-1,5
	5.	-0,9	-1,2	-2,0
	0.	-2,6	-2,0	-3,5
Tok energie do trakčního systému z DS (MWh/rok)	-	6633	724	1931
Tok energie z trakčního systému do DS ((MWh/rok))	-	-1190	-3850	-4650

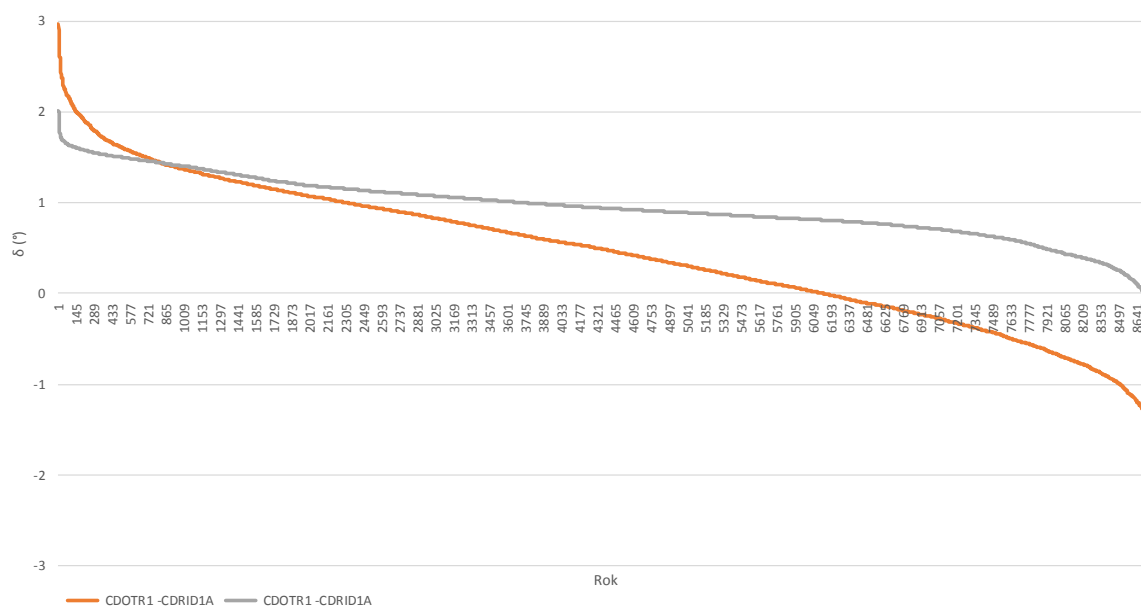
Obr. 5.9 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice (T2)



Obr. 5.10 Čára trvání výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice (T2)



Obr. 5.11 Čára trvání úhlu napětí mezi rozvodnou Otrokovice a rozvodnami Říkovice a Nedakonice (úhly pro vícestranné napájení) T2



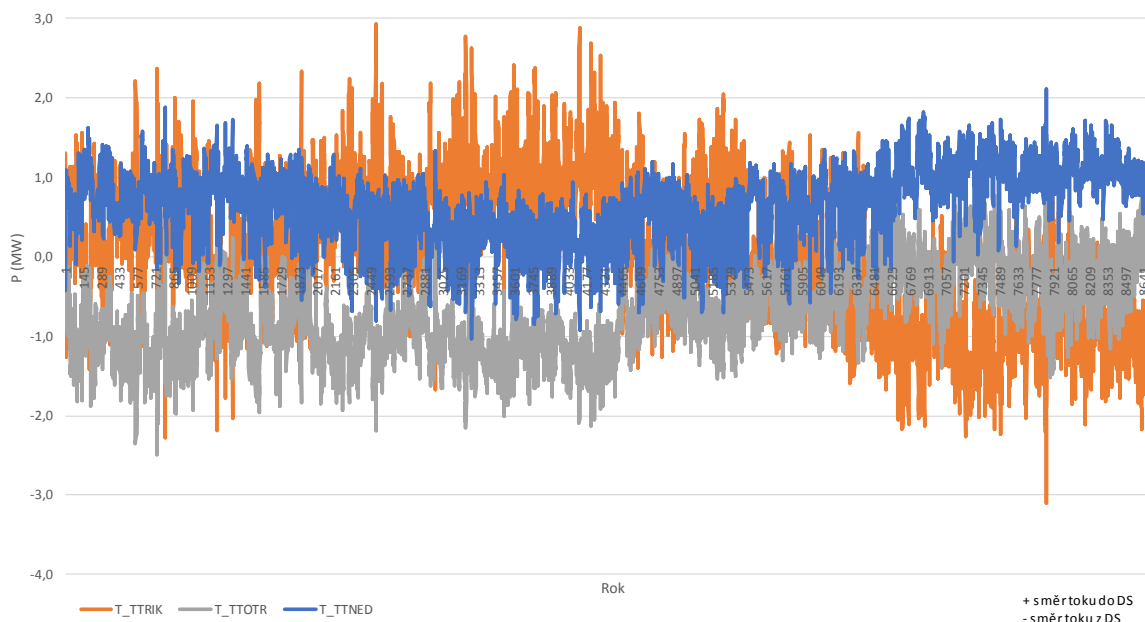
ZAPOJENÍ T3

Z hlediska výsledků se jedná o nejpříznivější variantu s nejnižšími přenášeným výkonem. Po většinu roku se činné výkony přenášené přes trakční transformátory pohybují v pásmu ± 2 MW, převažuje kolísání v pásmu ± 1 MW. I přesto dochází přes trakční systém naprázdno k přenosu výkonů v řádu několika GWh za rok.

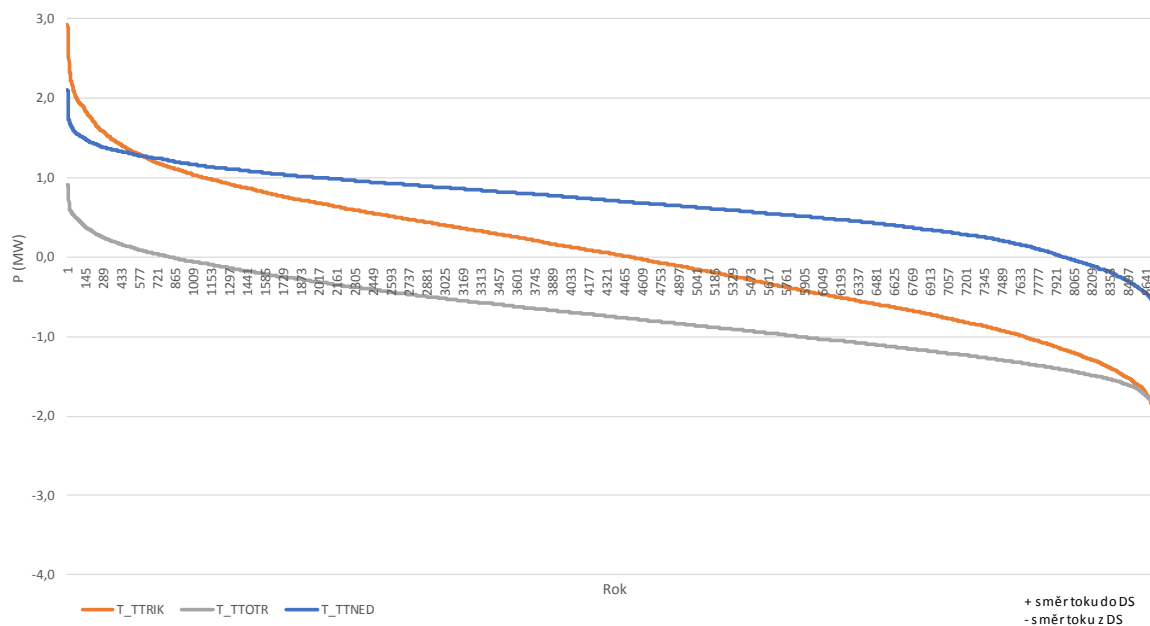
Tab. 5.5 Toky výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice, roční ztráty energie a jejich ocenění (T3)

Veličina	Percentil	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice
Toky výkonu po trakčních transformátorech P (MW)	100.	2,9	0,9	2,1
	95.	1,4	0,2	1,3
	90.	1,1	0,0	1,2
	80.	0,8	-0,3	1,0
	20.	-0,8	-1,2	0,3
	10.	-1,1	-1,4	0,1
	5.	-1,4	-1,5	-0,2
	0.	-3,1	-2,5	-1,0
Tok energie do trakčního systému z DS (MWh/rok)	-	3143	177	6036
Tok energie z trakčního systému do DS (MWh/rok)	-	-2989	-6549	-193

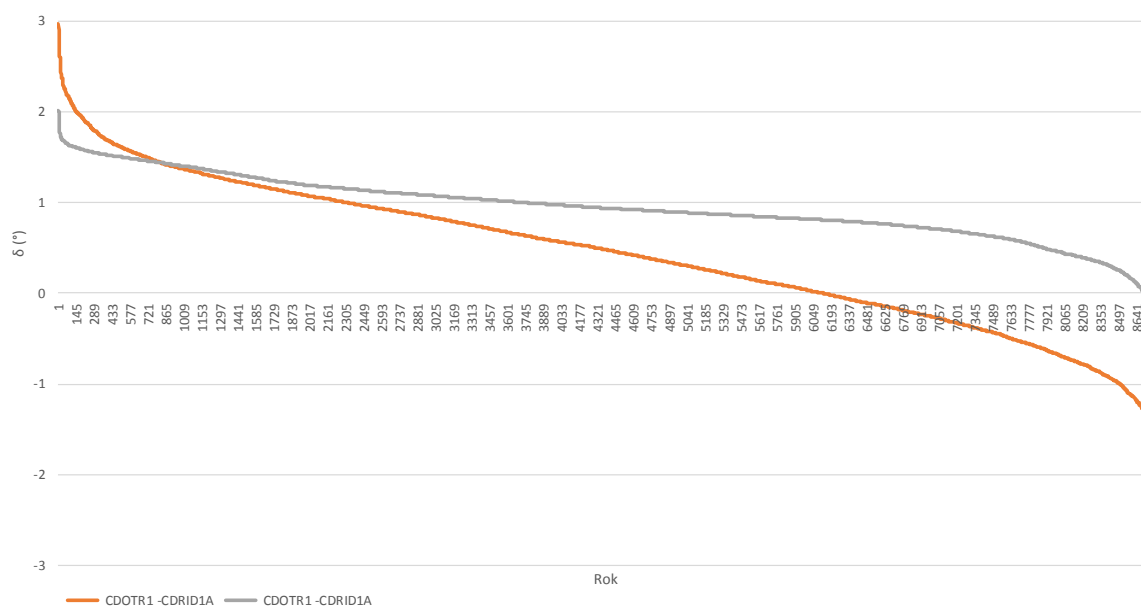
Obr. 5.12 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice (T3)



