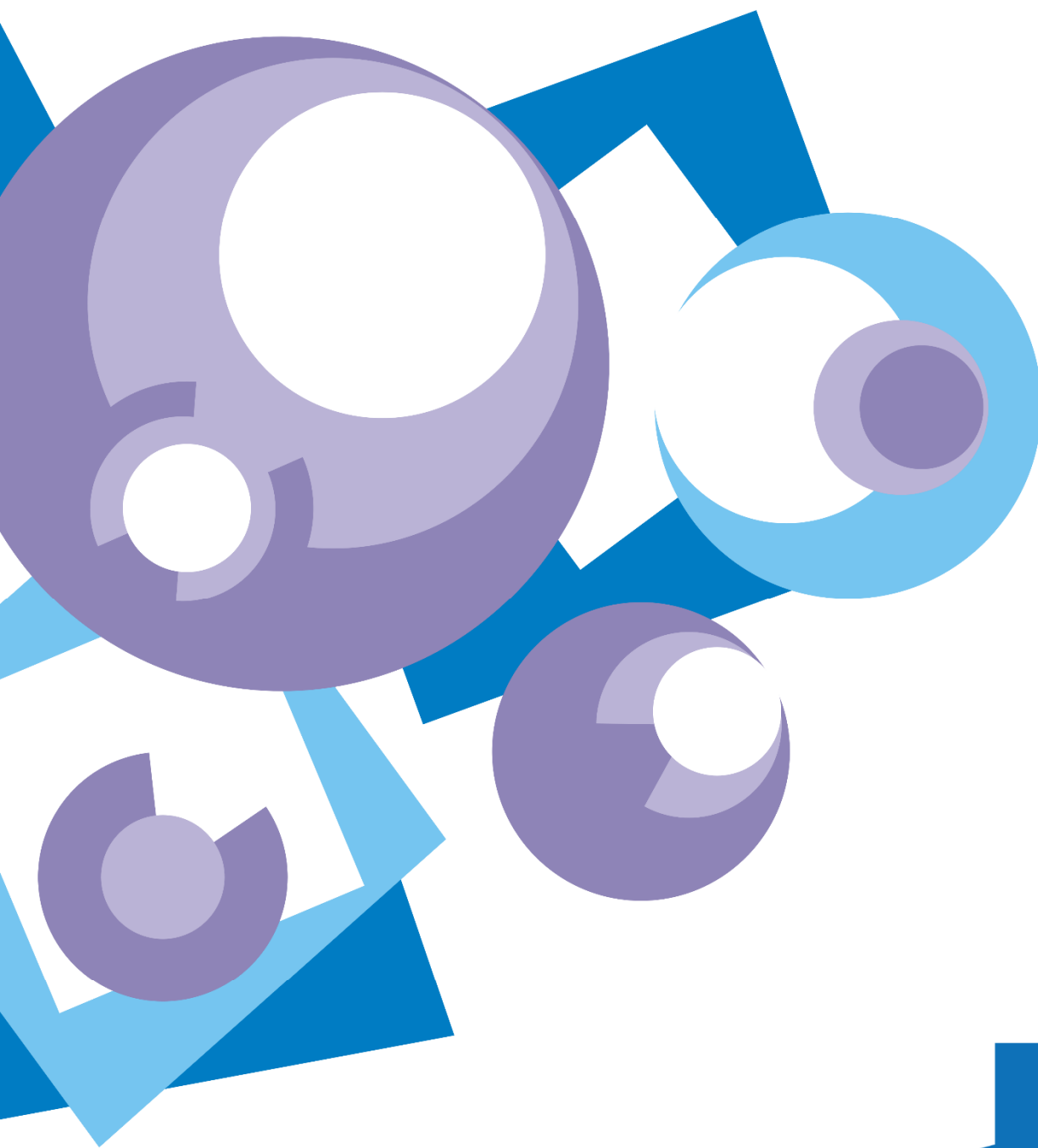


18 PŘÍLOHY STUDIE

18.1 Seznam příloh studie

- 01 Studie EGU I_dopad konverze na DS**
- 02 Studie EGU II_dopad konverze na DS**
- 03 Zápis - 10.08.2017_porada_TES_rozsah**
- 04 Zápis - 07.09.2017_porada_TES_DS**
- 05 Zápis - 19.09.2017_porada_TES_Dopravci**
- 06 Zápis - 10.10.2017_porada_TES_DS**
- 07 Zápis - 20.10.2017_porada_TES_SSV**



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.

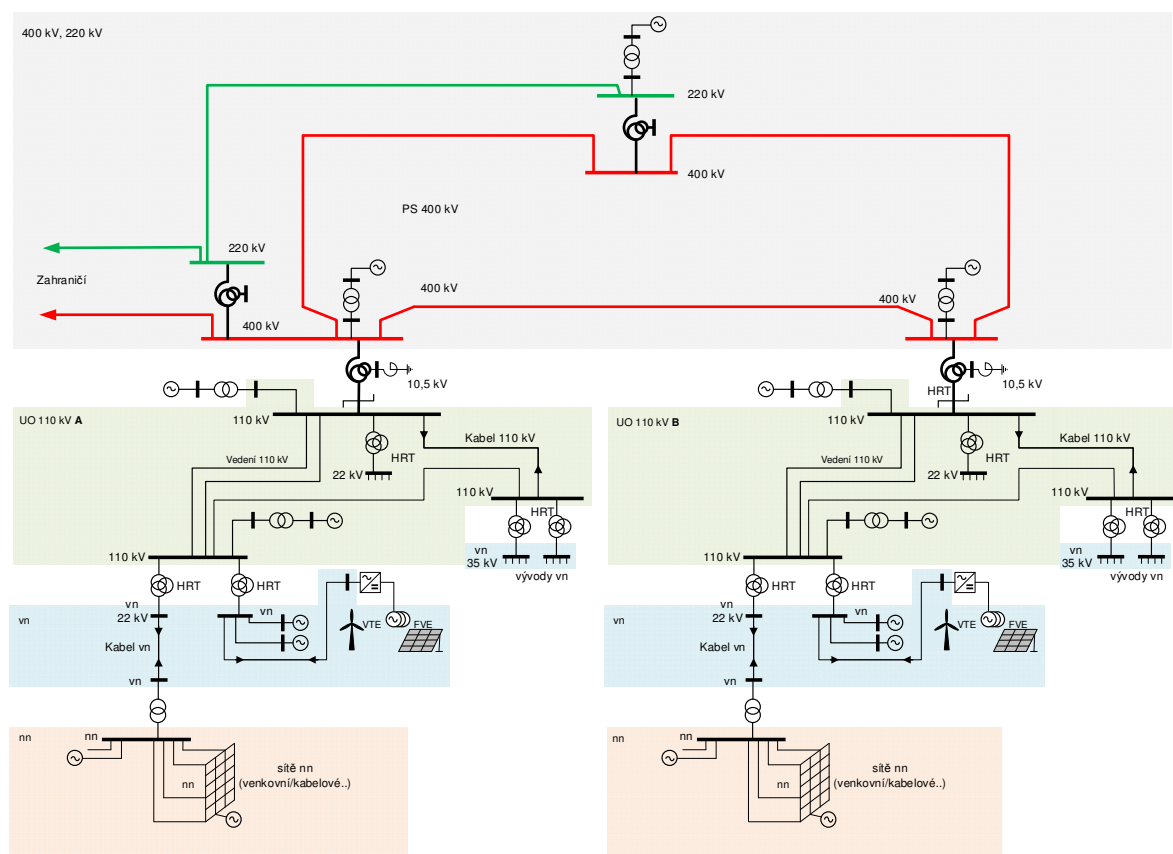
Přenosová soustava je s distribucí propojena transformátory 400/110 kV a 220/110 kV. Tyto transformátory zásobují tzv. uzlové oblasti, což jsou vydělené oblasti sítí 110 kV, které jsou napájeny transformátorem nebo transformátory z jednoho uzlu PS. V určitých případech se používá tzv. paralelní provoz 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 převážit 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 přerušeno 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 ujede 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,

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.

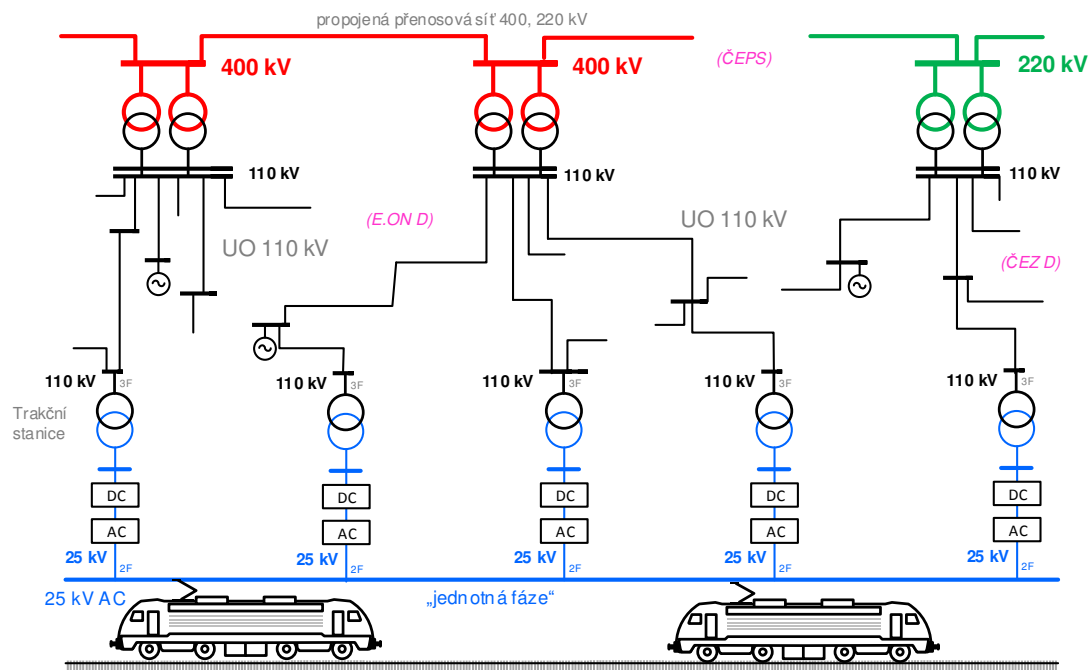
Z toho pak vyplývají čtyři možné přístupy řešení:

- 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.

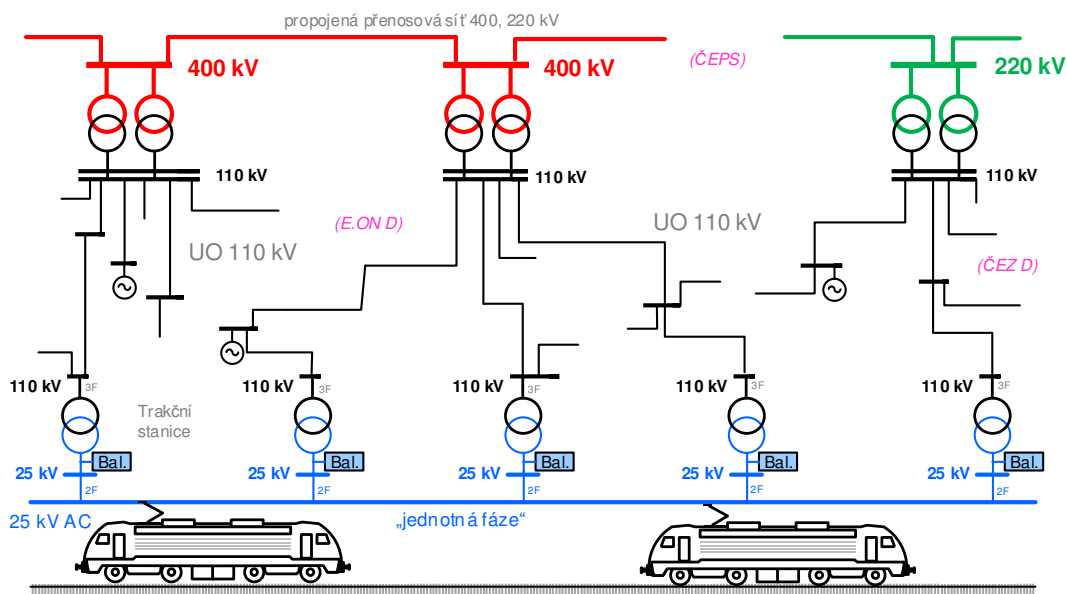
Posouzení míry přípustnosti či nepřípustnosti dlouhodobých či krátkodobých vyrovnávacích proudů nelze učinit bez podrobné analýzy poměrů v DS a to ve vztahu k napájení drah. To je předmětem předkládané studie.

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.

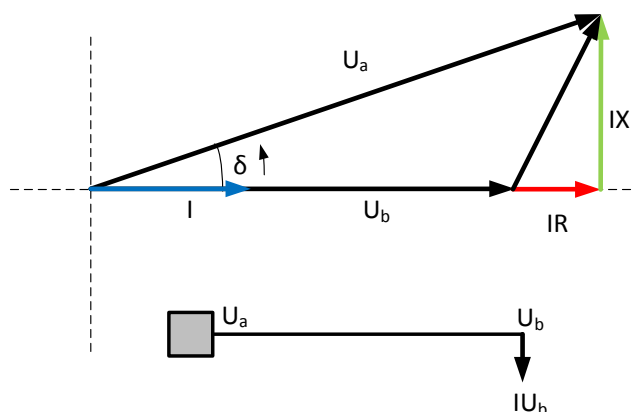
Velikost úhlů napětí u trakčních rozvodech

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

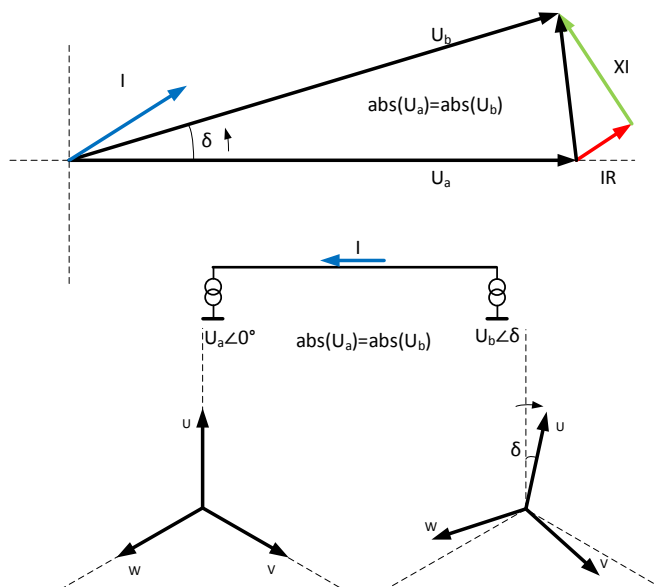
Hodnota impedance trakčního obvodu je dána součtem impedance transformátorů (její hodnota je nepřímo úměrná jejich jmenovitému výkonu) a impedance trakčního vedení (její hodnota je úměrná délce napájeného úseku a nepřímo úměrná počtu paralelních kolejí). Obecně platí, že při určitém rozdílu úhlu napětí 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.