Obr. 5.13 Čára trvání výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice (T3)



Obr. 5.14 Čára trvání úhlu napětí mezi rozvodnou Otrokovice a rozvodnami Říkovice a Nedakonice (úhly pro vícestranné napájení) T3



5.4 Výpočty při neúplném zapojení DS a PS

Stavy, kdy dochází k nekompletnímu zapojení distribuční či přenosové sítě, jsou pro paralelně provozovaný systém nepříznivé. Ve většině případů dochází ke zvětšení impedancí přenosových tras distribuční či přenosové soustavy, což s sebou může přinášet zvětšené rozdíly úhlů napětí mezi trakčními rozvodnami a z toho vyplývající zvýšené přetoky činného výkonu přes trakční vedení. Pravděpodobnost výpadků či záměrných vypnutí (revize, údržba) jsou v jednotkách výskytů za rok pro každý z prvků ES. Jednoduché poruchy a revize mají trvání řádově v hodinách. Složitě poruchy a rekonstrukce mohou trvat až několik týdnů.

Výpočty dopadů neúplných stavů byly provedeny pro zapojení T1. Toto zapojení bylo v časové řadě simulačním výpočtem prověřeno sérií celkem 189 možných výpadků:

- všech vedení 110 kV v řešené oblasti (celkem posuzováno 105 možných výpadků)
- všech vedení přenosové soustavy (celkem posuzováno 80 možných výpadků)
- vazebních transformátorů 400/220 kV (celkem posuzováno 4 možné výpadky)

Nebylo uvažováno s výpadky:

- hraničních vedení PS (toky po hraničních vedeních jsou součástí vstupů)
- napájecích transformátorů 400/110 kV, 220/110 kV (výpadek těchto transformátorů u oblasti napájené z jednoho transformátoru a s vícestranným napájením trakce vytváří neprovozovatelný stav)

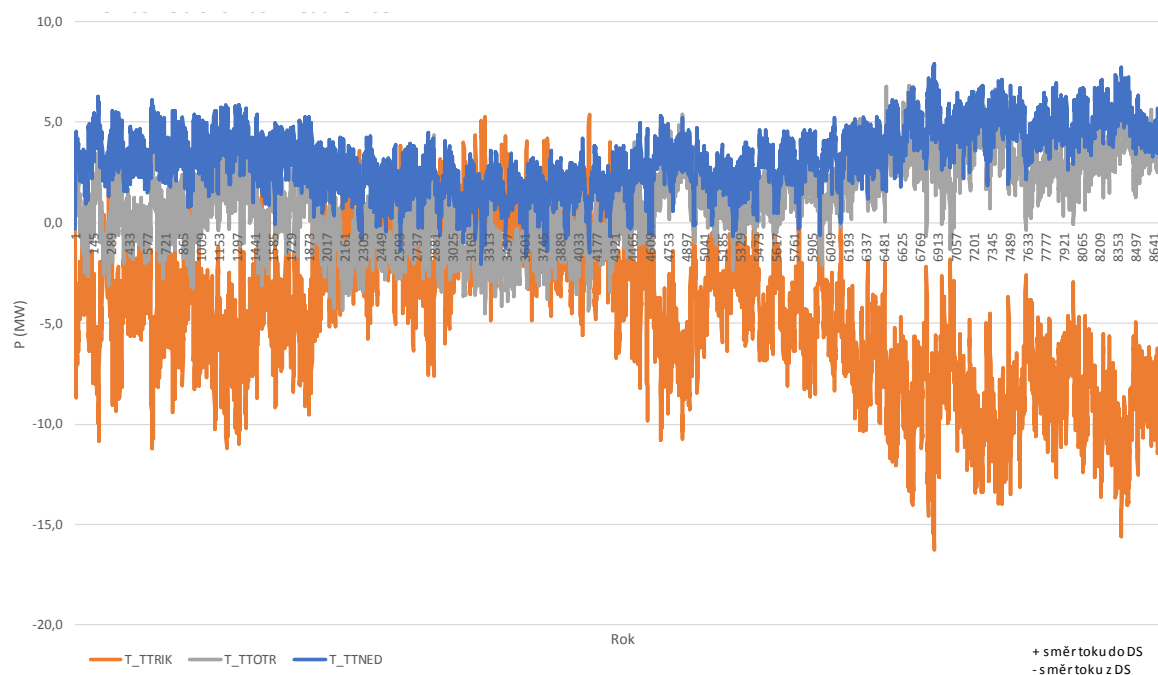
Z celé sady 189 prověřovaných výpadků byly vybrány 3 nejhorší výpadky, pro které byly vyhodnoceny průběhy pro 8760 hodin. Jedná se tedy o ilustrační fiktivní výpočetní stav, který odpovídá trvání jednotlivých poruch (vypnutí) po dobu celého roku. Skutečná doba výpadků je výrazně kratší.

Byly prověřeny následující výpadky:

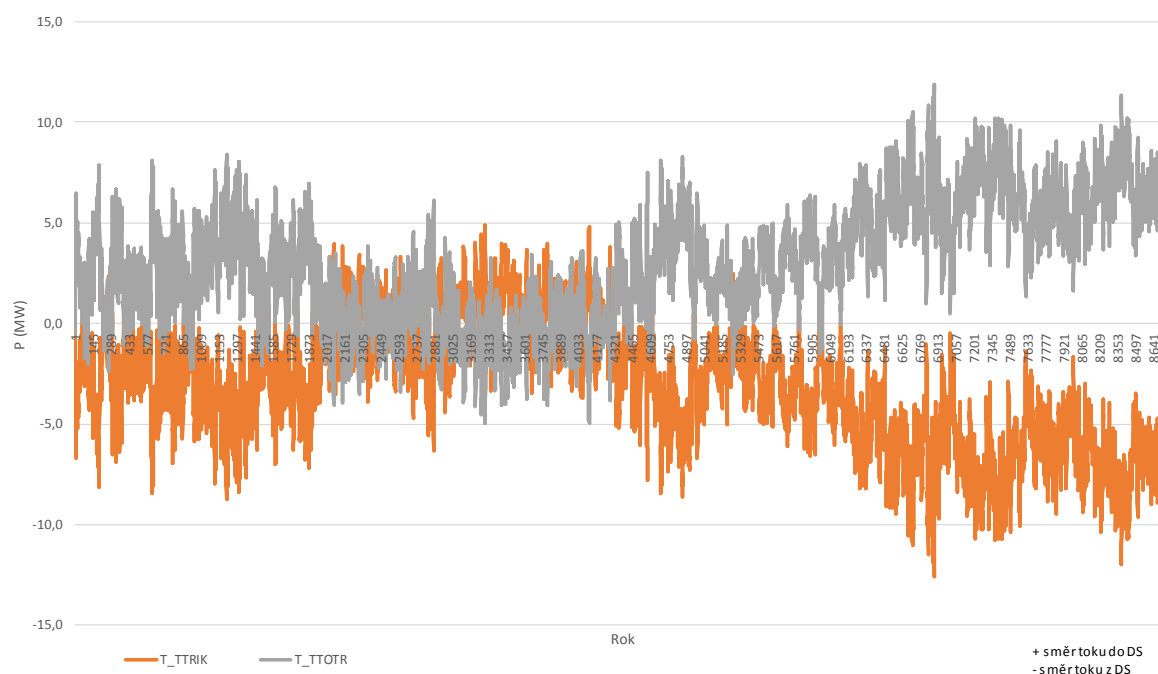
Výpadek vedení 400 kV V418 Otrokovice–Prosenice

Velmi vážný výpadek z pohledu dopadů na provoz vícestranně napájené trakce. Výpadkem tohoto vedení dochází k přerušení přímého severo-j jižního propojení přes systém 400 kV. Nejbližší další severojižní propojení je až přes Slovensko nebo až přes střední Čechy. Rozvodny Prosenice a Otrokovice se tak elektricky výrazně vzdálí, což způsobí nárůst přetoků přes trakční systém. Z výsledků je patrné, že zatížení transformátoru v Říkovicích v některých situacích roste až na 15 MW, zatížení transformátorů v Otrokovicích a Nedakonících jsou do 8 MW. Opět je třeba zdůraznit, že uvedené toky platí pro stav trakčního systému bez zatížení odběry vlaků.