ÚHLY NAPĚTÍ DOSAHOVANÉ NA ÚROVNI PS

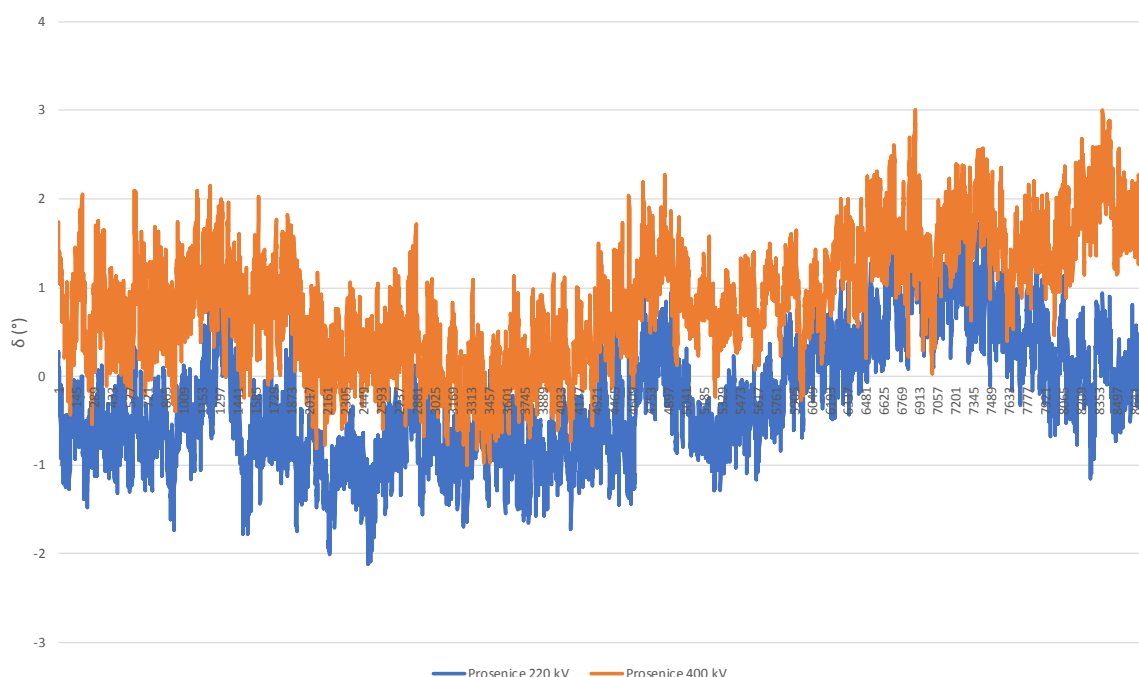
V přenosové síti (PS) je velikost úhlů napětí v rozvodnách dána rozložením spotřeby a výroby v síti, impedancí PS a velikostí tranzitních toků výkonu. I zde se jedná o posuny úhlů vyvolané průchodem výkonu přes impedanci sítě. V řešené oblasti jsou pro úhly napětí dominantní tyto vlivy:

- 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)

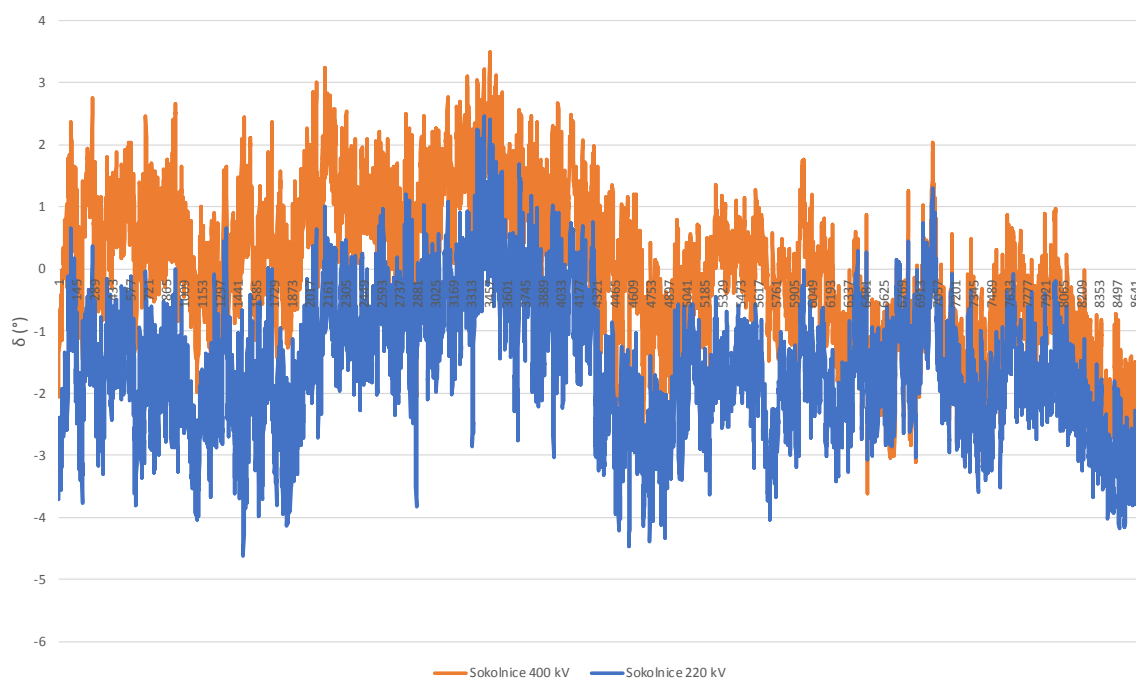
- Cyklování přečerpávací vodních elektráren Dlouhé stráně a Dalešice.
- Počet nasazených bloků jaderné elektrárny Dukovany.

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.

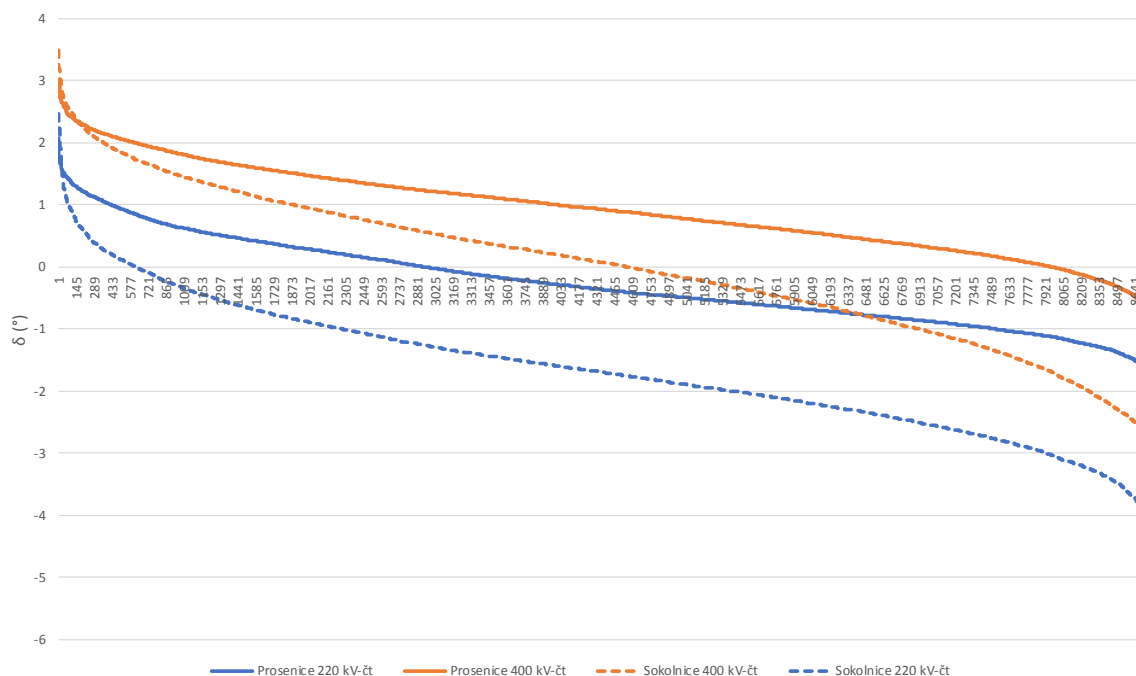
Obr. 3.3 Rozdíl úhlů napětí přípojnic uzlu Prosenice 400 kV a 220 kV vůči uzlu Otrokovice 400 kV (hodinová simulace na základě statistiky ročního průběhu 2015)



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

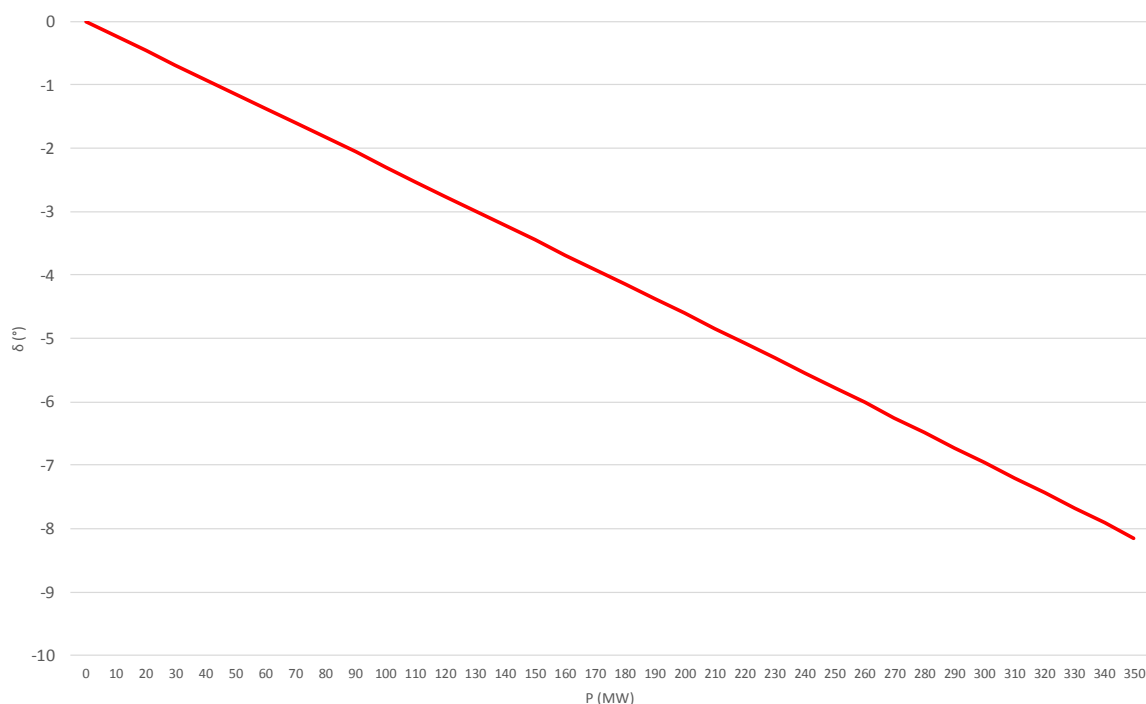
Při plném zatížení transformátoru PS/110 kV na něm dochází ke změně úhlu 6° až 8° (mezi primárem a sekundárem), změna úhlu je lineární v závislosti na zatížení. Provozně je tedy velmi podstatné, jak je zatížený transformátor, který napájí větve s trakční stanicí. Při oboustranně napájených trakčních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

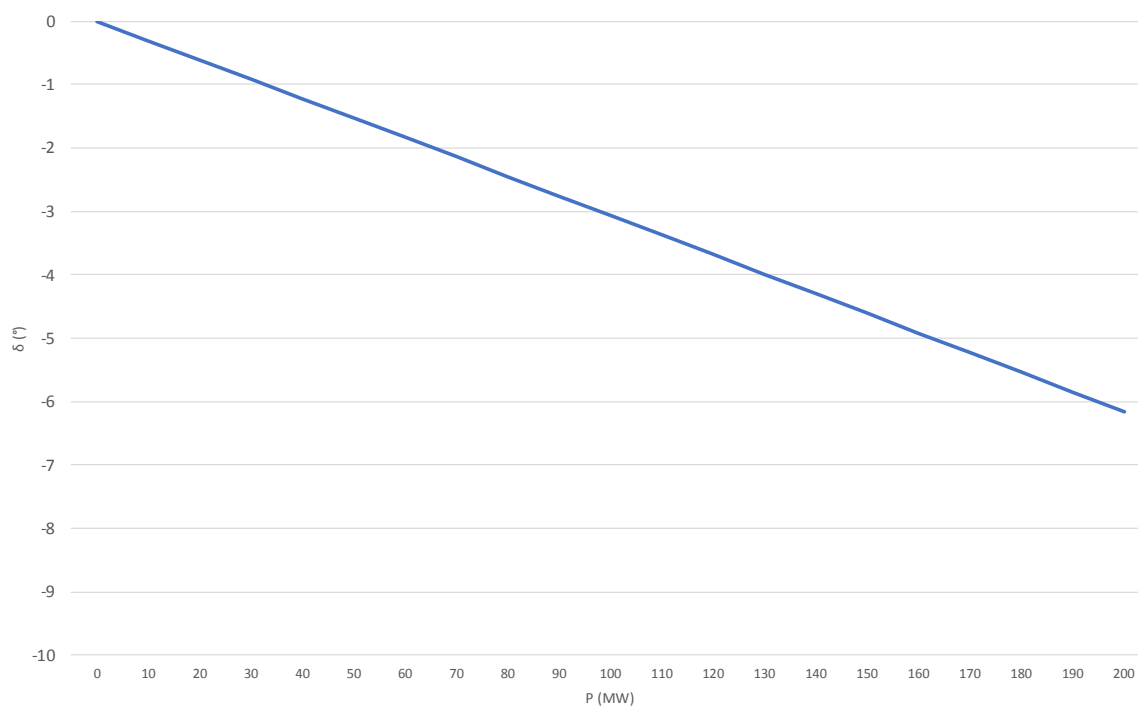
Vliv má různý charakter napájených oblastí (spotřební, výrobní) a také provozní změny v zapojení transformátorů, kdy během roku dochází ke změnám v počtu provozovaných transformátorů, a tím i k jejich zatížení.

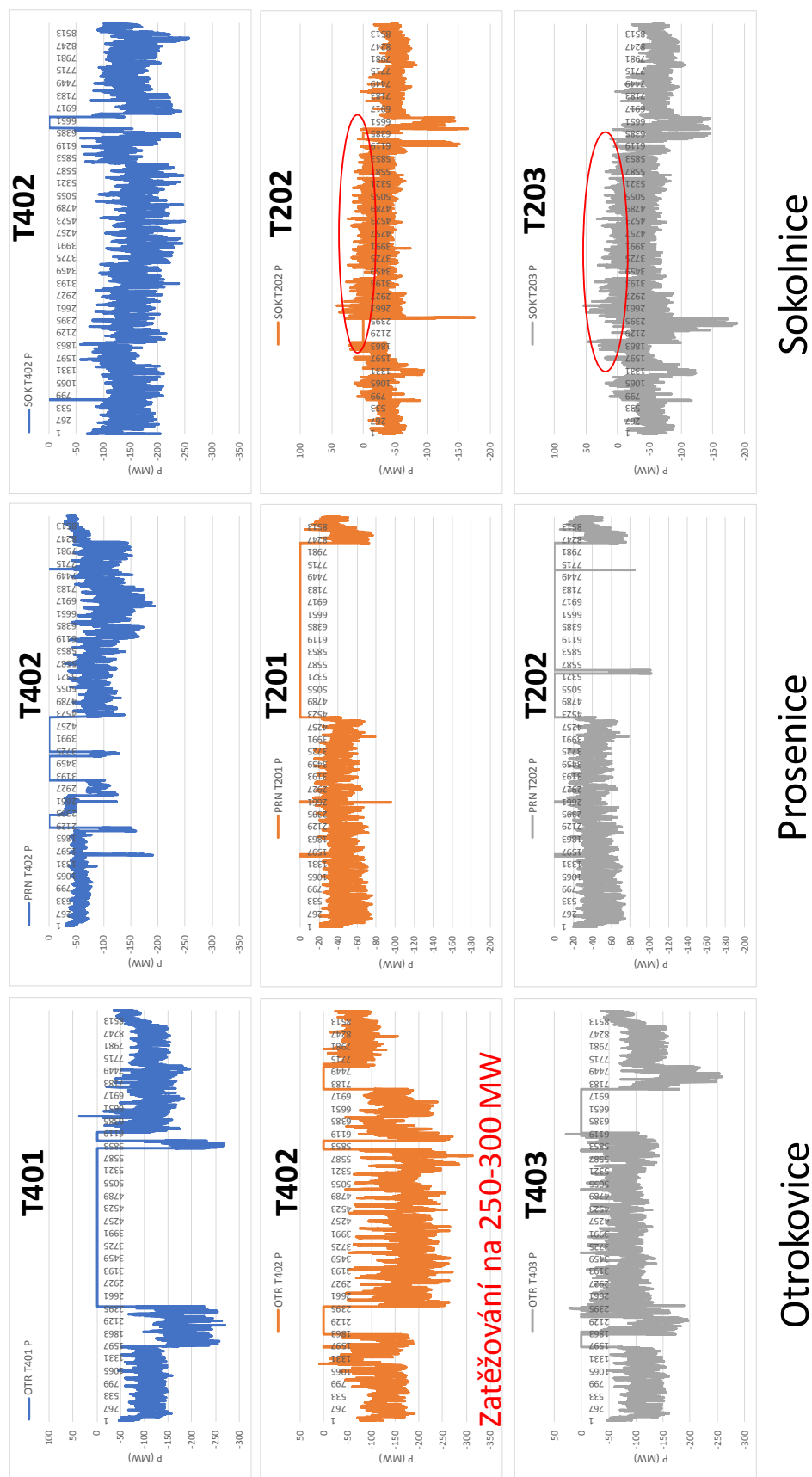
V řešené oblasti také dochází také k velké sezonní variabilitě výroby. Je zde vysoká penetrace FVE a téměř 100 MW výkonu z elektrárny Hodonín, která pracuje dle potřeby do různých uzlových oblastí (UO Sokolnice, UO Otrokovice).

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.

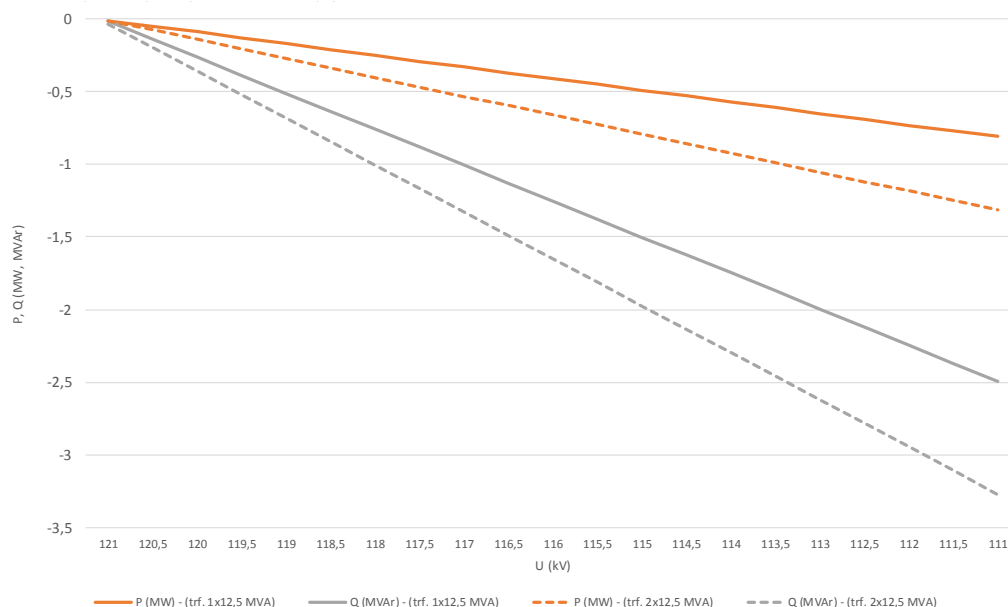
TRAKČNÍ ÚSEK NAPÁJENÝ Z TRAKČNÍCH NAPÁJECÍCH STANIC S RŮZNÝM NAPĚTÍM

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).