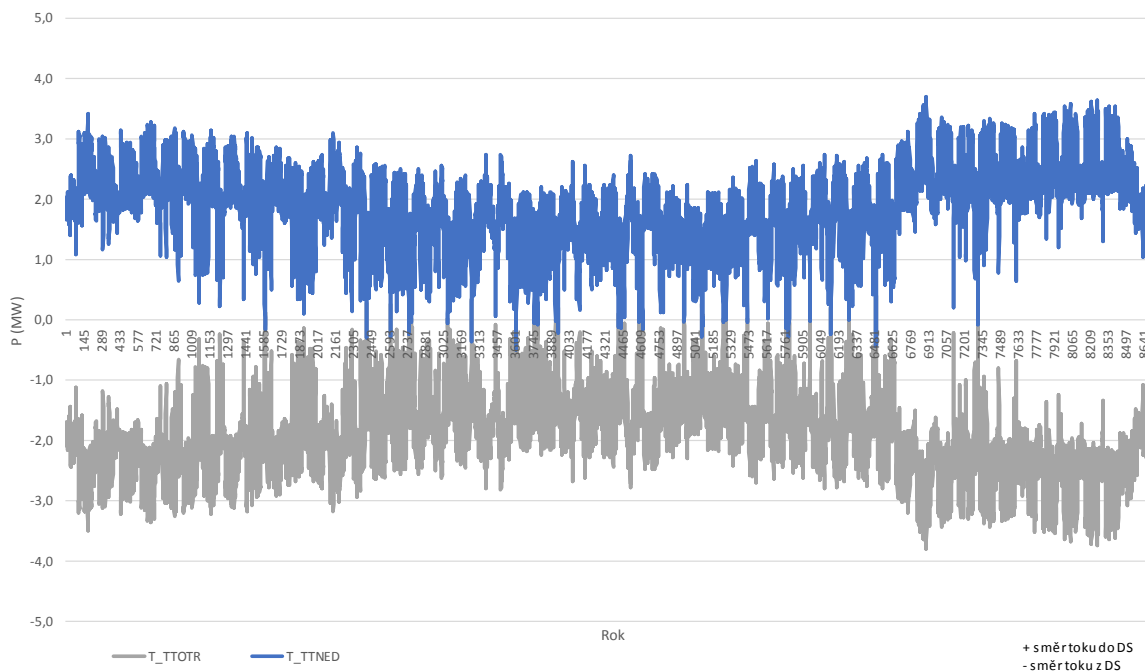
Obr. 5.15 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice při výpadku vedení V418 Otrokovice–Prosenice



Obr. 5.16 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice (bez Nedakonic) při výpadku vedení V418 Otrokovice–Prosenice



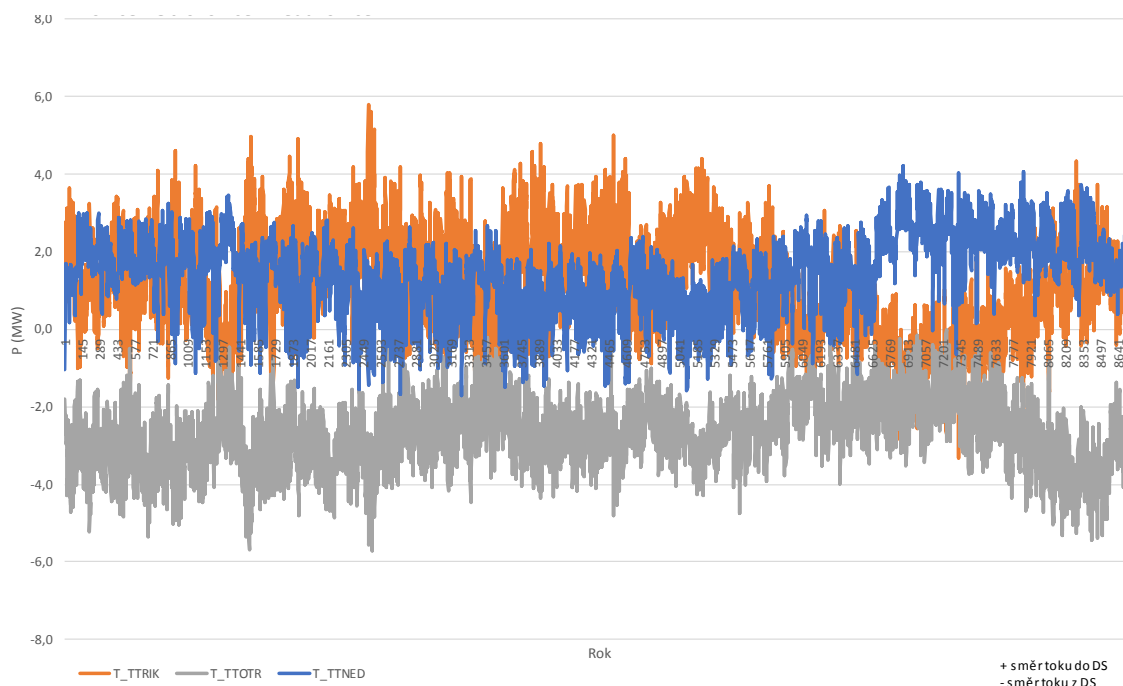
Obr. 5.17 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Otrokovice - Nedakonice (bez Říkovice) při výpadku vedení V418 Otrokovice–Prosenice



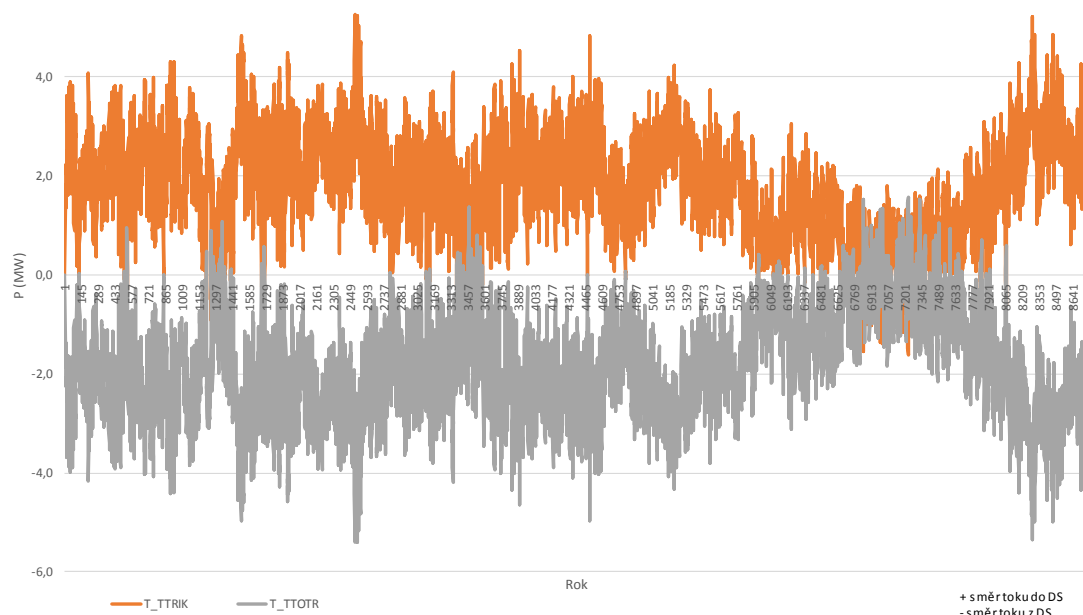
Výpadek transformátoru 400/220 kV T401 Prosenice

Výpadek tohoto transformátoru oddělí systém 400 a 220 kV v oblasti Prosenic. Toto opět zvýší elektrickou vzdálenost mezi rozvodnami Otrokovice a Prosenice, i když ne tak výrazně jako v předchozím případě. Dochází ke změně rozložení zatížení trakčních transformátorů vůči výchozímu stavu, ale nedochází k výraznějším změnám mezních zatížení.

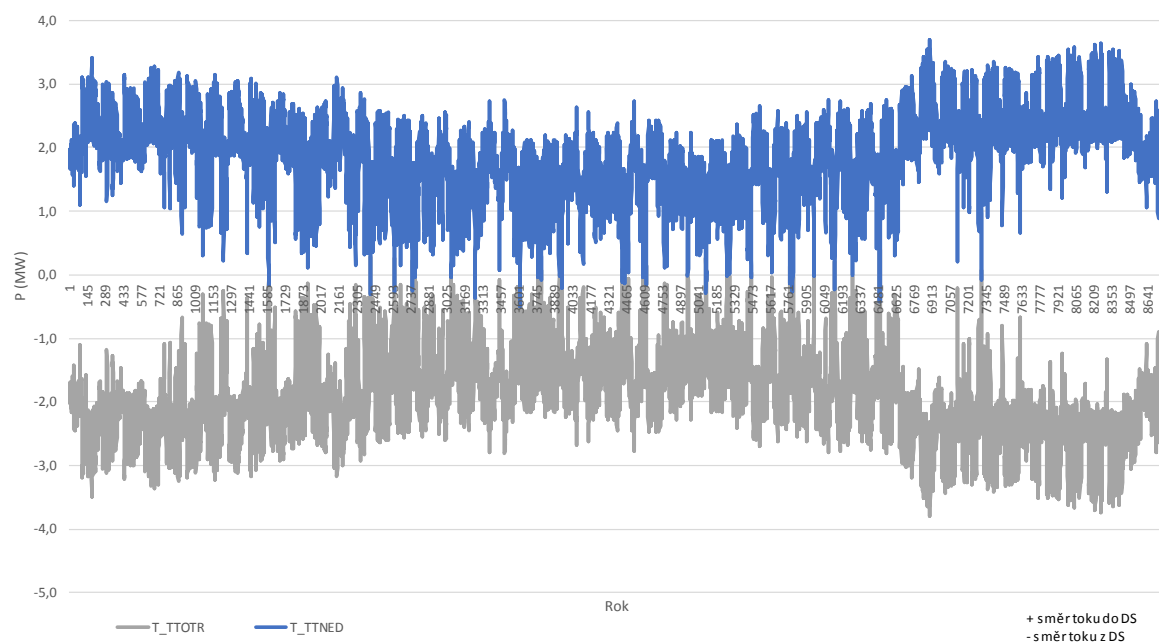
Obr. 5.18 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice při výpadku transformátoru T401 Prosenice



Obr. 5.19 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice (bez Nedakonic)