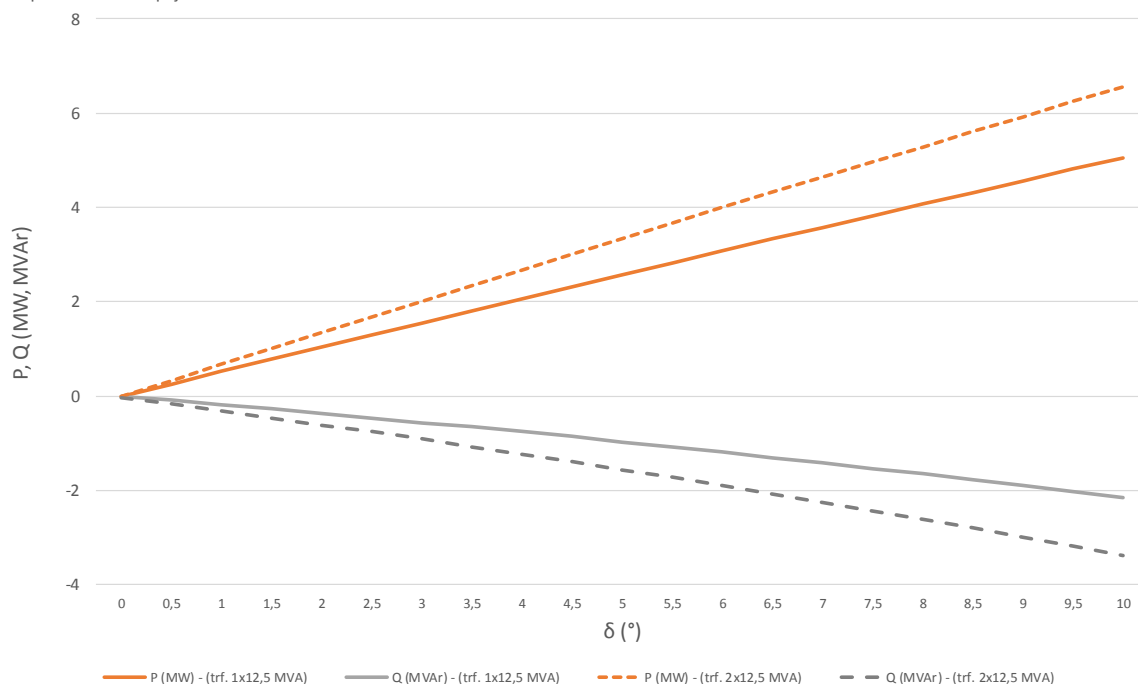
Obr. 3.10 Toky vyvolané rozdílem napětí na napájecích bodech trakčního úseku s konstantním napětím 121 kV na jedné napájecí straně a s proměnným napětím na druhé napájecí straně (dvojkolejná trať délky 50 km, v každé TNS 1 transformátor 12,5 MVA nebo 2x12,5 MVA).



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:

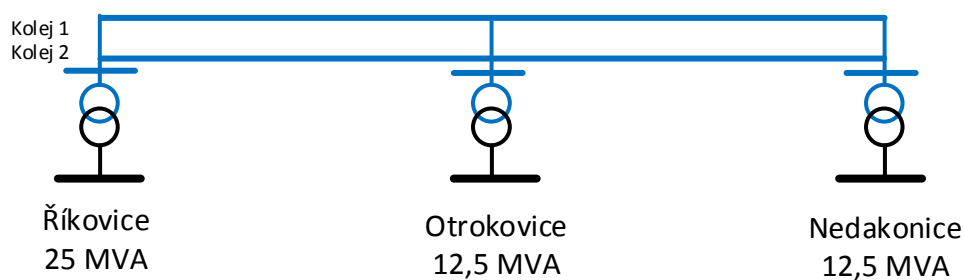
Ztráty:	Po [kW]	Pk[kW]	Pcelk[kW]
	7,5	96	103,5
tolerance	$\pm 15\%$	$\pm 15\%$	$\pm 10\%$

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



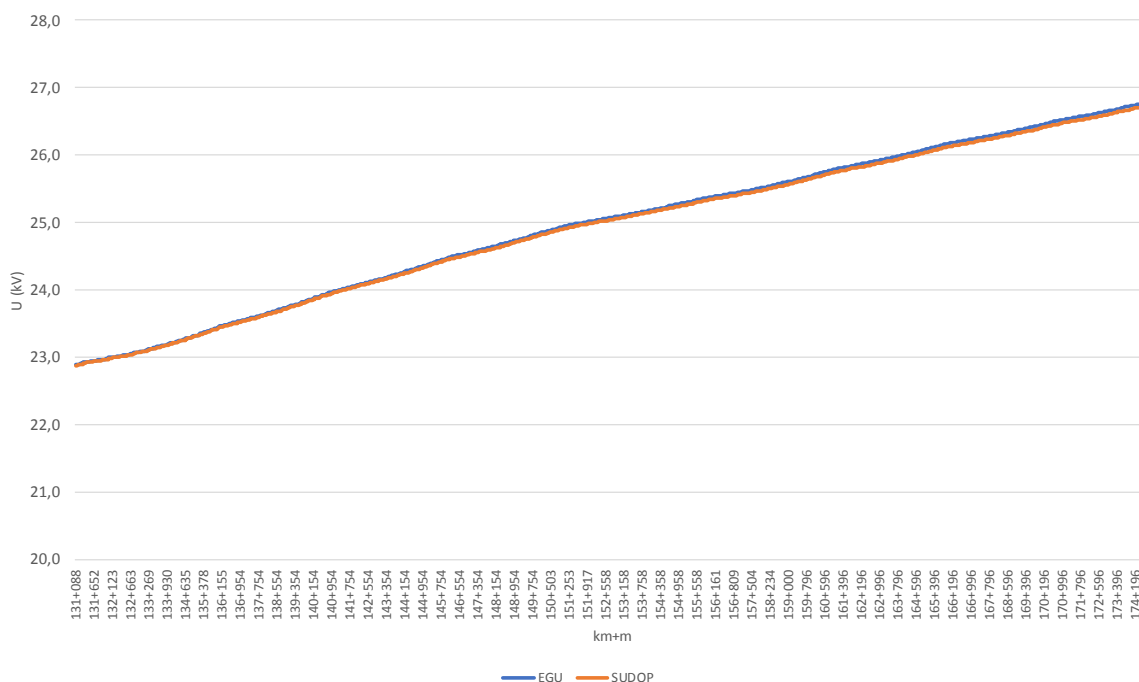
4.1 Ověření simulačního modelu

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

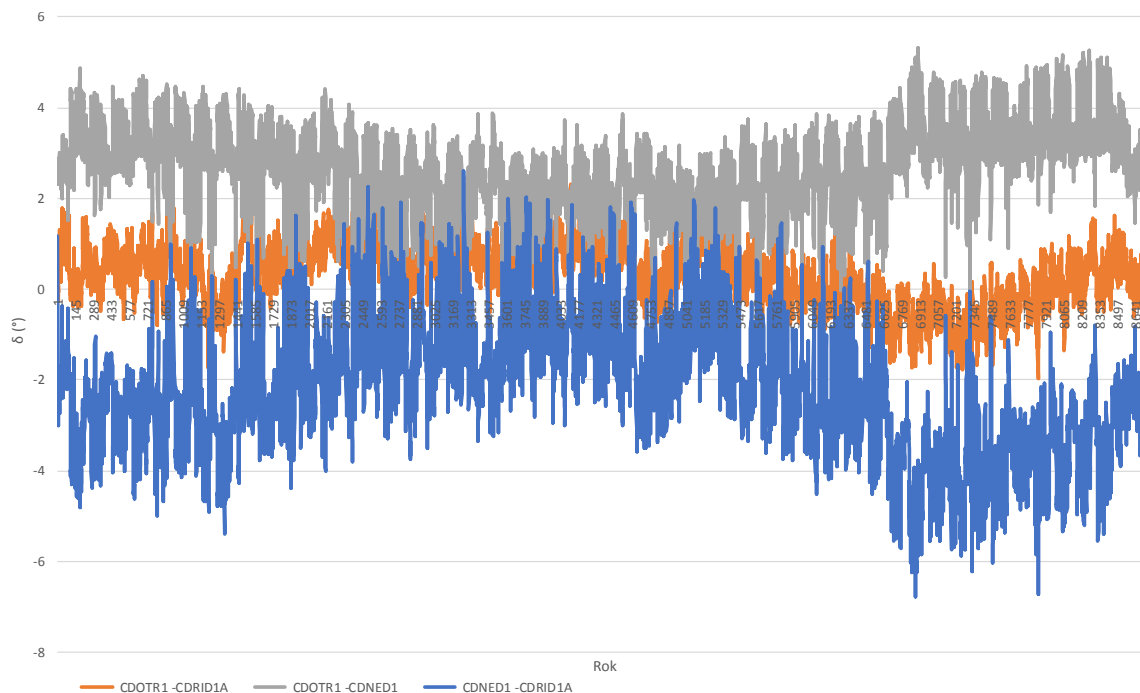
ZAPOJENÍ T1

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.

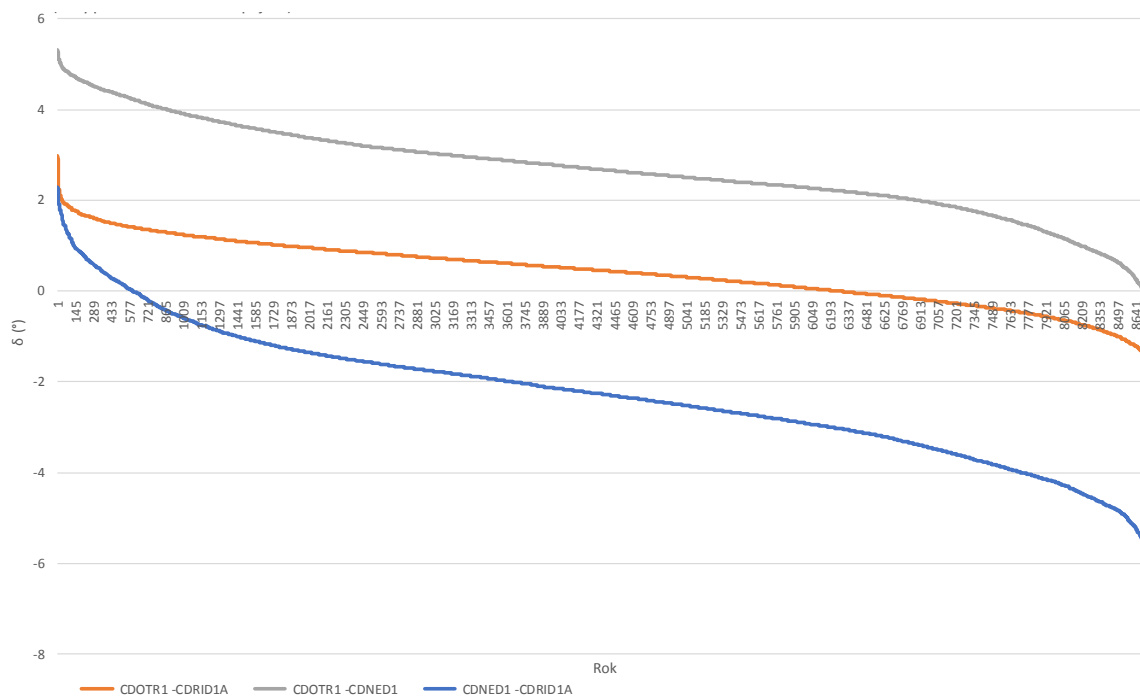
Pro toto zapojení bylo řešeno napájení trojstranné napájení Říkovice – Otrokovice – Nedakonice a dvoustranné napájení úseků Říkovice – Otrokovice a Otrokovice Nedakonice.

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

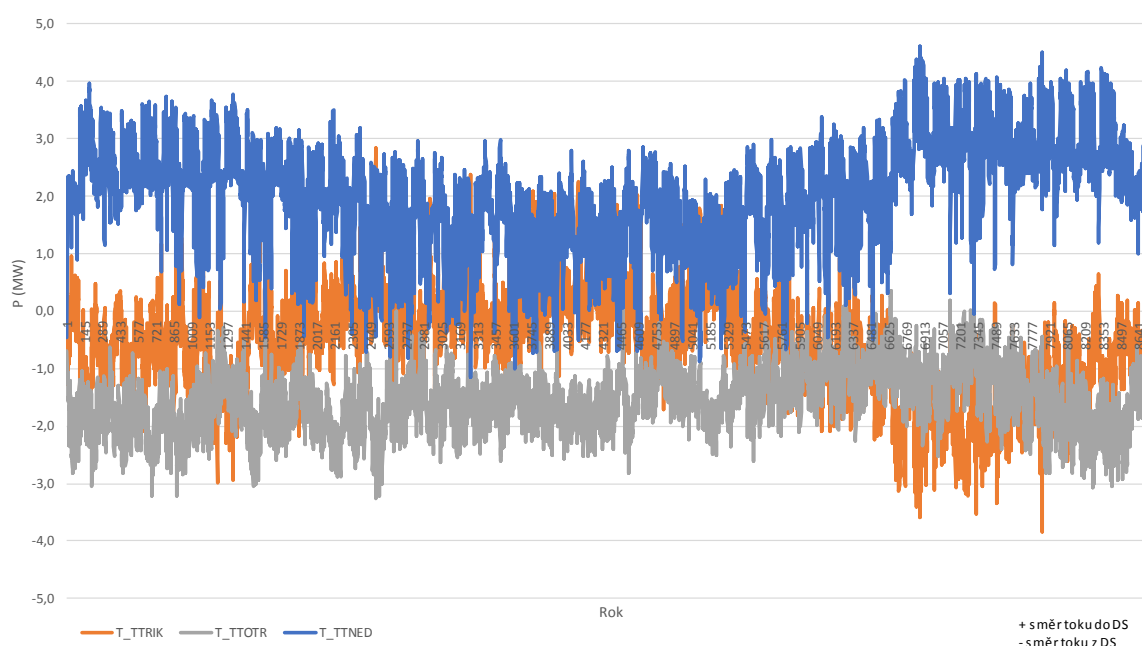


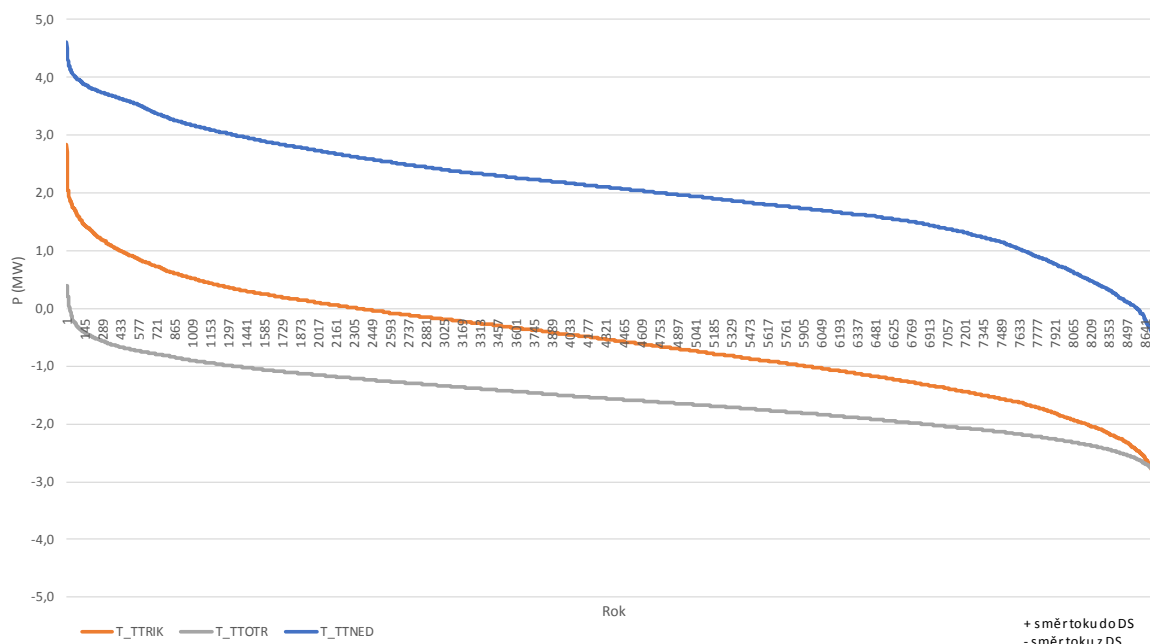
Obr. 5.2 Graf trvání rozdílu úhlů napětí (distribuční funkce) Říkovice – Otrokovice, Nedakonice – Otrokovice a Říkovice – Nedakonice (při vícestranném napájení)