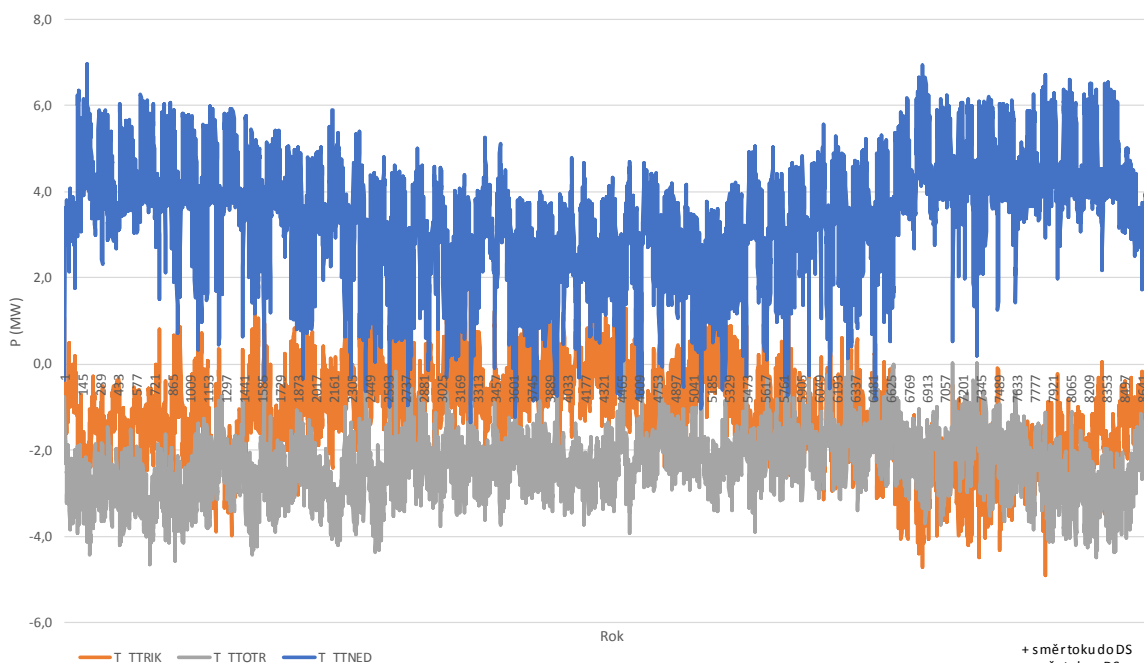
Obr. 5.20 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Otrokovice – Nedakonic (bez Říkovice)



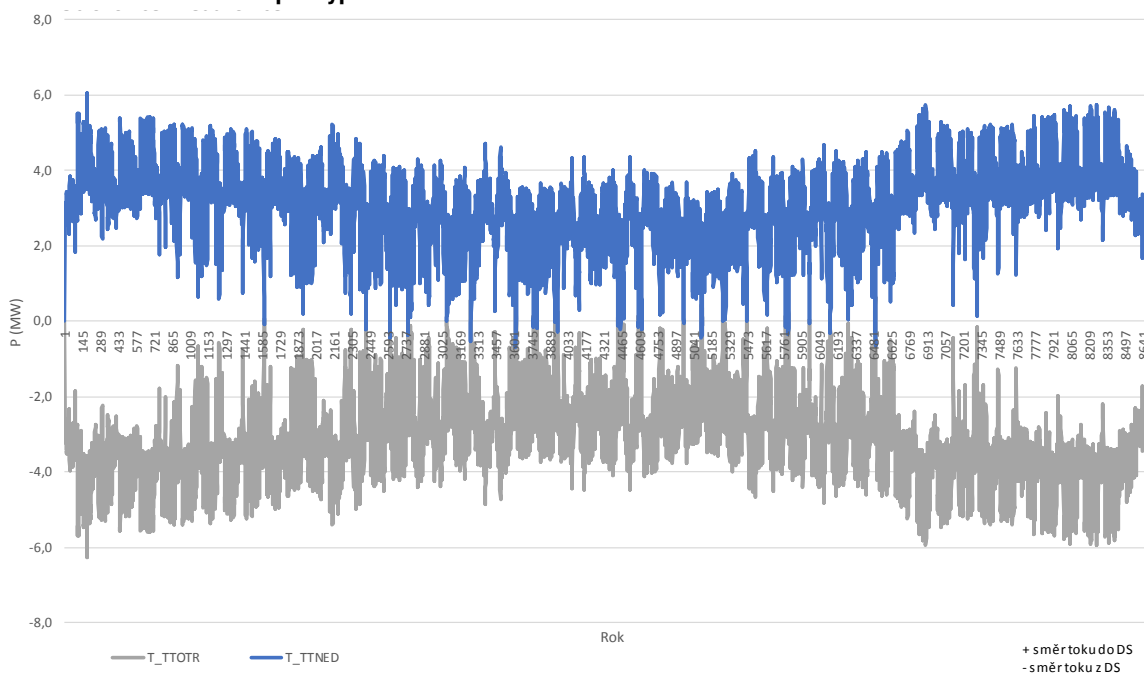
Výpadek vedení 110 kV 546 Otrokovice–Kunovice

Výpadek tohoto vedení zvýší zatížení zbývajících vedení na smyčce napájející rozvodnu Nedakonice. Vzhledem k odběrovému charakteru smyčky dojde k navýšení přetoku výkonu přes transformátor v Nedakonicích. Podobný dopad by měl výpadek téměř libovolného vedení na smyčce 110 kV. Toto zvyšuje riziko výskytu dané situace. Z průběhu je patrné, že dochází k výrazně většímu zatěžování transformátoru v Nedakonicích (přes 6 MW), což je zatížení odpovídající přibližně 50 % jmenovitého výkonu tohoto transformátoru.

Obr. 5.21 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovic–Otrokovice–Nedakonice při výpadku vedení 110 kV 546 Otrokovice–Kunovice



Obr. 5.22 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Otrokovice–Nedakonice při výpadku vedení 110 kV 546 Otrokovice–Kunovice



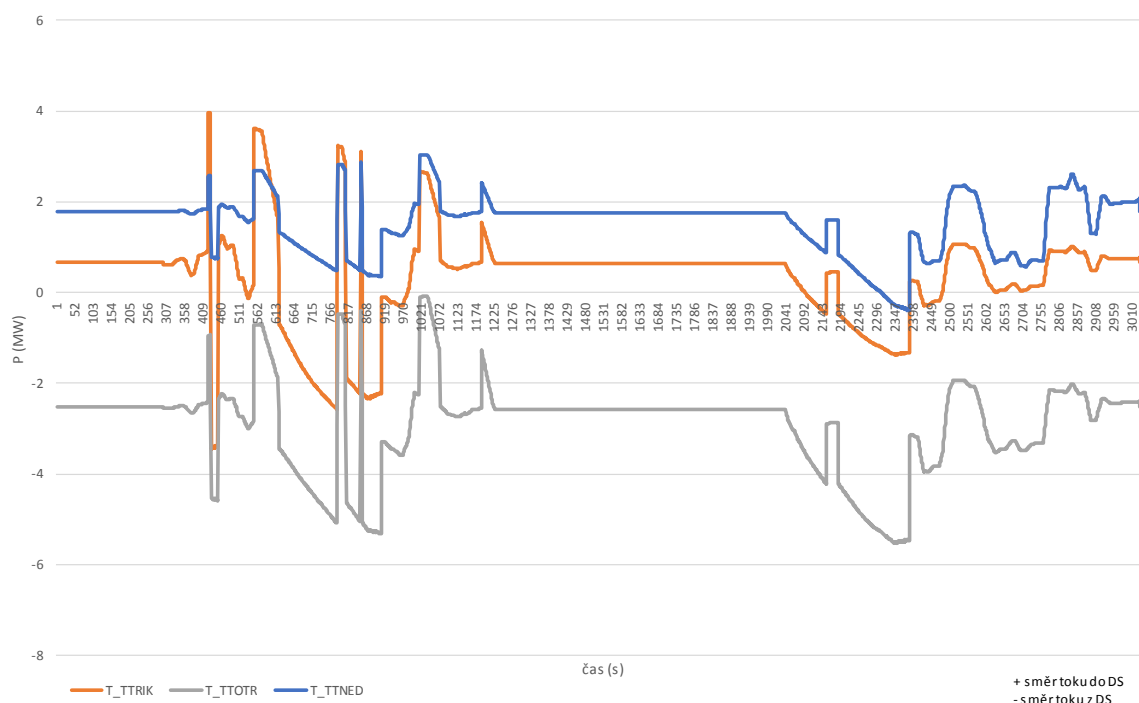
5.5 Zatěžování trakčních transformátorů při průjezdu vlaku

Modelově byl prověřen průjezd vlaku přes vícestranně a jednostranně napájené trakční úseky. Byl simulován průjezd nákladního vlaku 2500 t z Říkovice do Nedakonice se zpomalováním a zrychlováním během cesty a se zastávkou v Otrokovicích. Vlak do sledovaného úseku vjíždí rychlostí 100 km/h. Ve výpočtu bylo uvažováno s rekuperací výkonu. Průjezd i se zastávkou trval přes 50 minut (přes 3000 s). Výpočet je proveden po 1 s řezech. Vstupní podklady s výkonovým průběhem vlaku byly poskytnuty SUDOP Brno.