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

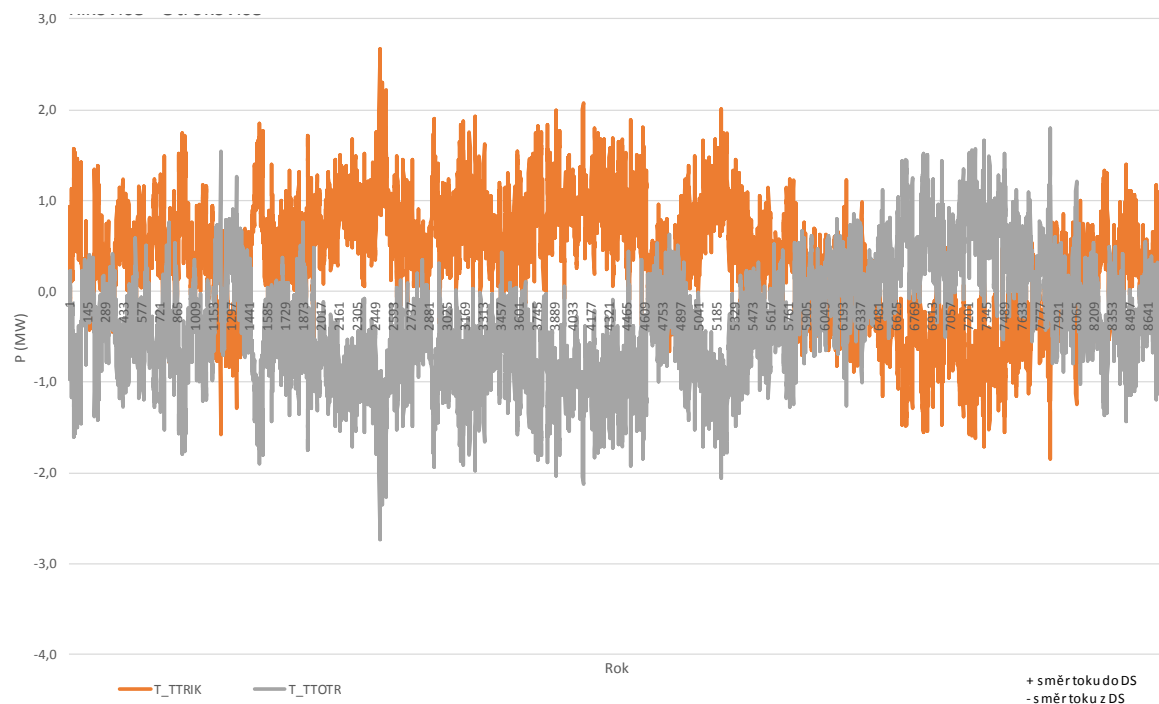


Obr. 5.4 Graf trvání toku výkonu (distribuční funkce) Říkovice – Otrokovice – Nedakonice

Tab. 5.1 Roční četnost toku výkonu Říkovice – Otrokovice – Nedakonice

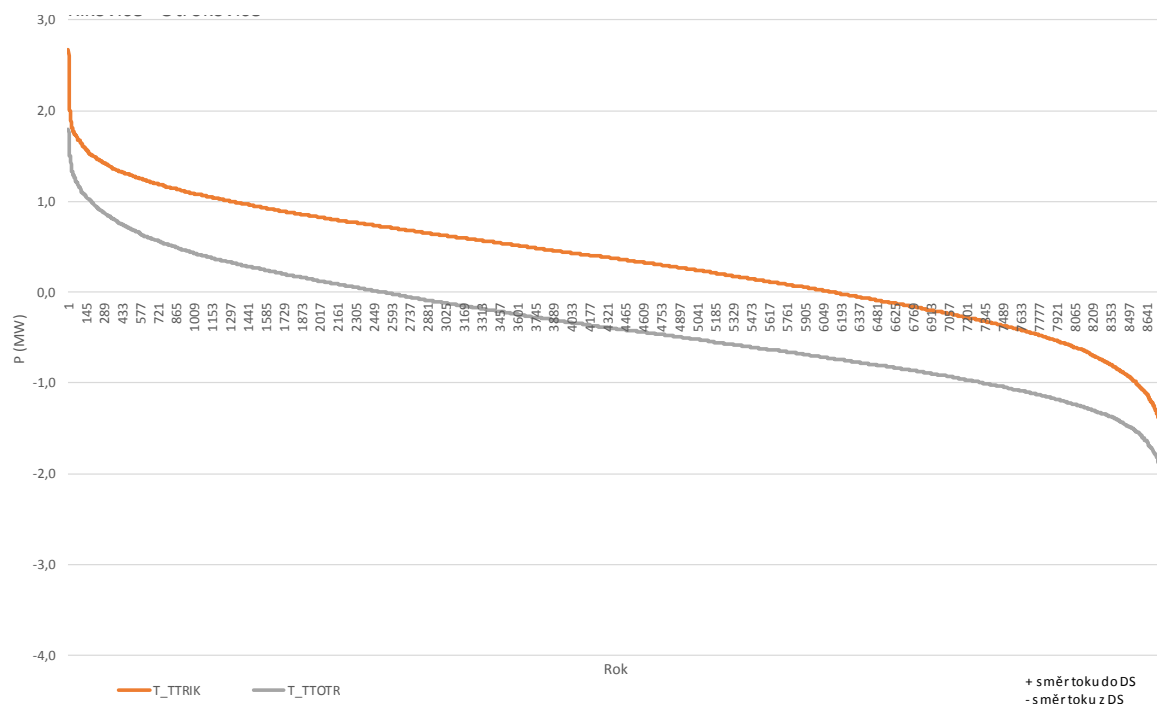
Veličina	Percentil	Říkovice	Otrokovice	Nedakonice
Toky výkonu po trakčních transformátorech P (MW)	100.	2,8	0,4	4,6
	95.	1,0	-0,7	3,6
	90.	0,6	-0,9	3,2
	80.	0,2	-1,1	2,8
	20.	-1,4	-2,0	1,4
	10.	-1,8	-2,3	0,8
	5.	-2,1	-2,4	0,4
	0.	-3,8	-3,3	-1,2
Tok energie do trakčního systému z DS (MWh/rok)	-	1316	4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



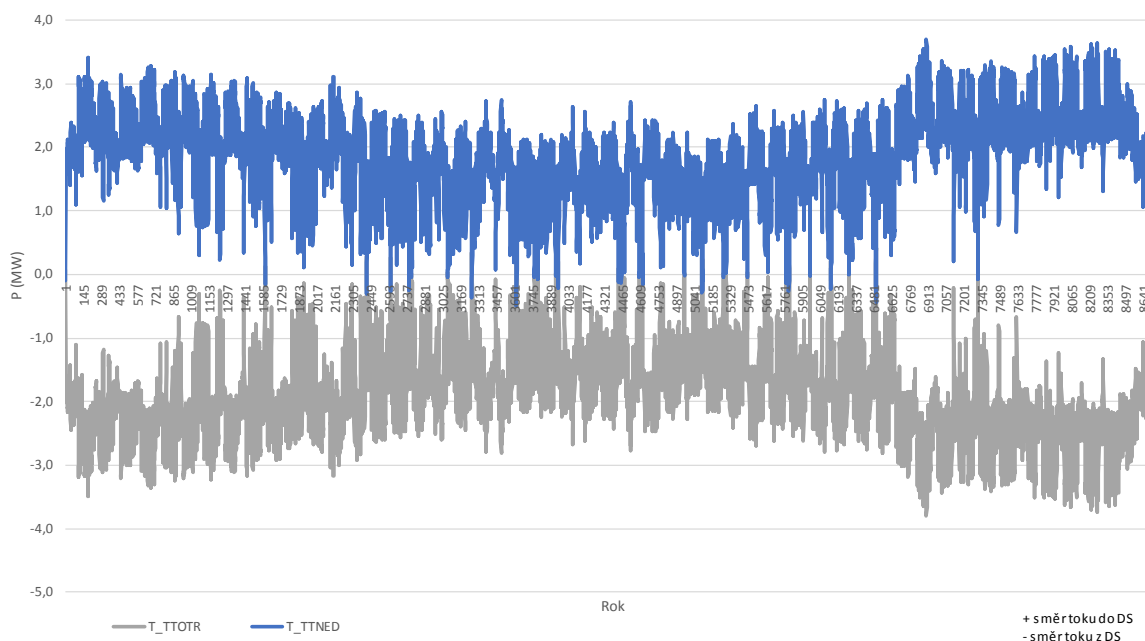
Obr. 5.6 Graf trvání toku výkonu (distribuční funkce) Říkovice – Otrokovice (bez Nedakonic) při oboustranném napájení



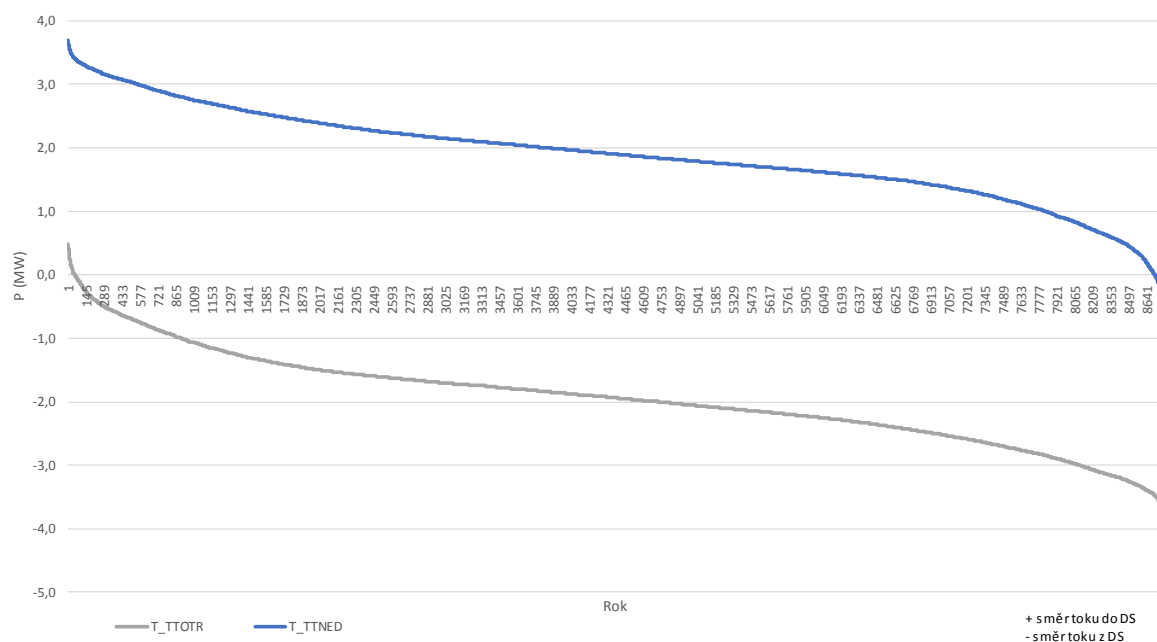
Tab. 5.2 Roční četnost toku výkonu Říkovice – Otrokovice (bez Nedakonice)

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

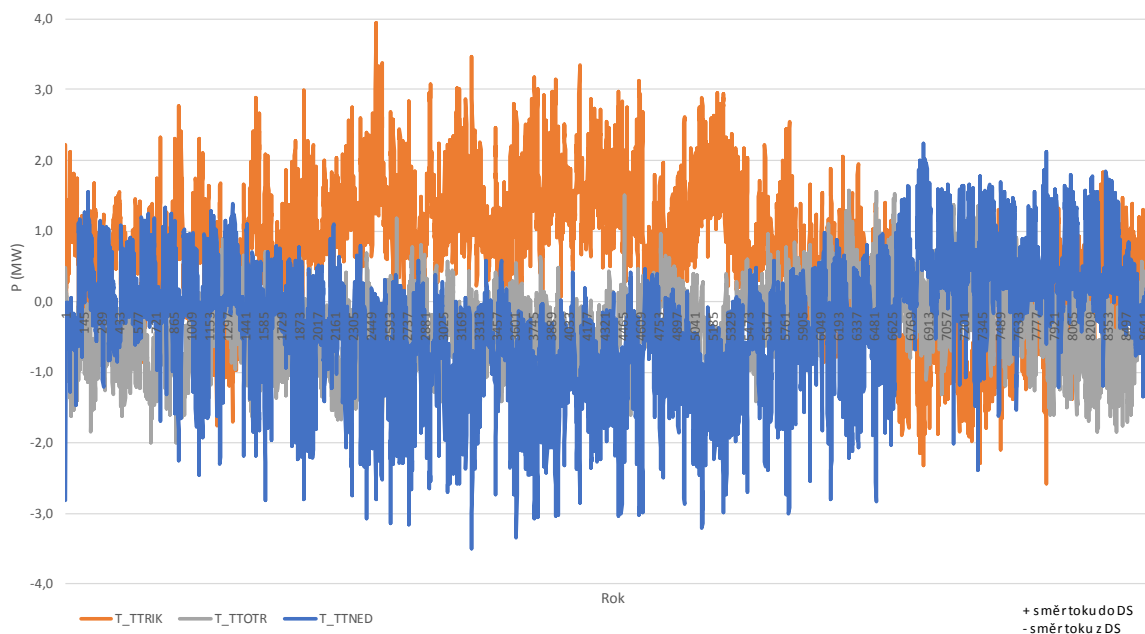
ZAPOJENÍ T2

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.

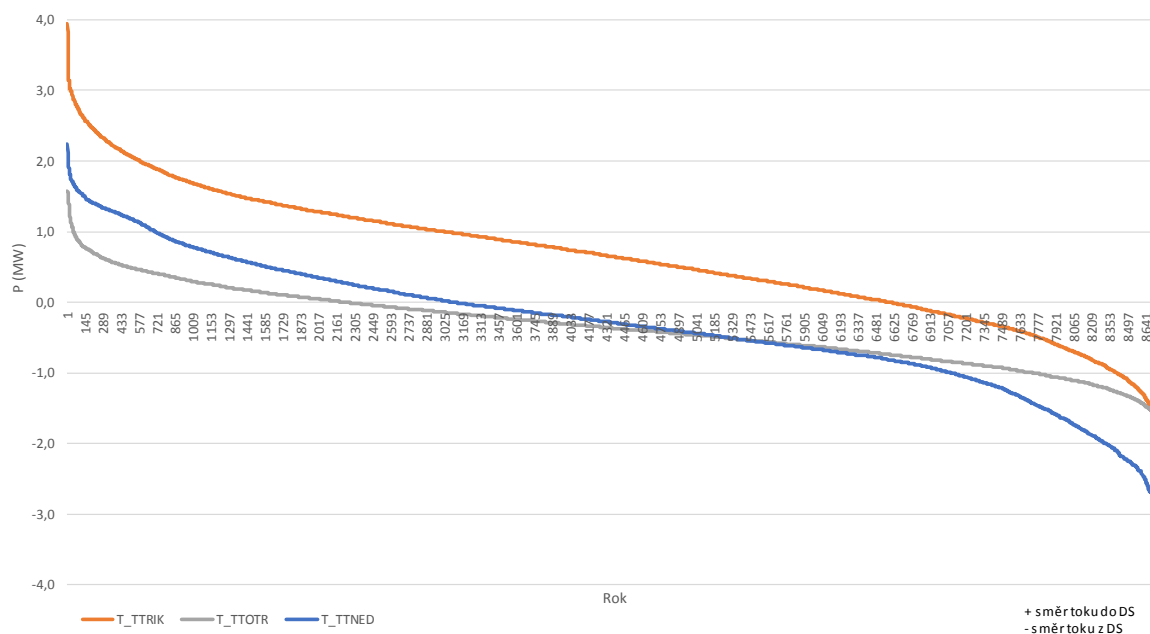
Tab. 5.4 Toky výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice, roční ztráty energie a jejich ocenění (T2)

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

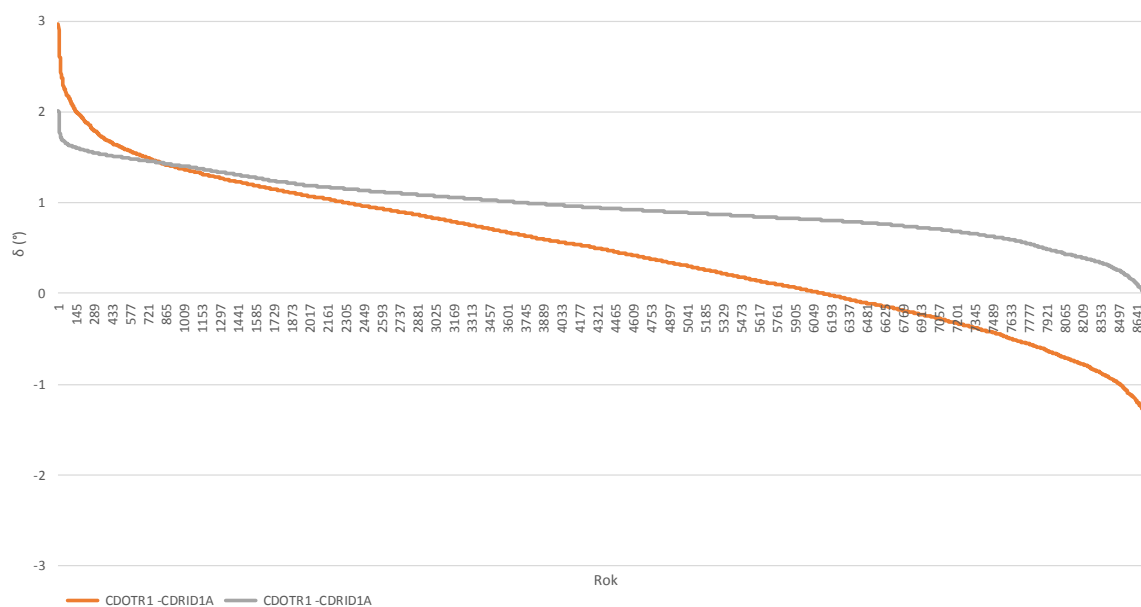
Obr. 5.9 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice (T2)