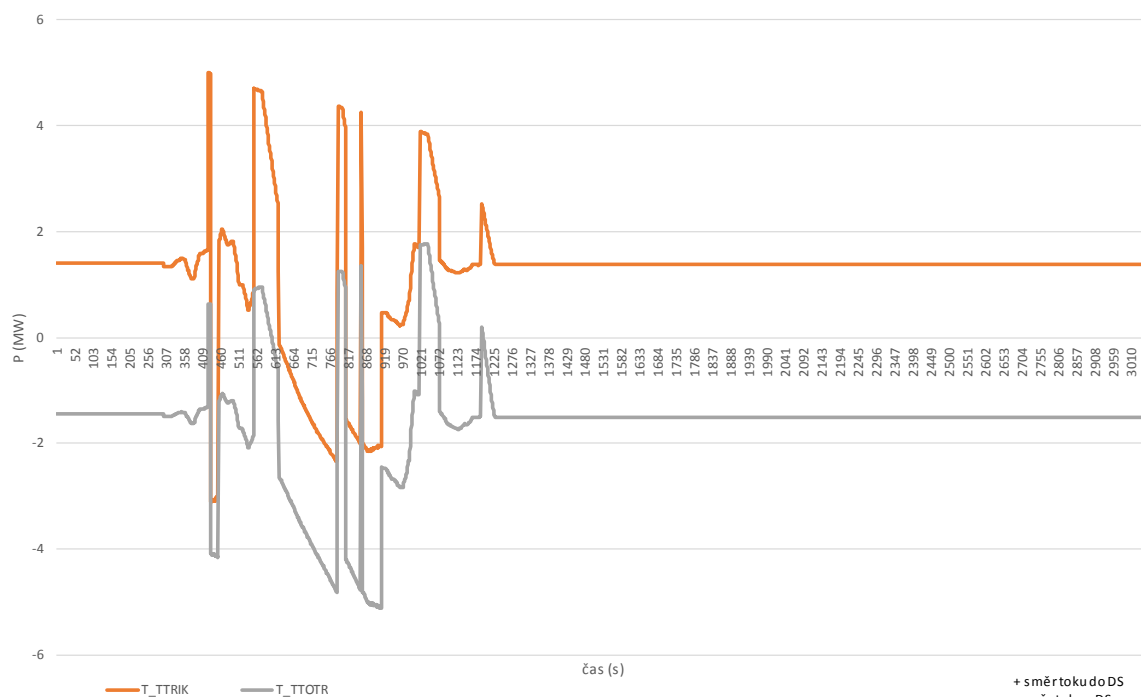
Vícestranné napájení bylo uvažováno, podobně jako u předchozích výpočtů, současným napájením z rozveden Říkovice, Otrokovice, Nedakonice. Poměry v nadřazené distribuční a přenosové soustavě byly vybrány náhodně a byly uvažovány konstantní po celý časový úsek. Z hlediska poměrů vyvolaných nadřazenou soustavou se nejednalo o stav extrémní, ale jednalo se spíše o stav průměrný. Zapojení odpovídalo variantě T1. Grafy pouze s dvoustranným napájením mají záměrně ponechanou stejnou časovou osu jako u trojstranného napájení.

U jednostranného napájení byly na trakční vedení doplněna fiktivní neutrální pole umístěná vždy na polovině úseku mezi Říkovice a Otrokovice a mezi Otrokovice a Nedakonice. Projíždějící vlak je tedy napájen postupně ze všech 3 trakčních rozveden, rozdílné velikosti úseků jsou dány rozdílnou rychlostí vlaku na úsecích a tím, že Otrokovice napájejí úseky na obou stranách rozvodny. Výpočet byl proveden pro oba stavy a bylo porovnáno zatížení a ztráty na trakčních transformátorech a na trakčním vedení za sledovaný časový úsek.

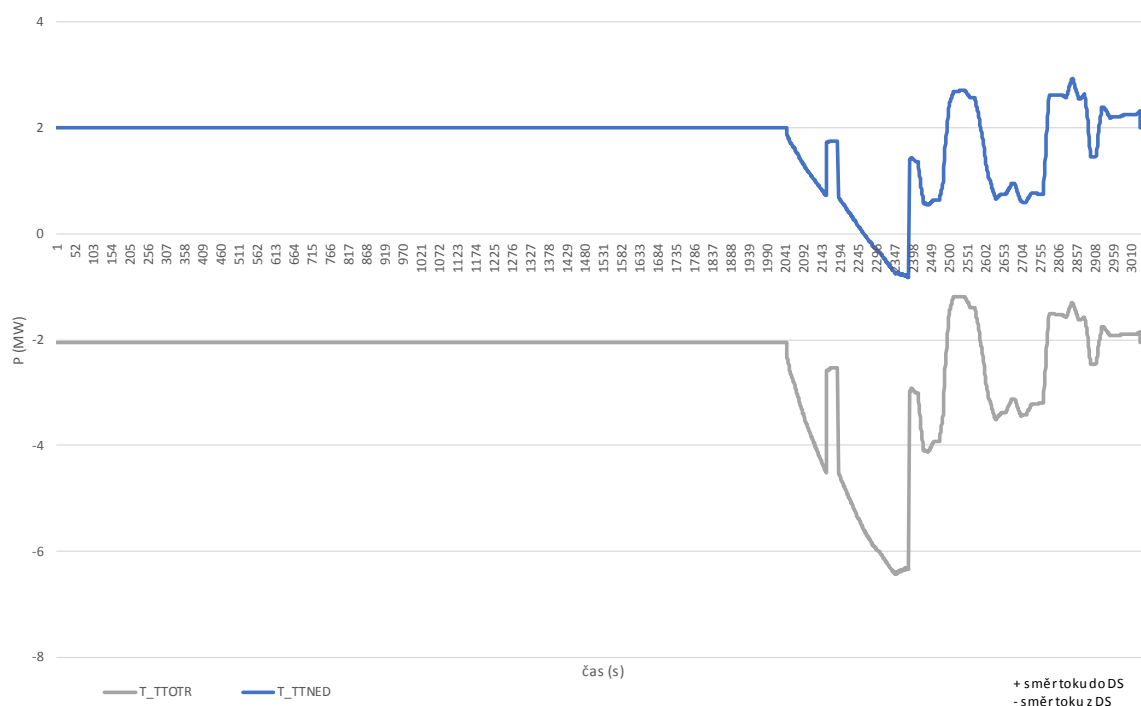
Obr. 5.23 Tok výkonu po trakčních transformátorech při průjezdu nákladního vlaku s brzděním a zastávkami při vícestranném napájení



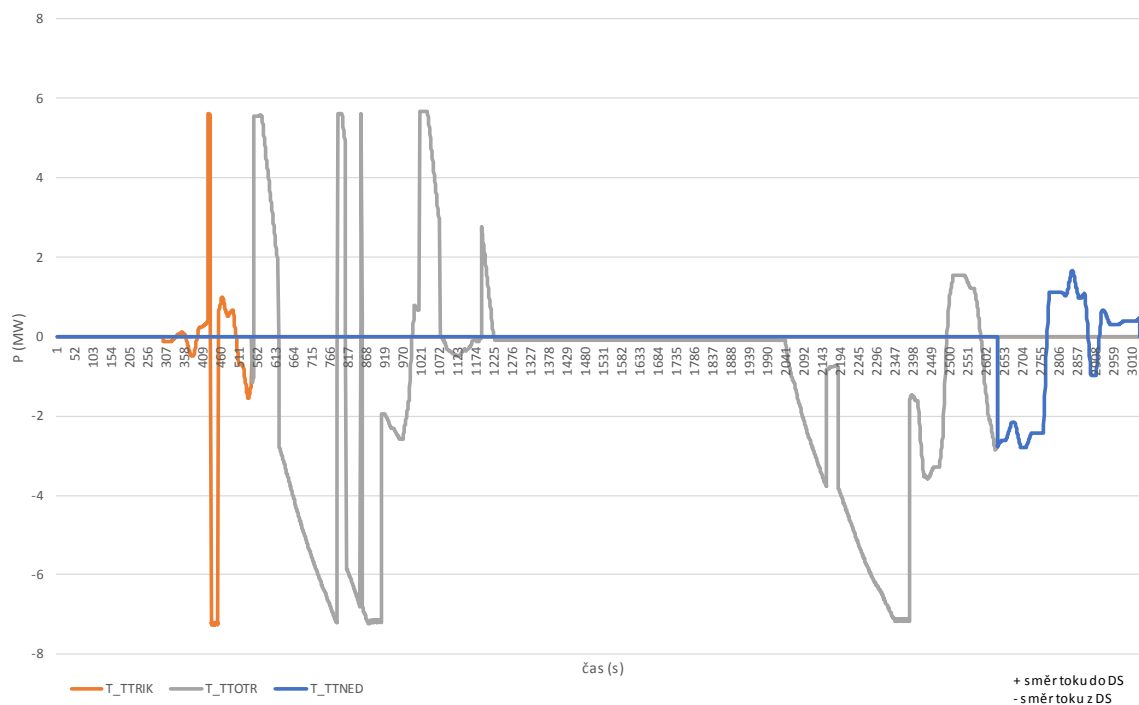
Obr. 5.24 Tok výkonu po trakčních transformátorech při průjezdu nákladního vlaku s brzděním a zastávkami v úseku Říkovice–Otrokovice (bez Nedakonic)



Obr. 5.25 Tok výkonu po trakčních transformátorech při průjezdu nákladního vlaku s brzděním a zastávkami v úseku Otrokovice – Nedakonice (bez Říkovic)



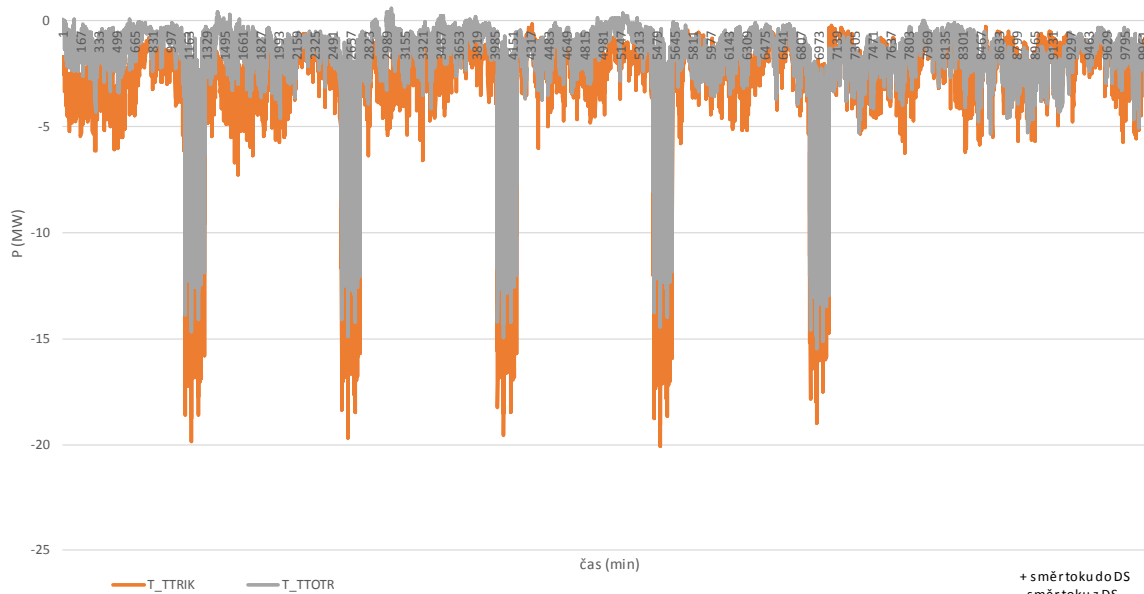
Obr. 5.26 Tok výkonu po trakčních transformátorech při průjezdu nákladního vlaku s brzdění a zastávkami při současném způsobu napájení