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



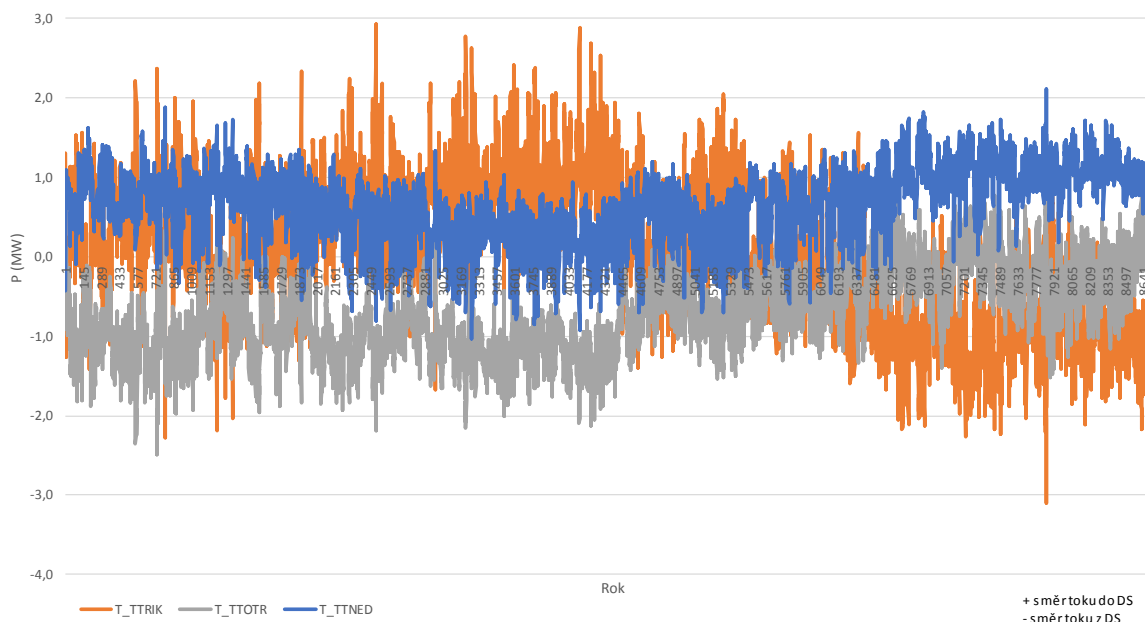
ZAPOJENÍ T3

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.

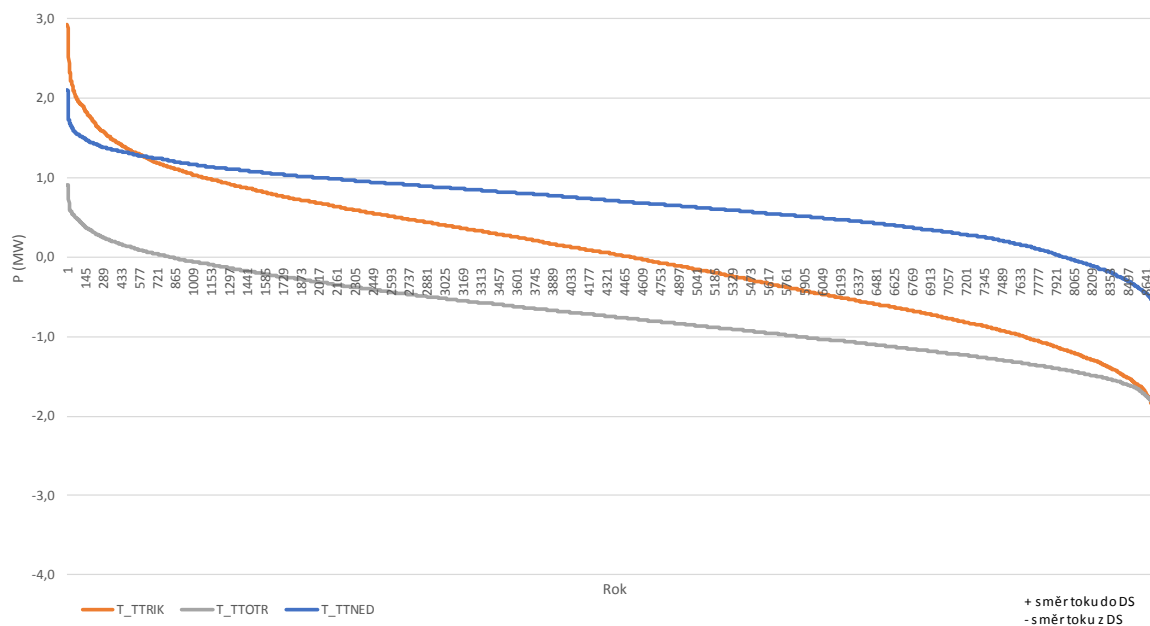
Tab. 5.5 Toky výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice, roční ztráty energie a jejich ocenění (T3)

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

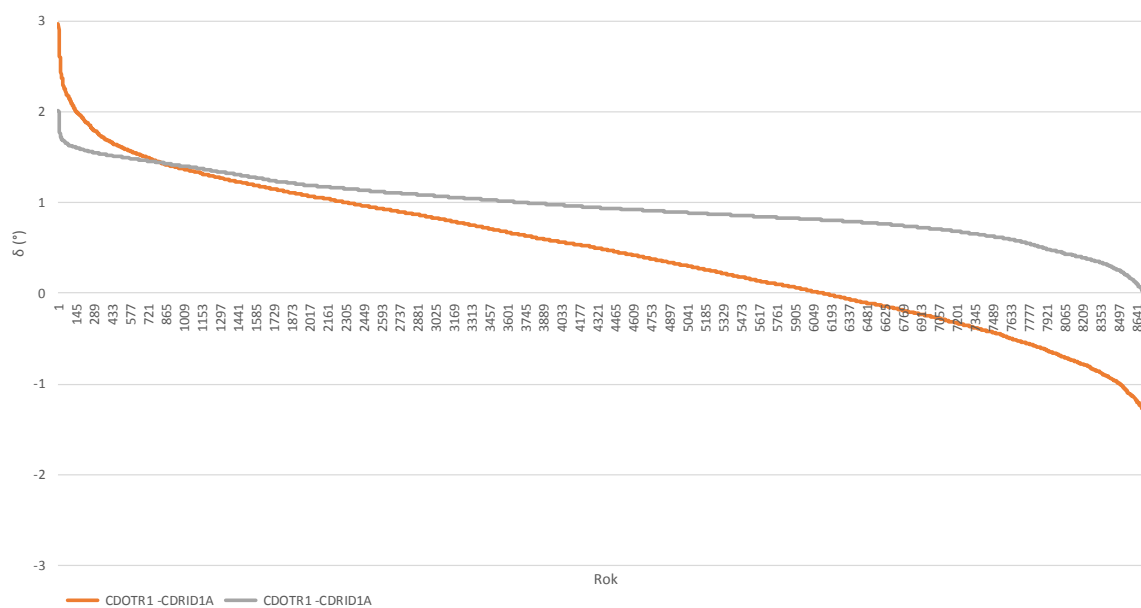
Obr. 5.12 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice (T3)



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)

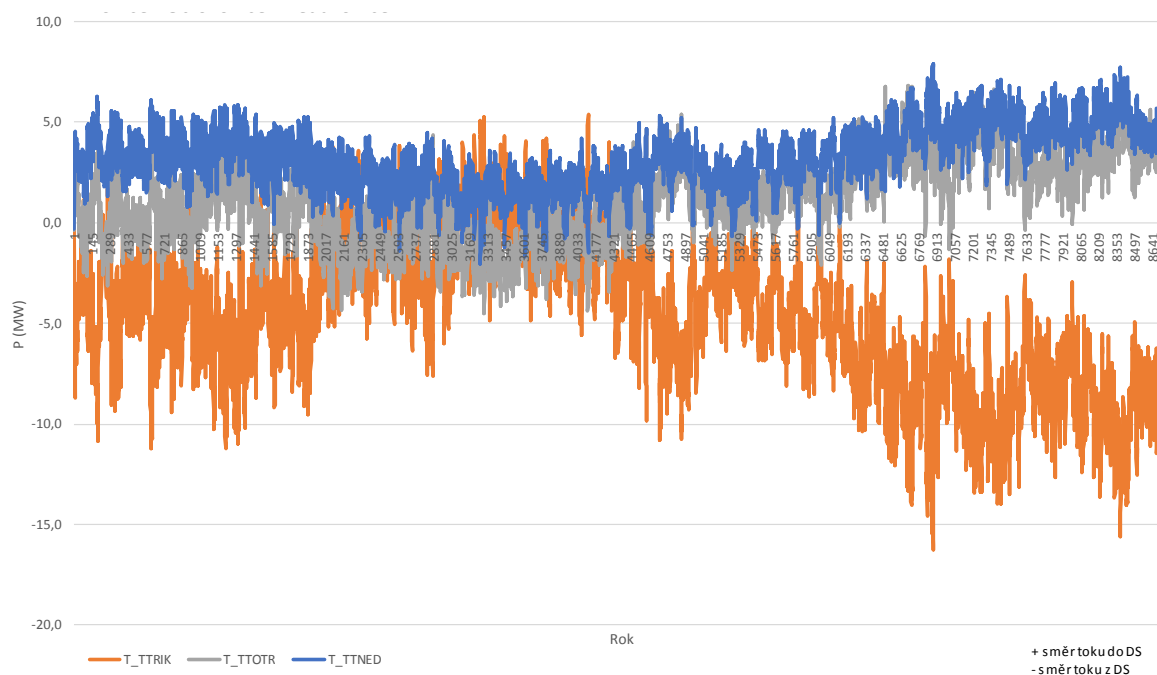
Z celé sady 189 prověřovaných výpadků byly vybrány 3 nejhorší výpadky, pro které byly vyhodnoceny průběhy pro 8760 hodin. Jedná se tedy o ilustrační fiktivní výpočetní stav, který odpovídá trvání jednotlivých poruch (vypnutí) po dobu celého roku. Skutečná doba výpadků je výrazně kratší.

Byly prověřeny následující výpadky:

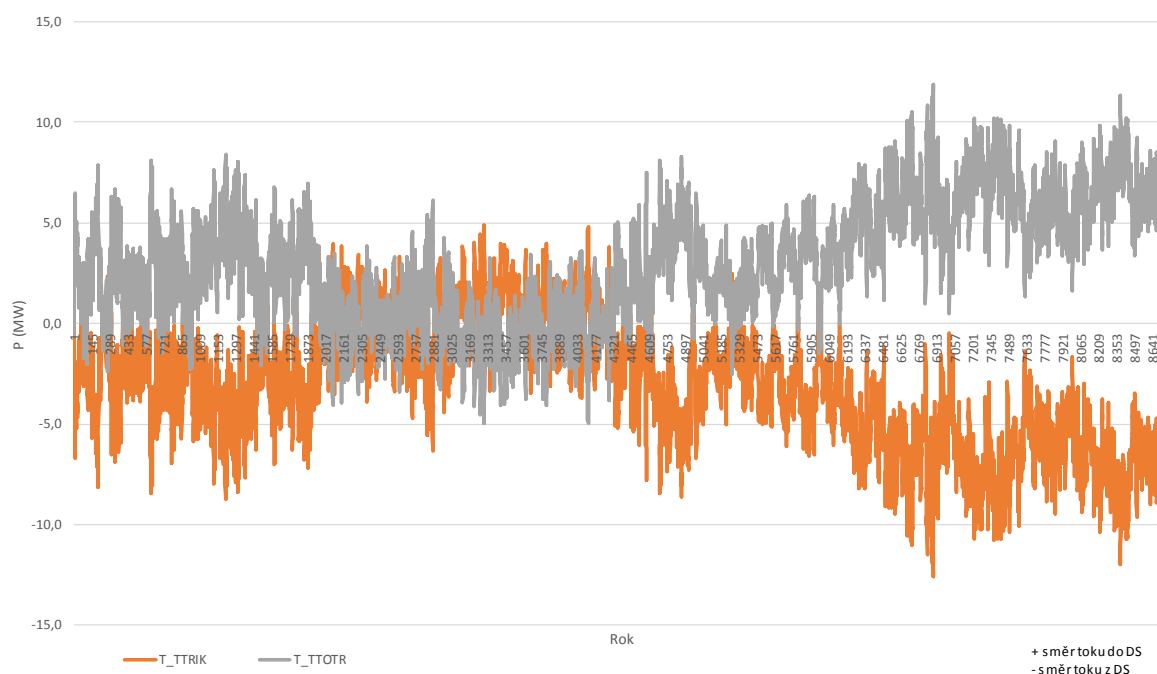
Výpadek vedení 400 kV V418 Otrokovice–Prosenice

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 Říkovících v některých situacích roste až na 15 MW, zatížení transformátorů v Otrokovících a Nedakonících jsou do 8 MW. Opět je třeba zdůraznit, že uvedené toky platí pro stav trakčního systému bez zatížení odběry vlaků.

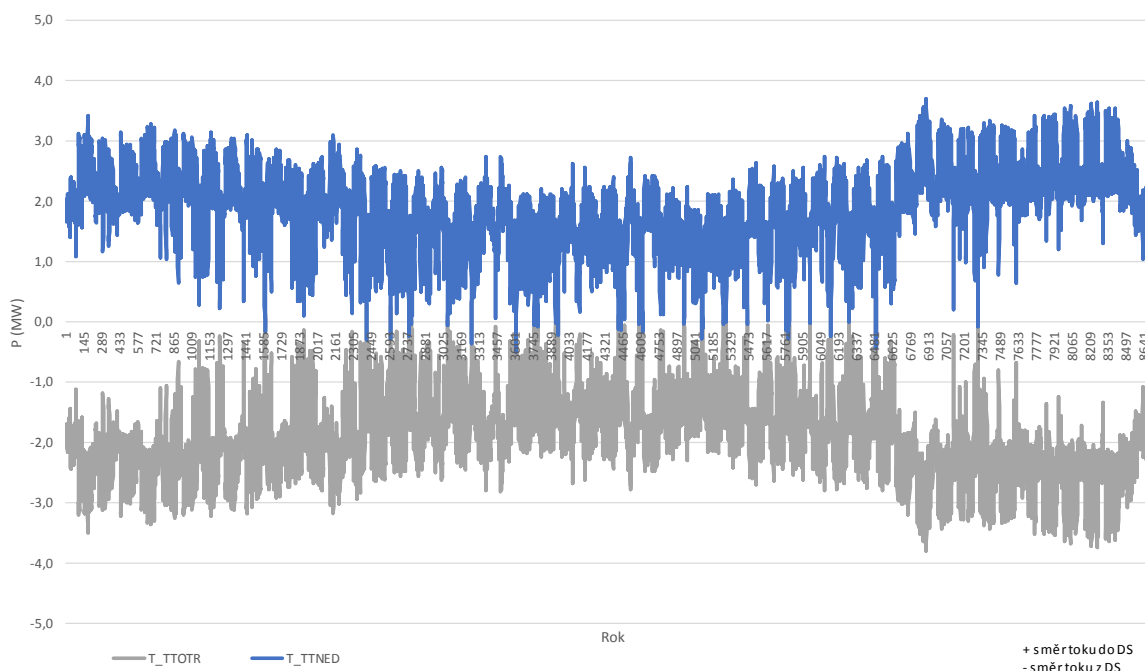
Obr. 5.15 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice při výpadku vedení V418 Otrokovice–Prosenice