Z průběhu je patrné, že vícestranné napájení sníží výkonové špičky v některých případech až o 2 MW. U vícestranného napájení je však výrazně patrný vliv přetoků činného výkonu z nadřazené sítě, který se projevuje vzájemným posunutím křivek zatížení jednotlivých trakčních stanic. Vzhledem k výraznému vlivu přetoků výkonu z nadřazené soustavy jsou dosahované ztráty paradoxně vyšší u vícestranně napájeného zapojení, u trakčního vedení činní ztráty 150 % ztrát jednostranně napájených úseků, u trakčních transformátorů potom 107 % vůči variantě s jednostranným napájením. Nízký rozdíl u ztrát na trakčních transformátorech je způsoben jejich nízkým využitím a převládajícím vlivem ztrát naprázdno. Při vysokém vytížení trati by byly poměry ztrát v opačném poměru. Negativní dopad na ztráty při vícestranném napájení trakčního obvodu má právě nízké využití trati, kdy ztráty vyvolané přetoky výkonu z distribuce převažují nad ztrátami způsobenými průjezdem vlaků.

Na datech poskytnutých SUDOP Brno byl proveden ještě jiný typ výpočtu, výpočet týdenního režimu na úseku Říkovice–Otrokovice s oboustranným napájením. Odběry vlaků mají záměrně extrémně vysokou hodnotu ve špičkách, stav odpovídá budoucnosti s potenciálním vysokým vytížením trati a s průjezdem těžkých vlaků po elektrizaci některých navazujících úseků. Zatížení mimo špičku odpovídá přibližně současným hodnotám zatížení, v budoucnu by se nemělo příliš lišit. Výpočet byl řešen v minutových řezech. Poměry v nadřazených napěťových hladinách byly opět vybrány náhodně pro jeden týden se zapojením odpovídajícím T1.

Obr. 5.27 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice (týdenní průběh s vysokým zatížením)



Z průběhu je patrné, že při vysokých odběrech a při nízkých paralelních tocích z distribuce jsou přetoky výkonu směrem do distribuce minimální. Vzhledem k možným poměrům v sítích nadřazených napětových hladin a vzhledem k proměnnému zatížení trakčního úseku nelze výskyt výraznějších přetoků do DS vyloučit.

5.6 Poměry na trakčních rozvodnách jihozápadní Moravy

Po dohodě se zadavatelem byla provedena analýza poměrů z hlediska úhlů napětí v DS 110 kV (ve stavu bez odběru trakce) na současných i budoucích rozvodnách trakčních napájecích stanic v oblasti jihozápadní Moravy. U nových trakčních rozvodů (Černovice, Vyškov, Kyjov) byly vyhodnoceny poměry na stávajících distribučních rozvodnách. Výpočet svým rozsahem spadá do druhé etapy řešení, je uveden pouze jako podklad pro možný přenos poznatků z analýzy úseku Nedakonice–Otrokovice–Říkovice na okolní rozvodny trakčních napájecích stanic s cílem učinit si přehlednou představu o fázových poměrech v dané oblasti a smysluplně zadat druhou etapu řešení.

Výsledky byly zpracovány ve formě četnosti výskytu rozdílů úhlů napětí mezi sousedními trakčními rozvodnami, mezi kterými se uvažuje o budoucí možnosti vícestranného napájení trakčního vedení. Výsledky za úsek Nedakonice–Otrokovice–Říkovice odpovídají poměrům v síti 110 kV uvažovaným v zapojení T1. Hodnoty v tabulce jsou počty hodin za rok, ve kterých je dosahován uvedený rozdíl úhlů napětí na úrovni 110 kV.

Z výsledků je patrné, že obdobně rozličných poměrů jako na úsecích Nedakonice – Otrokovice a Otrokovice – Říkovice je dosahováno i u ostatních trakčních napájecích stanic v analyzované oblasti.

K úsekům s největším vzájemným ovlivněním trakce a distribuce by patřil úsek Břeclav–Modřice, což je způsobeno velkou vzdáleností rozvodů a bilančními poměry na celém distribučním úseku 110 kV.

K nejmenšímu ovlivnění by došlo u úseku Modřice–Černovice a u úseku Kyjov–Nedakonice. Rozvodny na těchto úsecích jsou v řešeném zapojení sítě 110 kV na stejných smyčkách 110 kV (jsou elektricky blízké). Takové zapojení v rámci sítě 110 kV však nemusí být trvalé.

Četnosti výskytu rozdílů úhlů mezi rozvodnami 110 kV (v počtu hodin)

	Říkovice - Otrokovice	Otrokovice- Nedakonice	Nedakonice- Břeclav	Břeclav-Modřice	Modřice- Černovice	Černovice-Vyškov	Vyškov-Kyjov	Kyjov -Nedakonice
7°	0	0	0	1	0	0	0	0
6°	0	0	0	14	0	0	0	0
5°	0	0	4	63	0	0	1	0
4°	2	0	59	1381	0	0	25	0
3°	72	0	271	3107	0	0	209	0
2°	1882	0	1162	2931	0	15	689	2204
1°	4180	57	2415	1040	0	180	1691	6543
0°	2266	459	2526	201	8759	1273	2257	12
-1°	354	1138	1700	21	0	3738	2338	0
-2°	3	3344	558	0	0	2987	1228	0
-3°	0	2525	58	0	0	536	267	0
-4°	0	1093	6	0	0	22	51	0
-5°	0	143	0	0	0	8	3	0
-6°	0	0	0	0	0	0	0	0
-7°	0	0	0	0	0	0	0	0

Znaménková konvence:

Otrokovice - Nedakonice - úhel se záporným znaménkem, výkon přes trakti poteče z Otrokovic do Nedakonice

6 Zkratové poměry

Cílem výpočtů zkratových poměrů bylo stanovení vzájemného ovlivnění distribuční soustavy a trakčního vedení během zkratových poruch na trakti i v distribuci.

Cílem bylo na modelových poruchách stanovit zkratové příspěvky pro dvoupólový zkratový proud a stanovit úroveň poklesů napětí způsobené průchodem počátečního souměrného rázového zkratového proudu. Zkrat byl modelován mezi dvěma fázemi napájecími trakční obvod, při výpočtech zkratů nebylo uvažováno se symetrizačním zařízením. Ve výpočtech se pracuje s předpokladem, že vzhledem ke konstrukci symetrizačního zařízení dojde k jeho vyřazení z provozu již během počátku zkratu. Trakční transformátory pak byly modelovány jako třífázové se dvěma postiženými fázemi. Výpočty zkratových poměrů vycházejí z postupů uvedených v normě ČSN EN 60909-0.

ZKRATY NA PŘÍPOJNICÍCH 25 KV

Výpočet byl proveden pro zkraty na výstupních přípojnících trakčních napájecích stanic Říkovice, Otrokovice, Nedakonice pro vícestranné napájení trakčního vedení. Zkrat byl proveden vždy u jedné z trakčních napájecích stanic. Je uvažováno s dvěma paralelními trakčními vedeními mezi napájecími stanicemi (2 kolejná trať). V každé TNS pracují jeden nebo dva třífázové transformátory paralelně, symetrizaci provádí balancér.

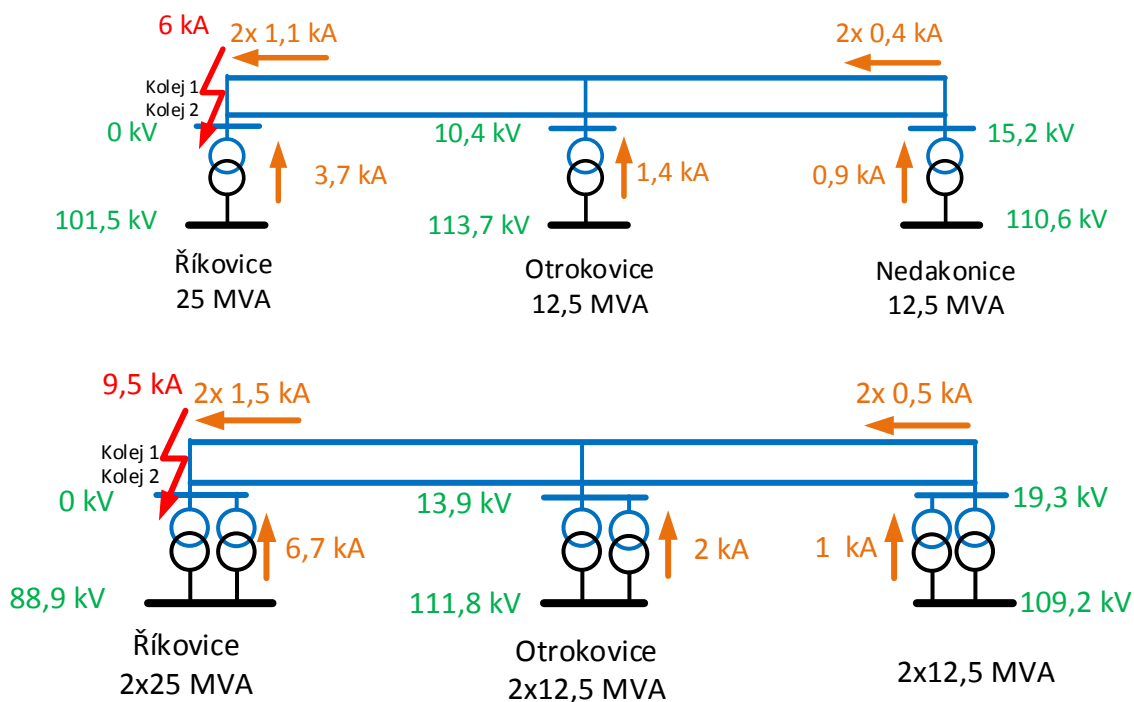
Vyhodnocovány byly hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu v místě zkratu a rozložení příspěvků tohoto proudu z jednotlivých trakčních napájecích stanic. Dále byly vyhodnoceny hodnoty napětí při zkratu na přípojnících 25 kV a na přípojnících 110 kV. Hodnoty napětí jsou sdružená napětí mezi postiženými fázemi.

Při uvažovaném zapojení jsou při zkratu na přípojnících 25 kV dosahovány zkratové proudy až 6 kA, to je přibližně dvojnásobná hodnota dosahovaná v současnosti při současné koncepci napájení trakční soustavy bez paralelního chodu trakčních napájecích stanic. Zkratový příspěvek ze

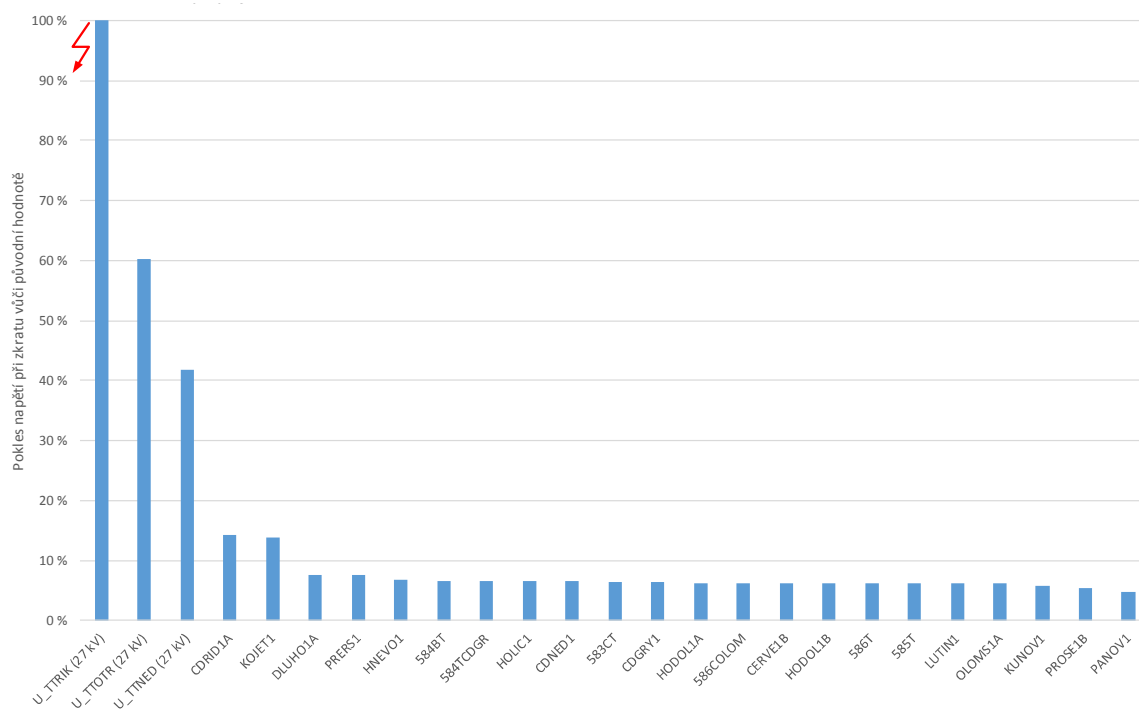
sousedních napájecích stanic je závislý na vzdálenosti od místa zkratu a na způsobu napájení úseku (paralelní napájení z jedné či z obou stran, od jedné či více sousedních stanic). Příspěvek z distribuční soustavy je při použití třífázového transformátoru a balancéru v přepočtu na MVA instalovaného výkonu transformátoru nižší, protože při stejném napětí nakrátko jako u současných jednofázových trakčních transformátorů jsou při zkratu na třífázovém trakčním transformátoru proudovou trasou pouze dvě fáze (ale pozor – nepracují dva paralelně, ale každý zvlášť). Z hlediska velikosti dosahovaných zkratových proudů a zkratových příspěvků by tento způsob provozu neměl být problém z hlediska dimenzování zařízení ani z hlediska fungování ochran.

Při zkratu na úrovni 25 kV dochází k výrazným poklesům napětí na všech paralelně spolupracujících TNS. Pokles napětí na sousedních, zkratem nepostižených stanicích na úrovni napětí 25 kV dosahuje podle vzdálenosti od místa zkratu 40 až 70 % původní hodnoty. Důležité je, že se poklesy napětí z úrovně 25 kV minimálně přenáší na úroveň 110 kV. Pokles napětí na 110 kV při zkratu na 25 kV je většinou do 10 % původní hodnoty napětí (na zkratem postižené TNS i na sousedních TNS). Takto malý pokles by neměl podstatně ovlivnit kvalitu napětí v systému 110 kV. Výchozí napětí rozveden 110 kV se pohybovalo v blízkosti 118 kV.

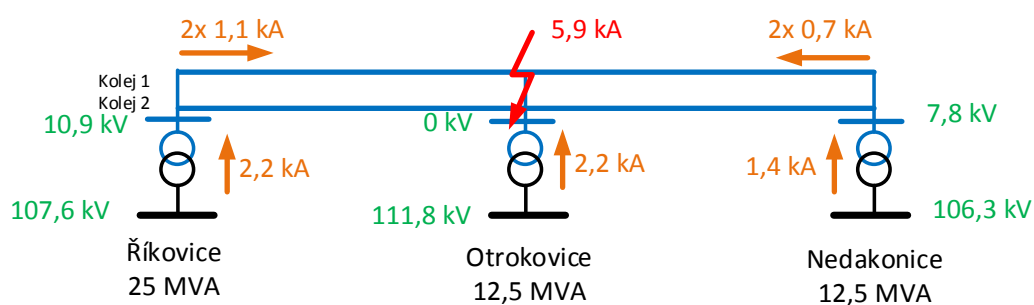
Obr. 6.1 Poměry při zkratu na úrovni 25 kV v TT Říkovice



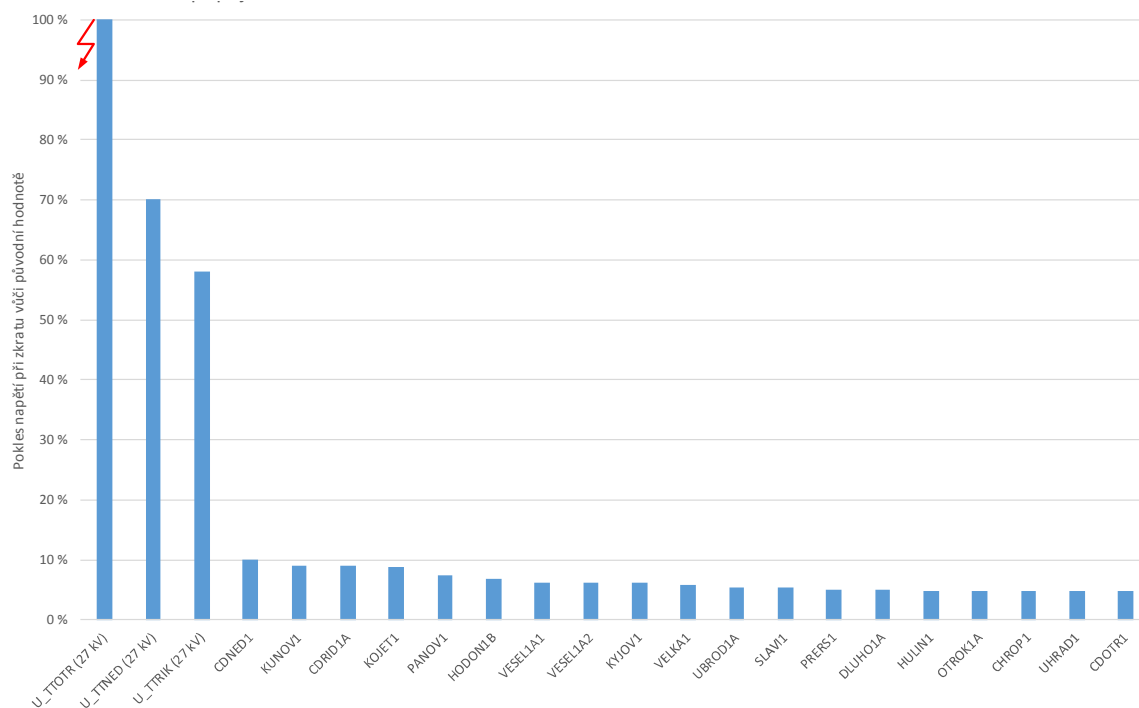
Obr. 6.2 Úbytky napětí během zkratu vůči výchozímu napětí – zkrat na přípojnících 25 kV v TT Říkovice



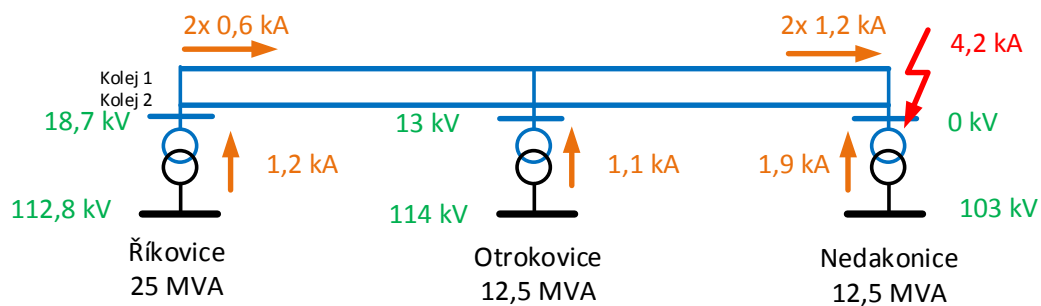
Obr. 6.3 Poměry při zkratu na úrovni 25 kV v TT Otrokovice