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



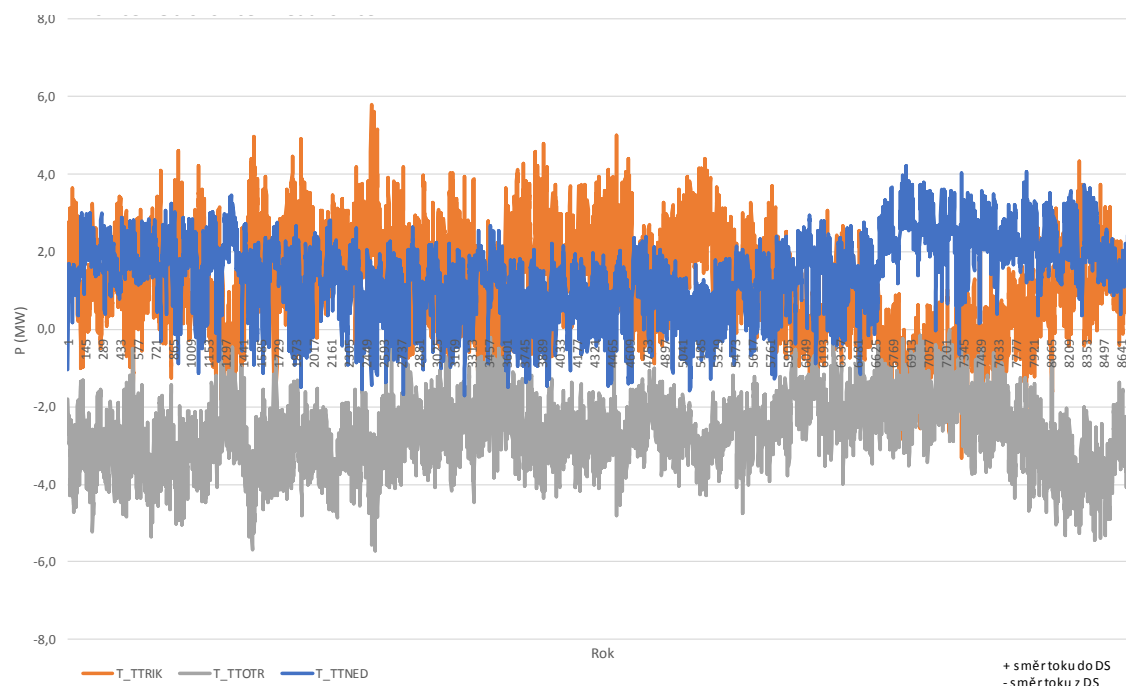
Obr. 5.17 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Otrokovice - Nedakonice (bez Říkovice) při výpadku vedení V418 Otrokovice–Prosenice



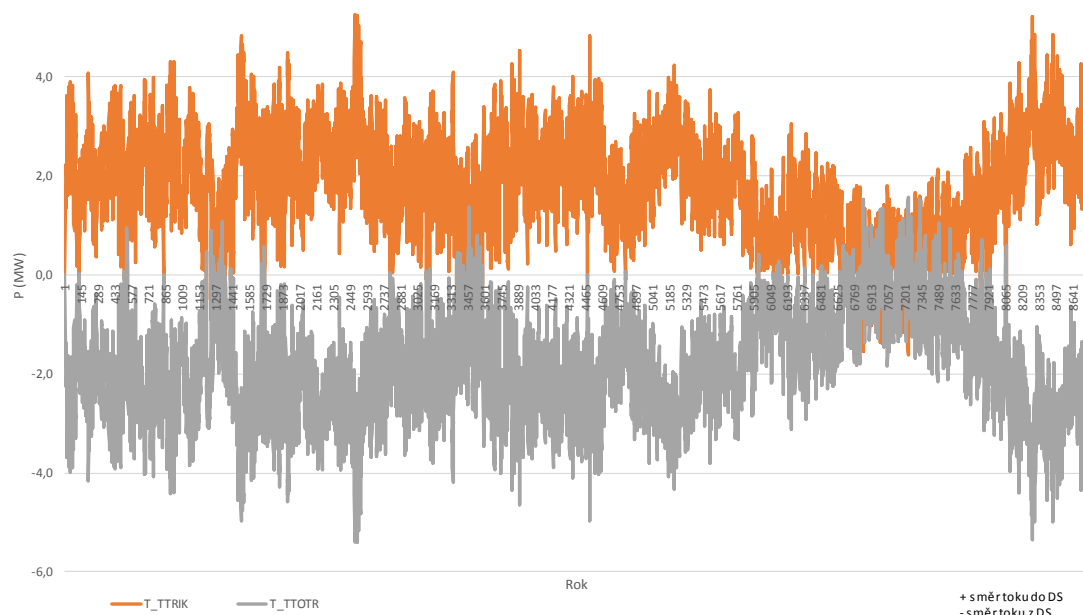
Výpadek transformátoru 400/220 kV T401 Prosenice

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.

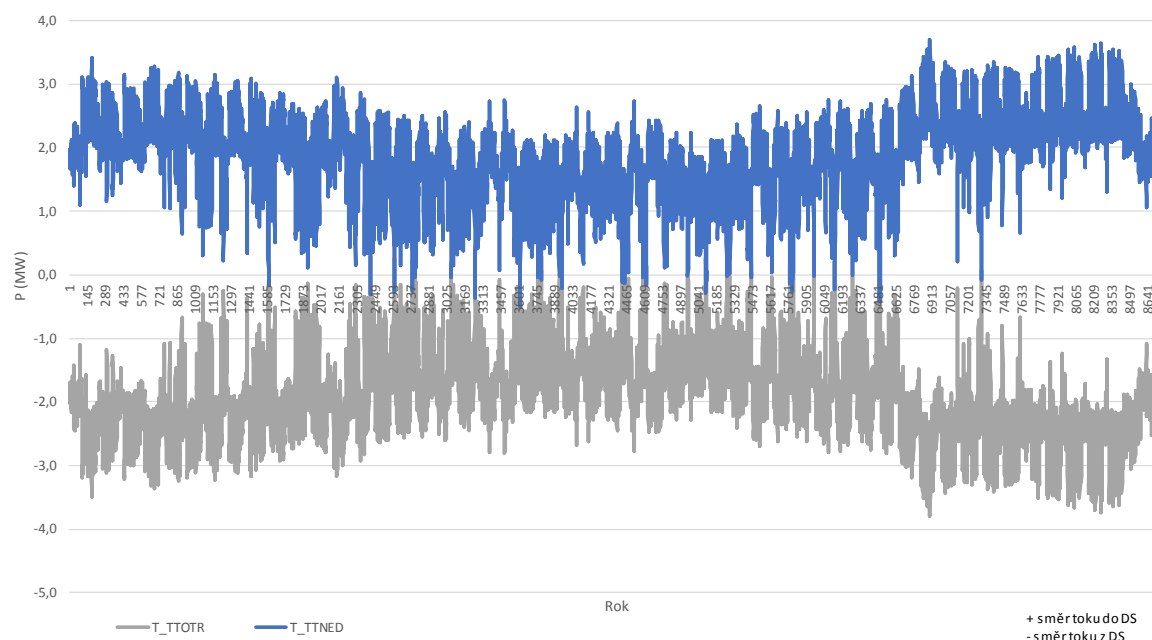
Obr. 5.18 Tok výkonu po trakčních transformátorech při vícestranném napájení úseku Říkovice–Otrokovice–Nedakonice při výpadku transformátoru T401 Prosenice



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



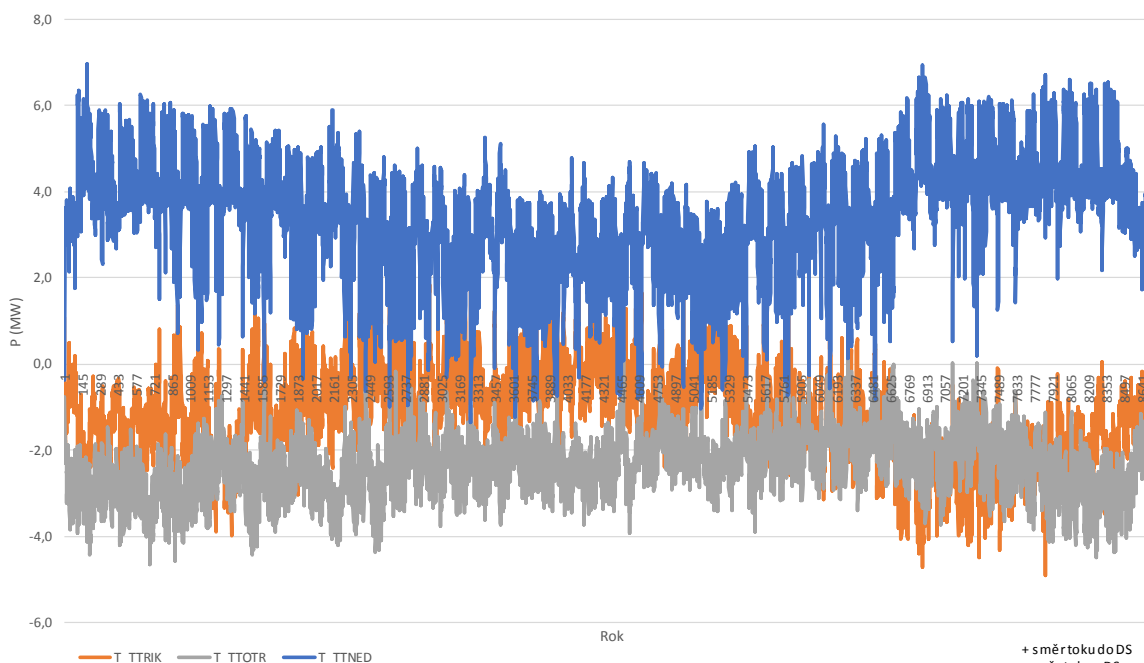
Obr. 5.20 Tok výkonu po trakčních transformátorech při oboustranném napájení úseku Otrokovice – Nedakonic (bez Říkovice)



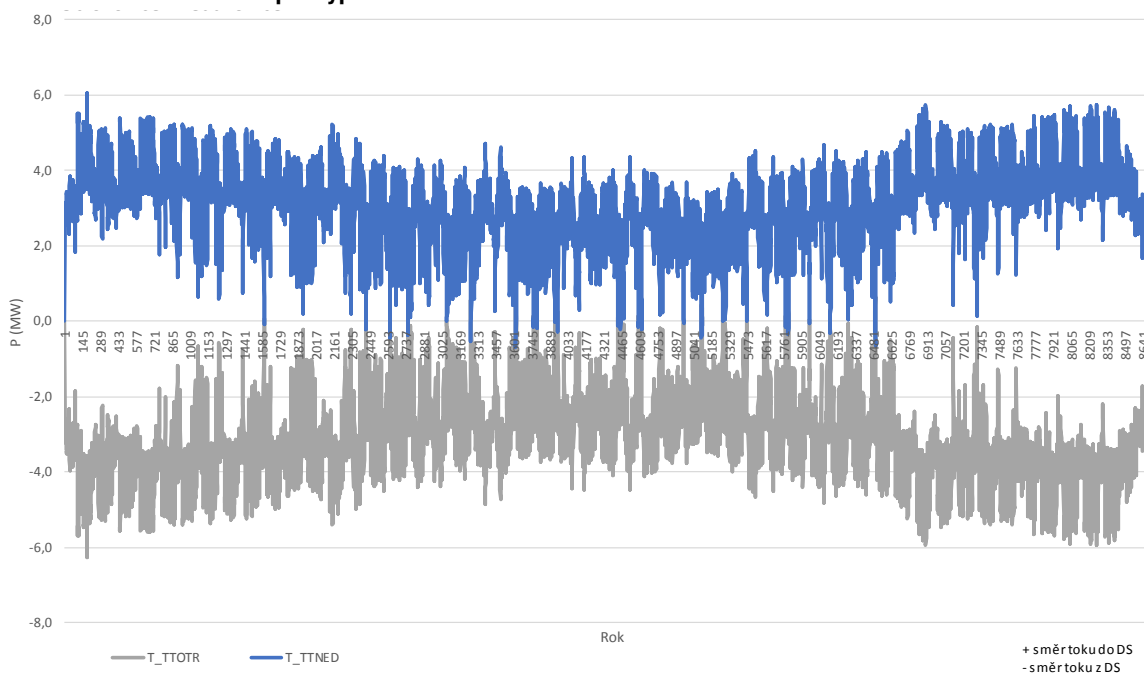
Výpadek vedení 110 kV 546 Otrokovice–Kunovice

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



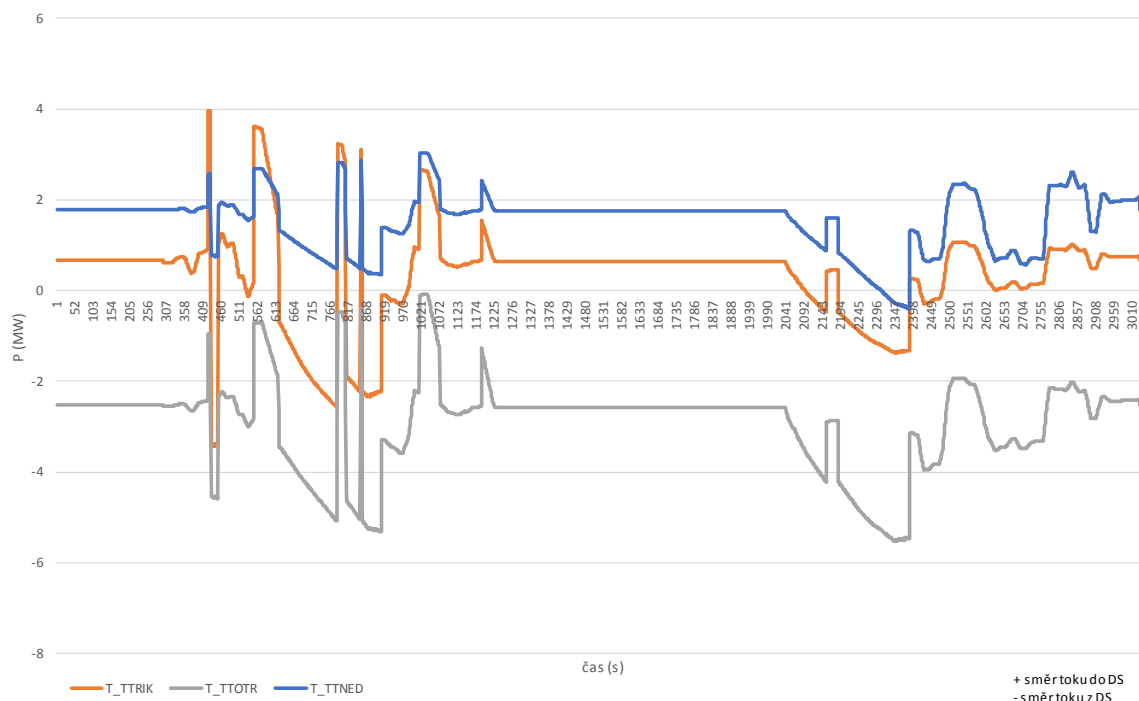
5.5 Zatěžování trakčních transformátorů při průjezdu vlaku

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.

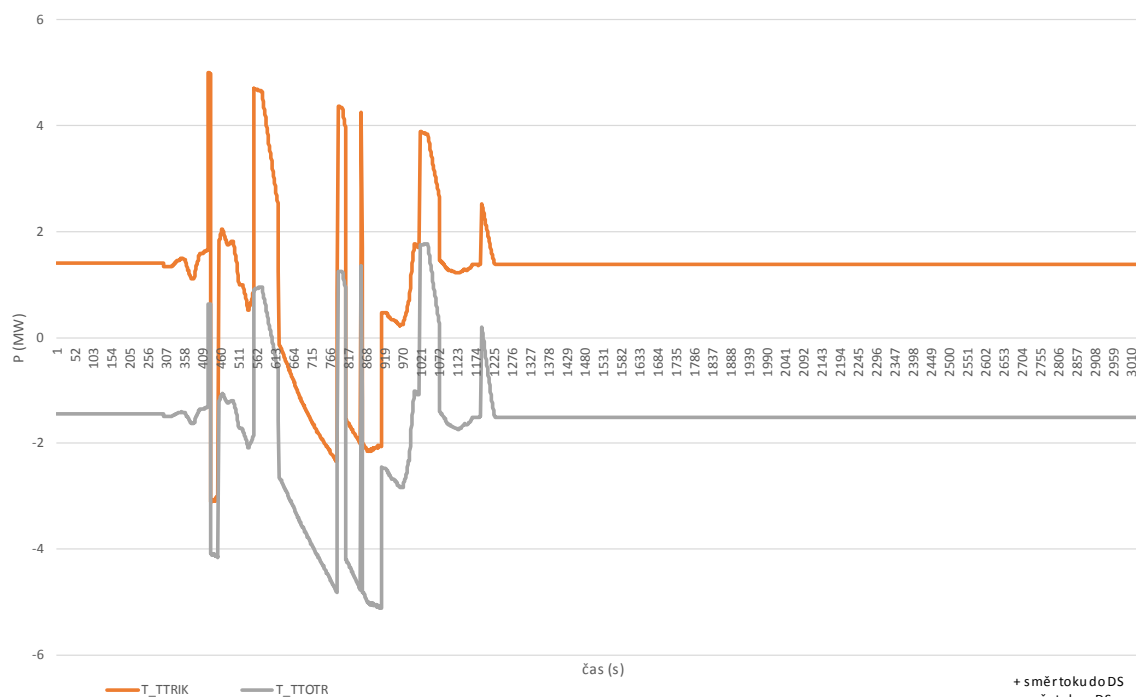
Vícestranné napájení bylo uvažováno, podobně jako u předchozích výpočtů, současným napájením z rozveden Říkovice, Otrokovice, Nedakonice. Poměry v nadřazené distribuční a přenosové soustavě byly vybrány náhodně a byly uvažovány konstantní po celý časový úsek. Z hlediska poměrů vyvolaných nadřazenou soustavou 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.

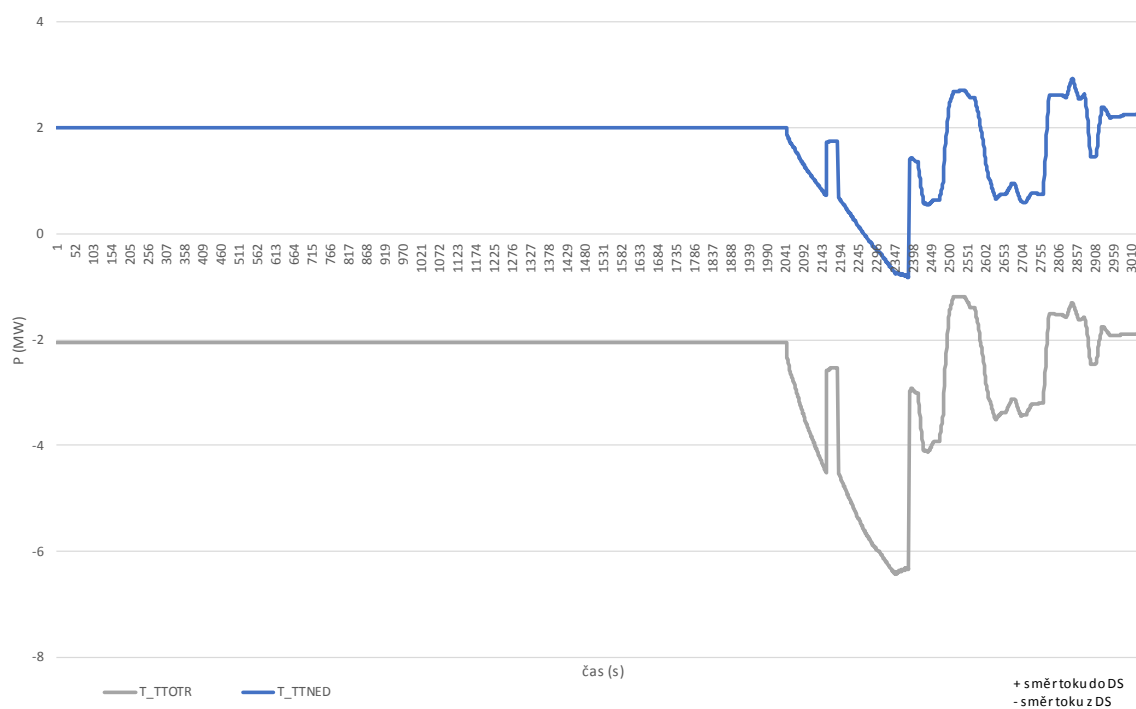
Obr. 5.23 Tok výkonu po trakčních transformátorech při průjezdu nákladního vlaku s brzděním a zastávkami při vícestranném napájení



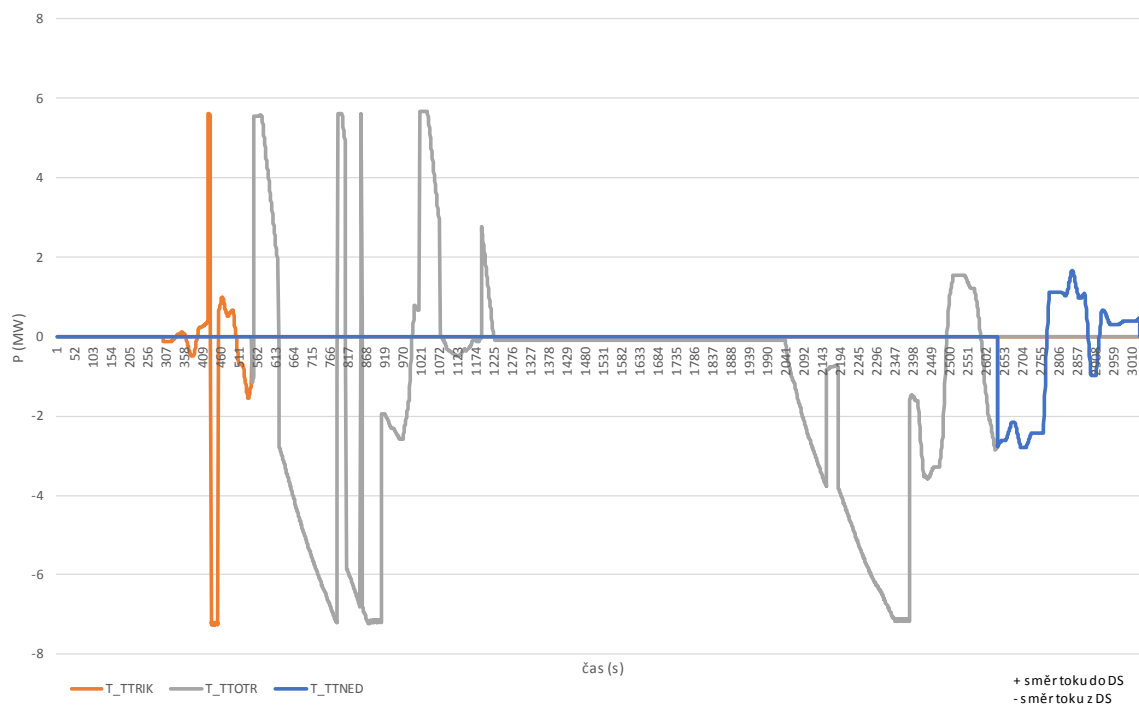
Obr. 5.24 Tok výkonu po trakčních transformátorech při průjezdu nákladního vlaku s brzděním a zastávkami v úseku Říkovice–Otrokovice (bez Nedakonic)



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



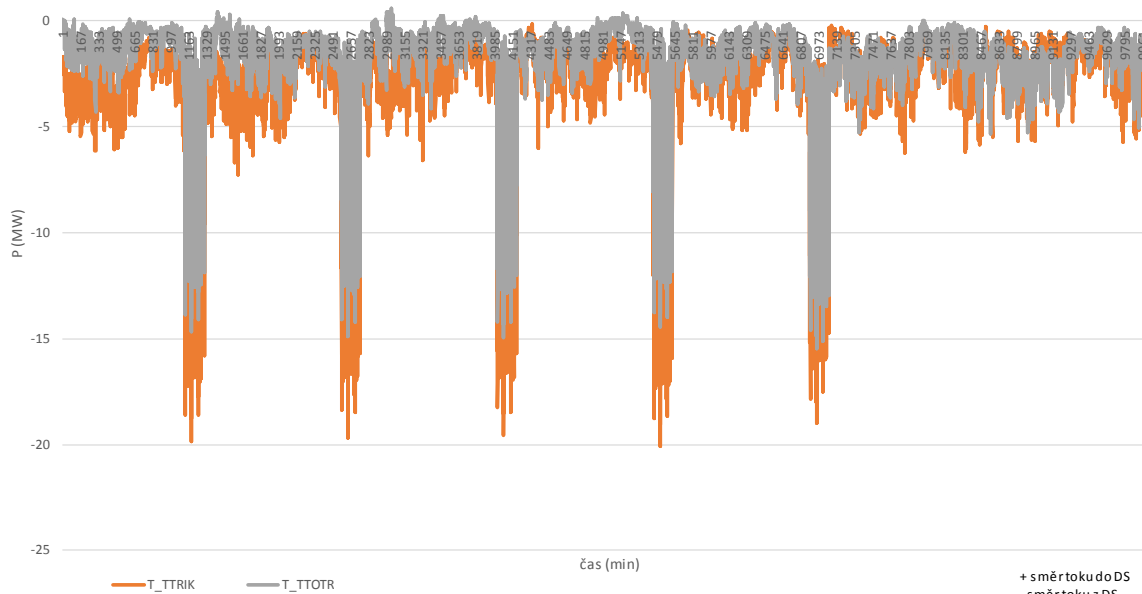
Obr. 5.26 Tok výkonu po trakčních transformátorech při průjezdu nákladního vlaku s brzdění a zastávkami při současném způsobu napájení



Z průběhu je patrné, že vícestranné napájení snižuje 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 činí 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 Nedakonic

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.

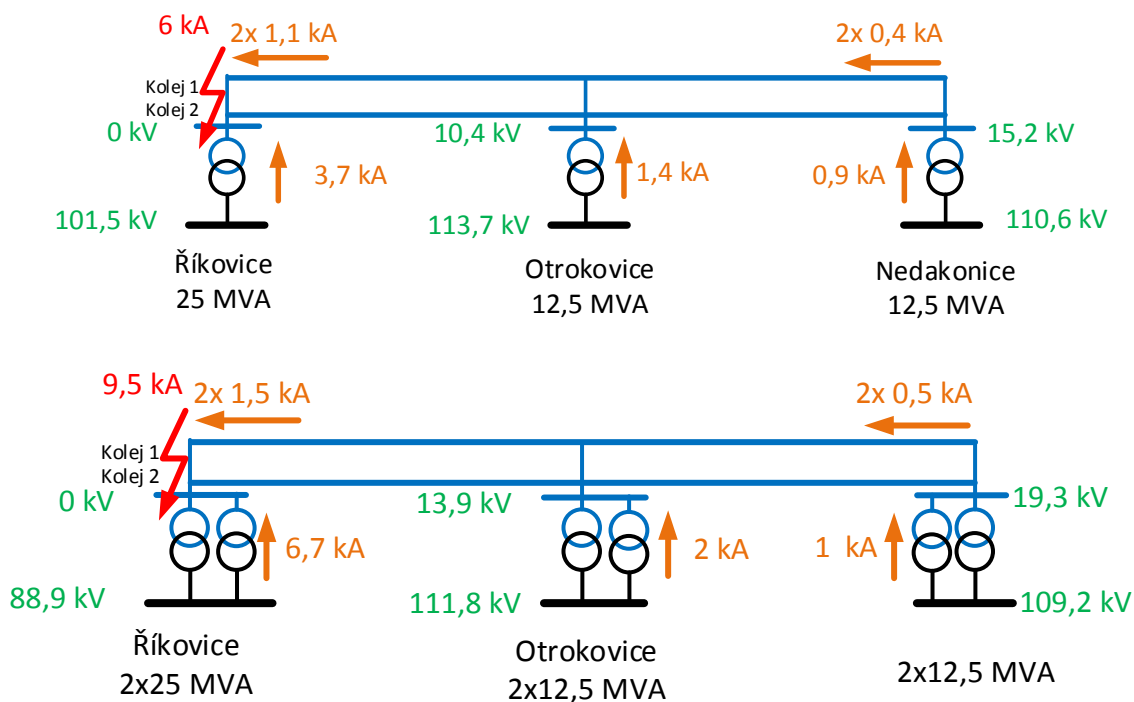
Vyhodnocovány byly hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu v místě zkratu a rozložení příspěvků tohoto proudu z jednotlivých trakčních napájecích stanic. Dále byly vyhodnoceny hodnoty napětí při zkratu na přípojnících 25 kV a na přípojnících 110 kV. Hodnoty napětí jsou sdružená napětí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

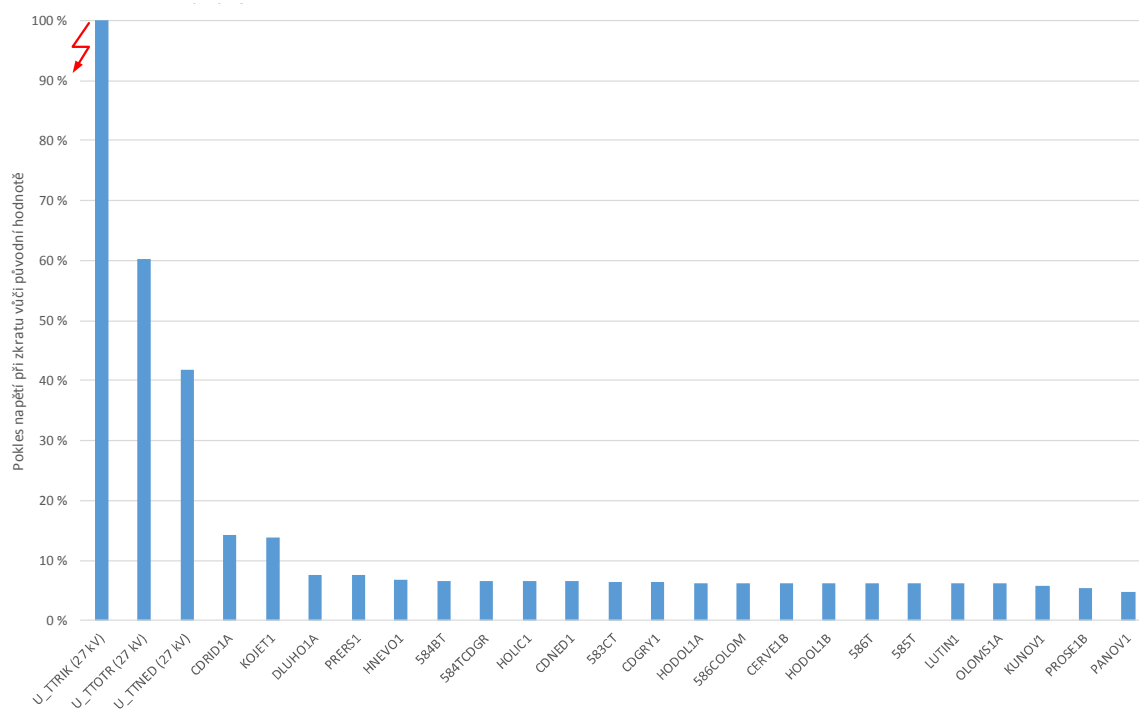
sousedních napájecích stanic je závislý na vzdálenosti od místa zkratu a na způsobu napájení úseku (paralelní napájení z jedné či z obou stran, od jedné či více sousedních stanic). Příspěvek z distribuční soustavy je při použití třífázového transformátoru a balancéru v přepočtu na MVA instalovaného výkonu 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.

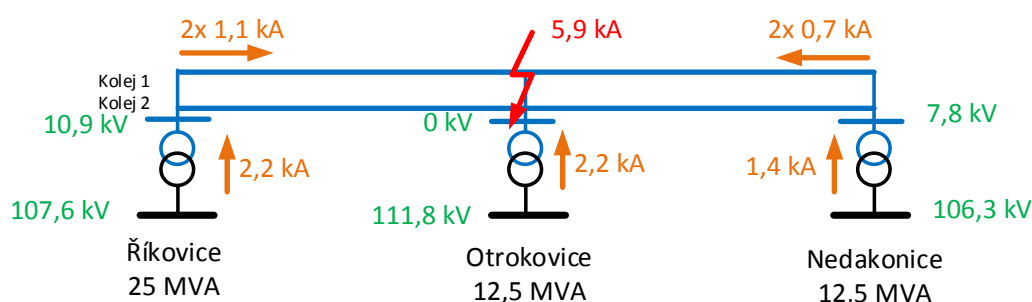
Obr. 6.1 Poměry při zkratu na úrovni 25 kV v TT Říkovice



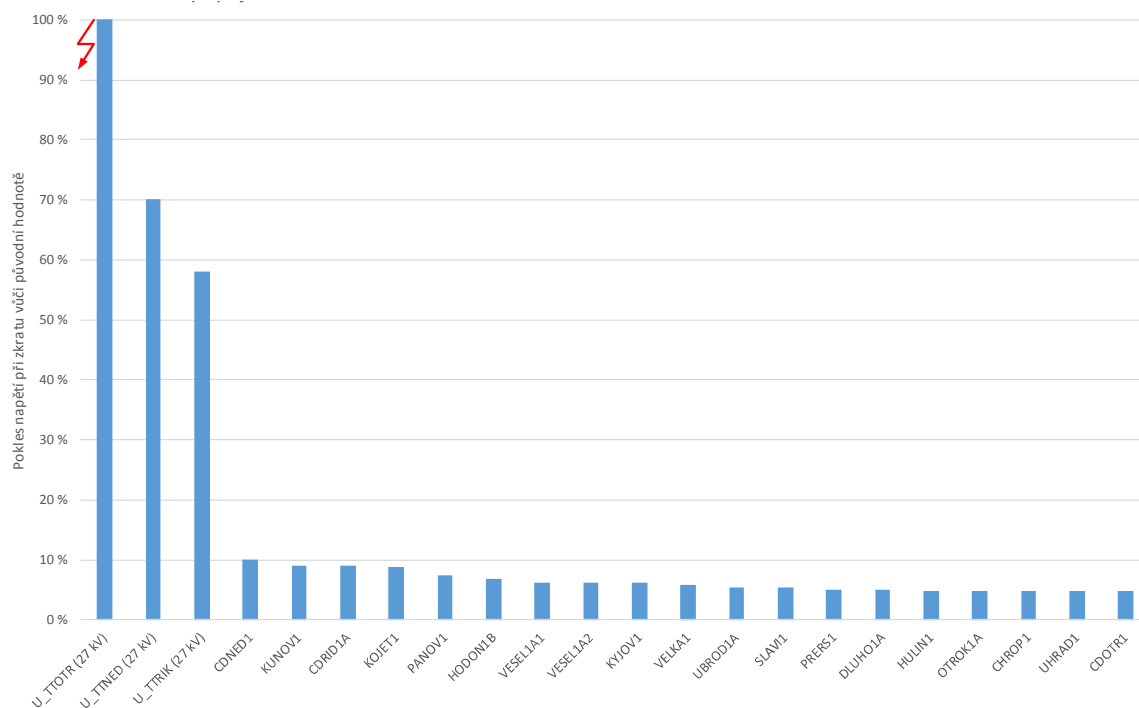
Obr. 6.2 Úbytky napětí během zkratu vůči výchozímu napětí – zkrat na přípojnících 25 kV v TT Říkovice