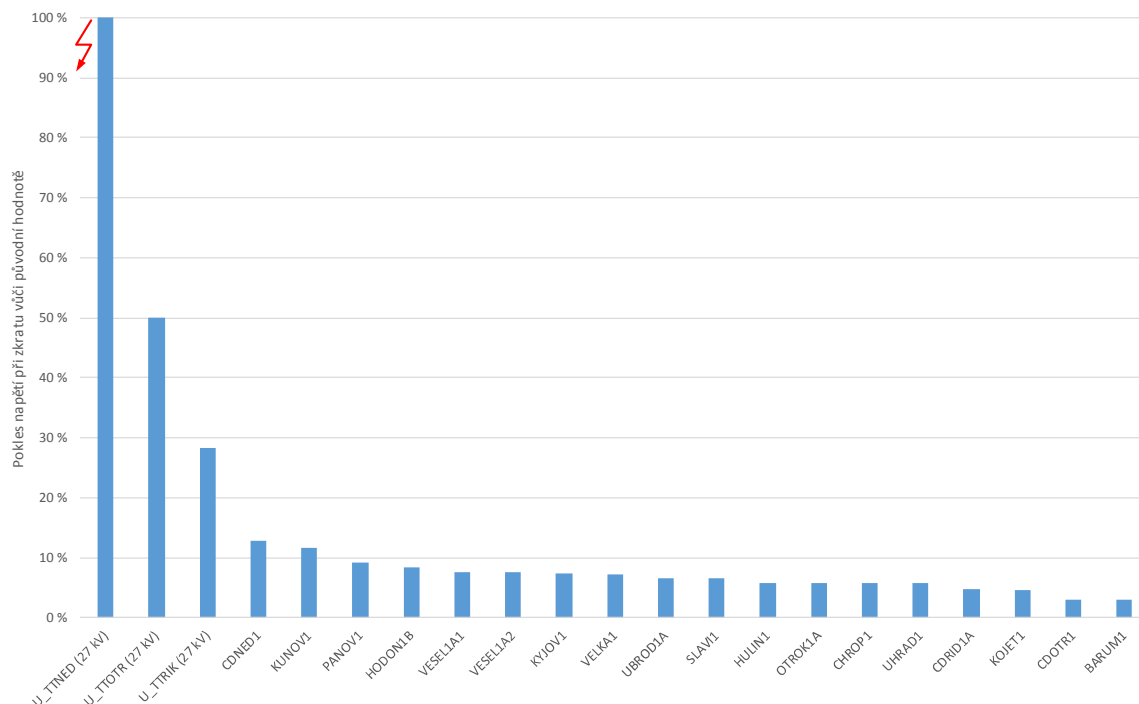
Obr. 6.4 Úbytky napětí během zkratu vůči výchozímu napětí – zkrat na přípojnících 25 kV v TT Otrokovice



Obr. 6.5 Poměry při zkratu na úrovni 25 kV v TT Nedakonice



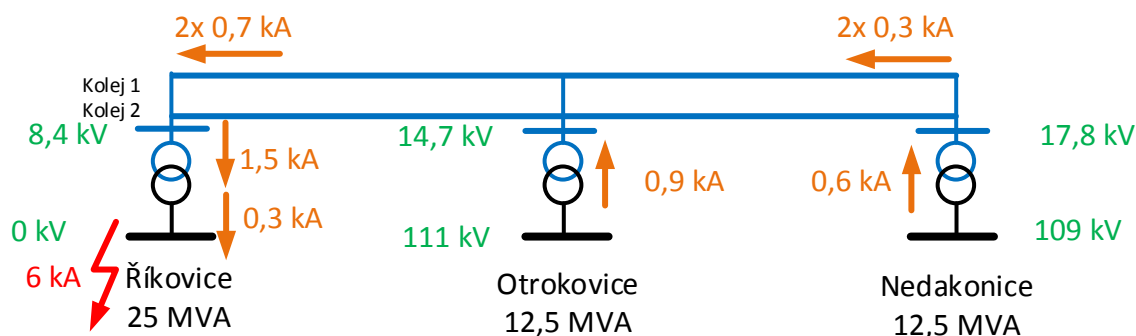
Obr. 6.6 Úbytky napětí během zkratu vůči výchozímu napětí – zkrat na přípojnicích 25 kV v TT Nedakonice



ZKRATY NA PŘÍPOJNICÍCH 110 KV

Modelový výpočet byl proveden na přípojnicích 110 kV rozvodny Říkovice, kde je ve vyšetřované lokalitě vazba na trakční napájecí stanici s nejvyšším instalovaným výkonem. Při zkratu na 110 kV se přes trakční systém uzavírá zkratový příspěvek do 1,5 kA, což odpovídá přibližně příspěvku 0,3 kA na úrovni 110 kV. Dochází k poklesu napětí na všech přípojnicích 25 kV. Stejně jako v případě zkratů na úrovni 25 kV nedochází k výraznějším poklesům napětí v nepostižených napájecích stanicích 110 kV (tyto jsou napájeny z jiných uzlových oblastí 110 kV). Ani v tomto případě tedy nehrozí riziko závrtek nízkého napětí mezi oddělenými distribučními oblastmi 110 kV přes trakční systém.

Obr. 6.7 Poměry při zkratu na úrovni 110 kV v rozvodně Říkovice



ZKRATOVÉ POMĚRY NA ÚROVNI 110 kV

Pro další úvahy byla provedeny orientační výpočty zkratových poměrů v trakčních rozvodnách 110 kV v závislosti na počtu transformátorů pracujících do uzlové oblasti 110 kV. Tyto údaje jsou podstatné z hlediska určení tvrdosti elektrické sítě a z toho vycházejících potencionálních problémů s kvalitou elektrické energie. Hodnoty zkratových výpočtů nejsou pojaty jako výpočet maximálních a minimálních hodnot, mohou se měnit vlivem zapojení (omezení) v síti a vlivem změny způsobu vyvedení zdrojů.

Tab. 6.1 Zkratové poměry v trakčních rozvodnách 110 kV v závislosti na počtu transformátorů PS/110 kV pracujících do uzlové oblasti

Rozvodna 110 kV	S 3p. (MVA)	Napěťová hladina a velikost transformátoru					Poznámka
		400 kV			220 kV		
		350 MVA	350 MVA	350 MVA	200 MVA	200 MVA	
Říkovice	1100					•	Teoretický stav
	1300				•	•	
	1500	•			•	•	
	1200	•					
Otrokovice	2300	•					Teoretický stav
	3300	•	•				
	3900	•	•	•			
Nedakonice	800	•					
	880	•	•				
	920	•	•	•			

7 Shrnutí výsledků

Na řešeném trakčním úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice se při vícestranném napájení potvrdil výskyt nezanedbatelných paralelních toků činného výkonu ve stavu naprázdno. Tyto toky jsou vyvolány poměry v nadřazených napěťových soustavách (distribuční a přenosová) a nejsou přímo provozně ovlivnitelné. Velikost paralelních toků je silně závislá na bilančních poměrech (výroba, spotřeba) mimo trakční síť a je také závislá na konkrétní konfiguraci zapojení distribuční a přenosové sítě.

Při simulačních výpočtech se ukázalo, že chování paralelně napájených úseků se v závislosti na místních poměrech v PS a DS případ od případu výrazně odlišuje. Paralelní chod dvou sousedních TNS Říkovice a Otrokovice vyvolává výrazně menší přetoky energie (střední roční výkon 0,3 MW), než paralelní chod dvou sousedních TNS Nedakonice a Otrokovice (střední roční výkon 1,9 MW). Příčinou velkého kolísání fázových úhlů je zejména denní cyklus spotřeby a výroby v napájené oblasti spolu a kolísání tranzitu na úrovni přenosové soustavy.

Dále se při simulačních výpočtech ukázalo, že připojení další (vzdálenější) napájecí stanice s výrazně odlišnou fází dochází ke zvýšení přetoků výkonu i mezi dvojicí fázově vyrovnaných napájecích stanic (obě tyto stanice paralelně spolupracují na přenosu výkonu k fázově odlišné napájecí stanici).

Při nízkém dopravním využití tratí mohou být paralelní toky výkonu převažující nad toky výkonu způsobené odběrem vlaků. V těchto situacích by docházelo ke vzniku činných ztrát v trakčním vedení a v trakčních transformátorech, což působí proti přínosu dvoustranného napájení, kterým má být snížení ztrát způsobených v trakčním vedení a v trakčních transformátorech odběrem trakční energie pro provoz vlaků.

Při vyšším dopravním využití tratí budou paralelní toky výkonu překryty toky výkonu způsobenými odběrem vlaků. V takovém případě se výrazně omezí opačné toky energie, rozdílná fáze napětí má vliv na rovnoměrnost rozložení odběru mezi jednotlivými napájecími stanicemi.

Tématem k dalšímu řešení je způsob zúčtování přetoků energie, přetoky se uzavírají mezi různými uzly distribuční soustavy, a dokonce mezi různými provozovateli distribučních soustav.

Zkratové proudy v síti 25 kV se na řešeném úseku vlivem paralelního vícestranného napájení dostávají v některých případech až na úroveň 6-9 kA (2-3 násobek dnešních hodnot), tato úroveň nepředstavuje problém z hlediska dimenzování. Velikost a orientace příspěvků ke zkratům na úrovni 25 kV je na úrovni umožňující bezpečné selektivní vypnutí poruchy. Příspěvek přes trakci do zkratu na úrovni 110 kV je poměrně malý a neměl by způsobovat problémy. Případné závažnější ovlivnění napětí ve 110 kV při zkratu na vícestranně napájeném trakčním úseku se nepotvrdilo.

Přílohy

Orientační schéma sítí PS a 110 kV s vybranými trasami elektrické trakce

Zapojení T1

Zapojení T2

Zapojení T3