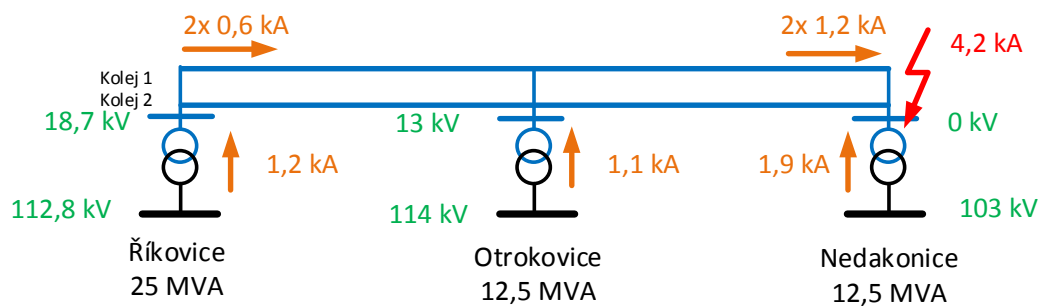
Obr. 6.3 Poměry při zkratu na úrovni 25 kV v TT Otrokovice



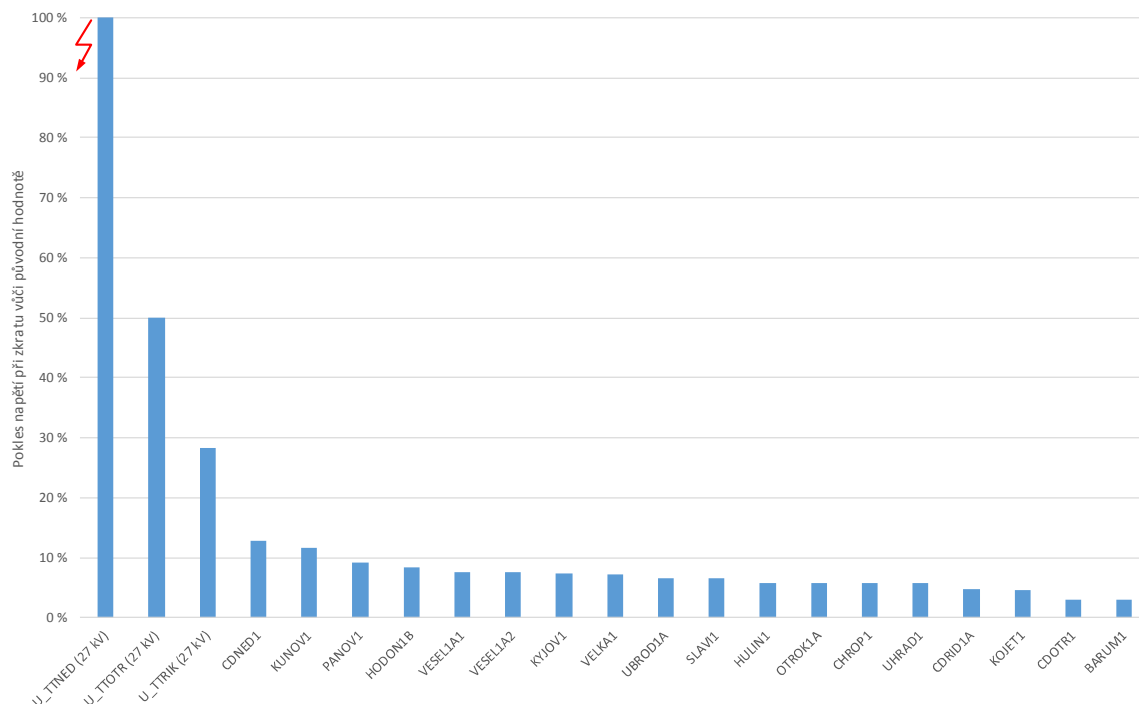
Obr. 6.4 Úbytky napětí během zkratu vůči výchozímu napětí – zkrat na přípojnících 25 kV v TT Otrokovice



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



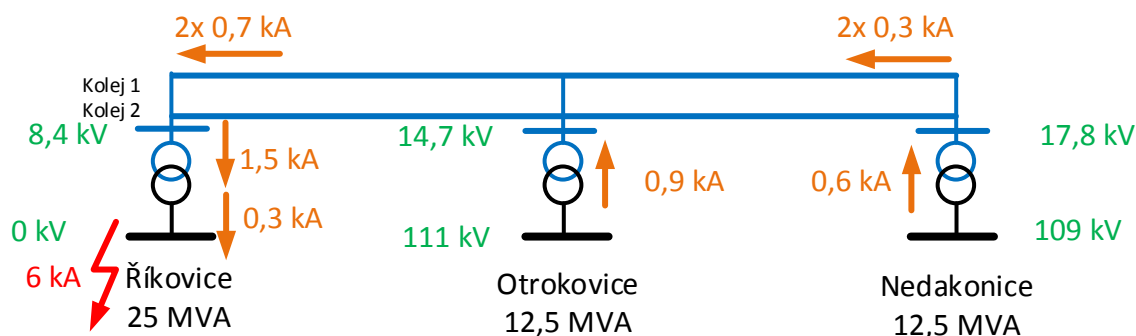
Obr. 6.6 Úbytky napětí během zkratu vůči výchozímu napětí – zkrat na přípojnicích 25 kV v TT Nedakonice



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.

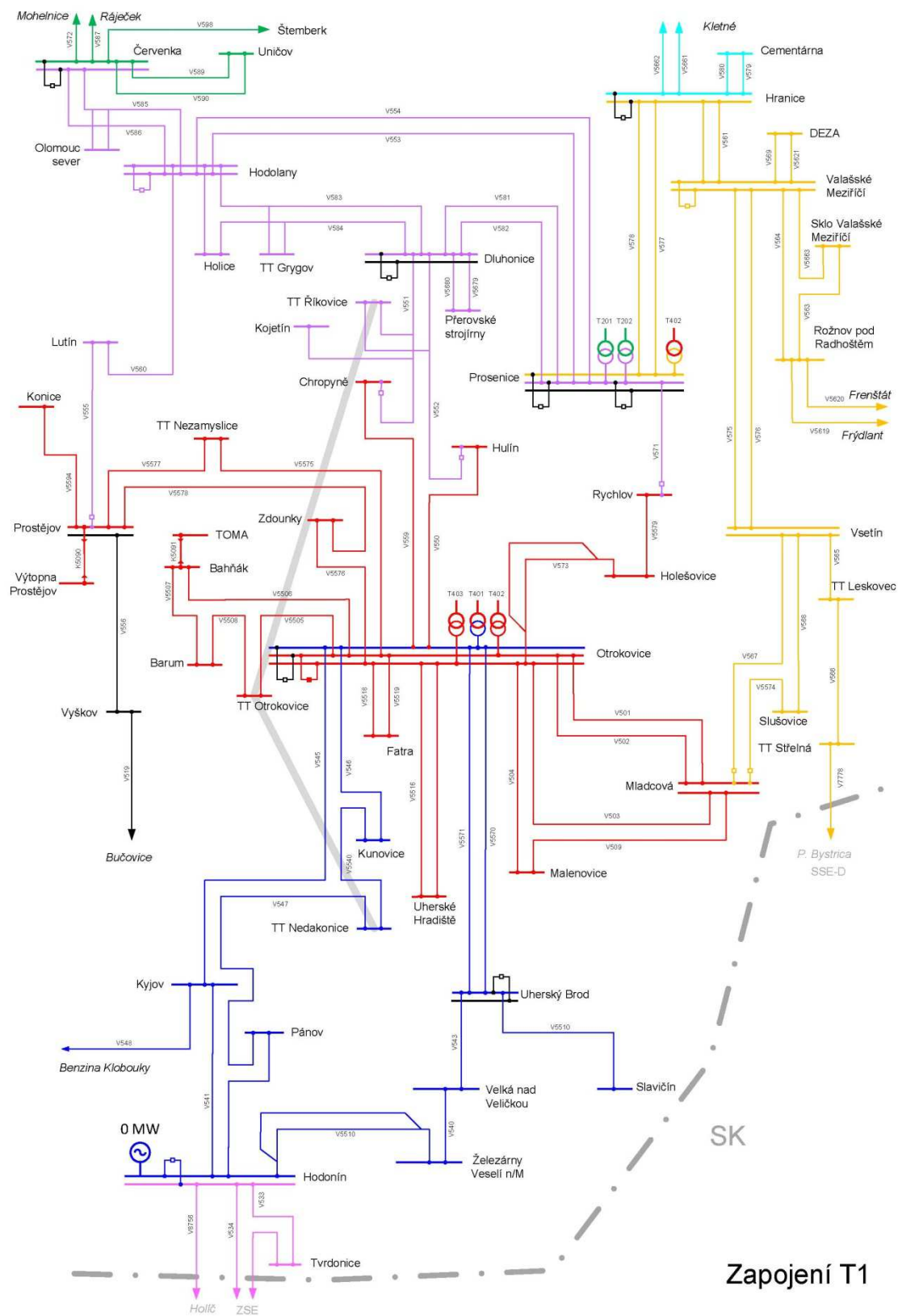
Přílohy

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

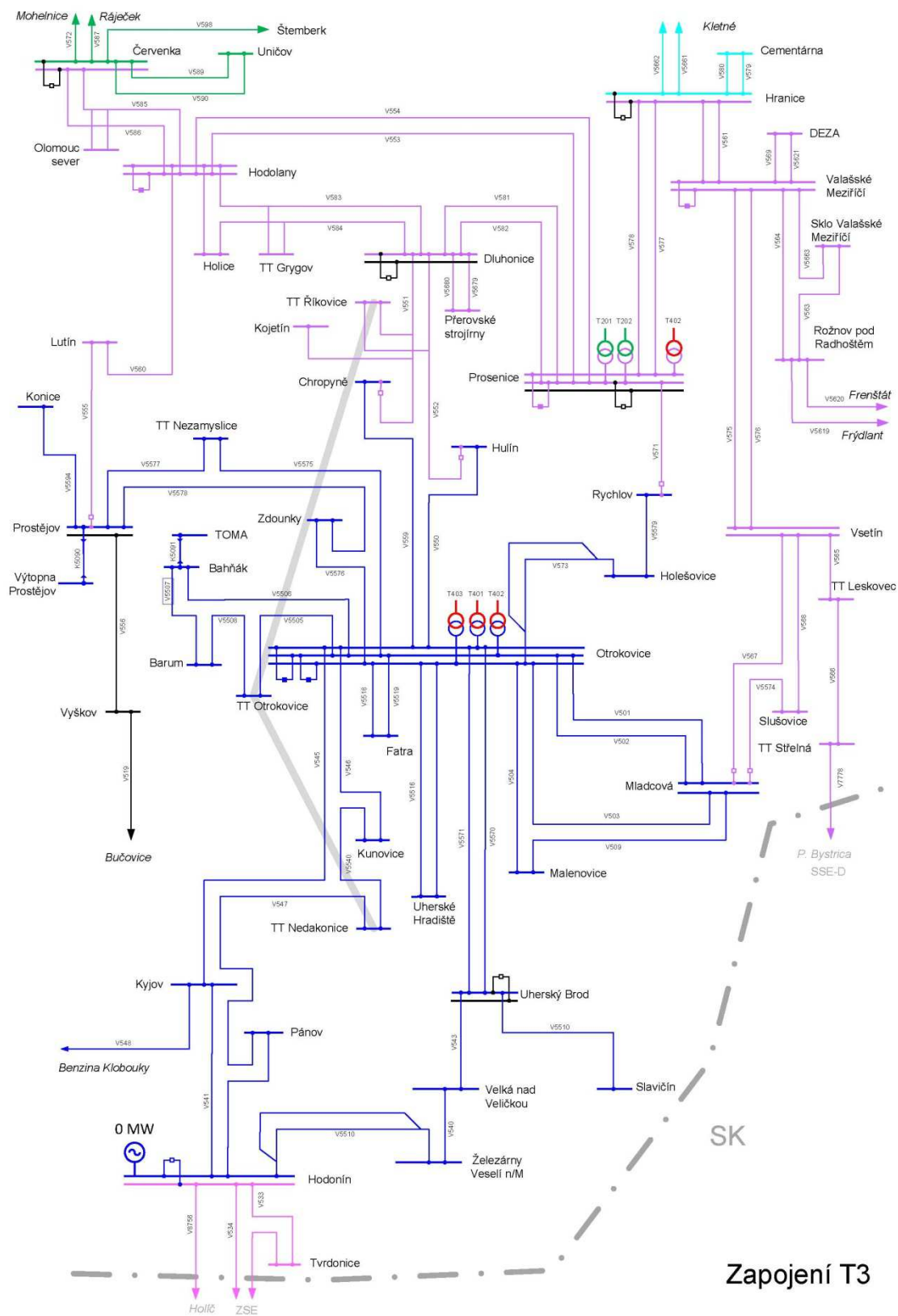
Zapojení T1

Zapojení T2

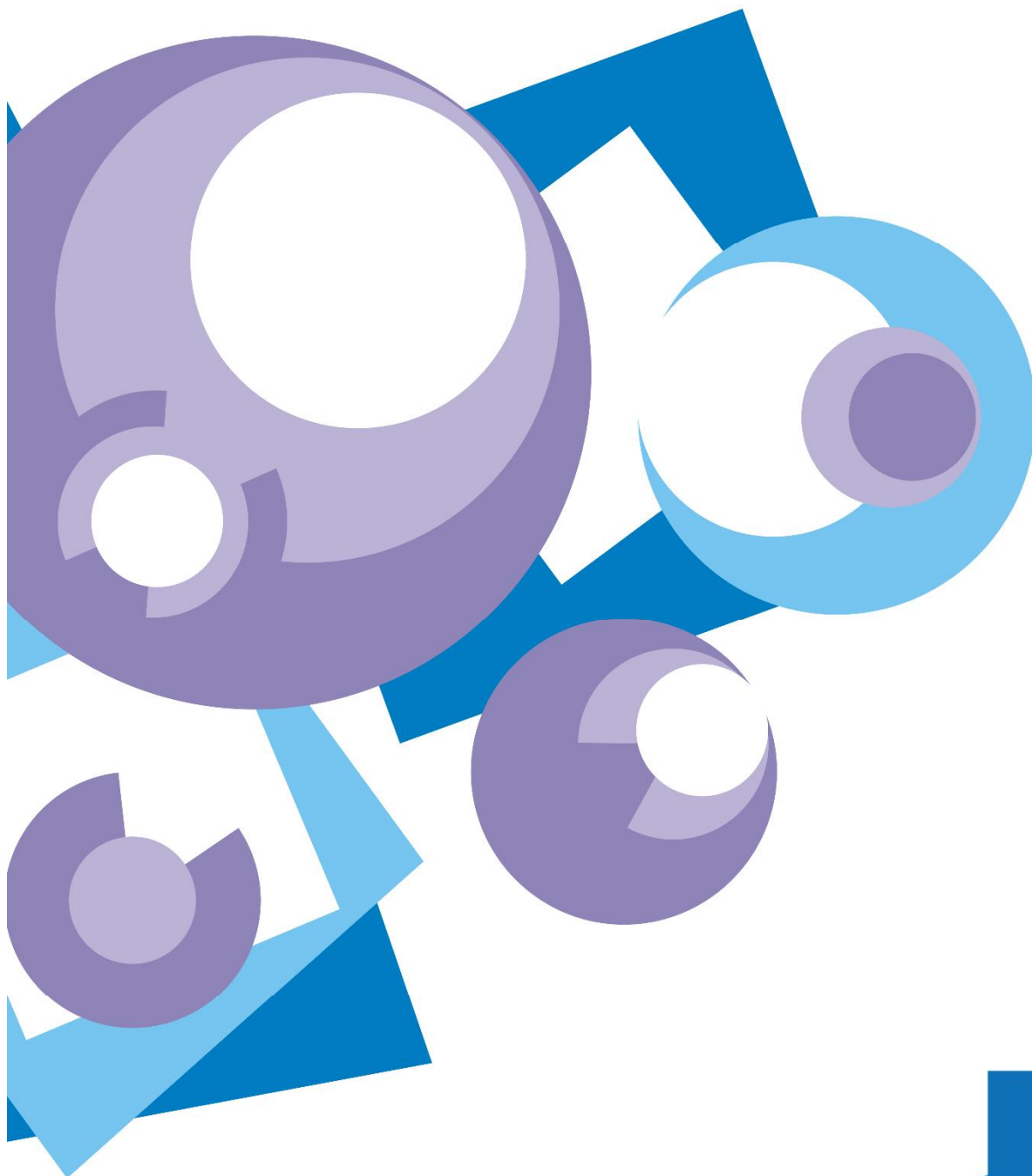
Zapojení T3











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.

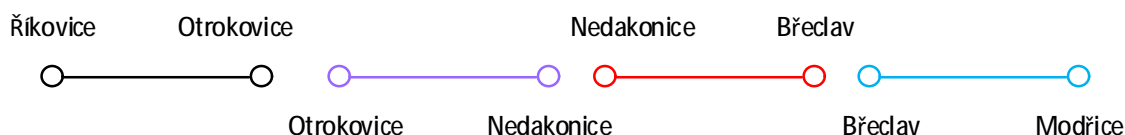
2 Výpočty oboustranně napájených jednoduchých úseků bez měničů

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

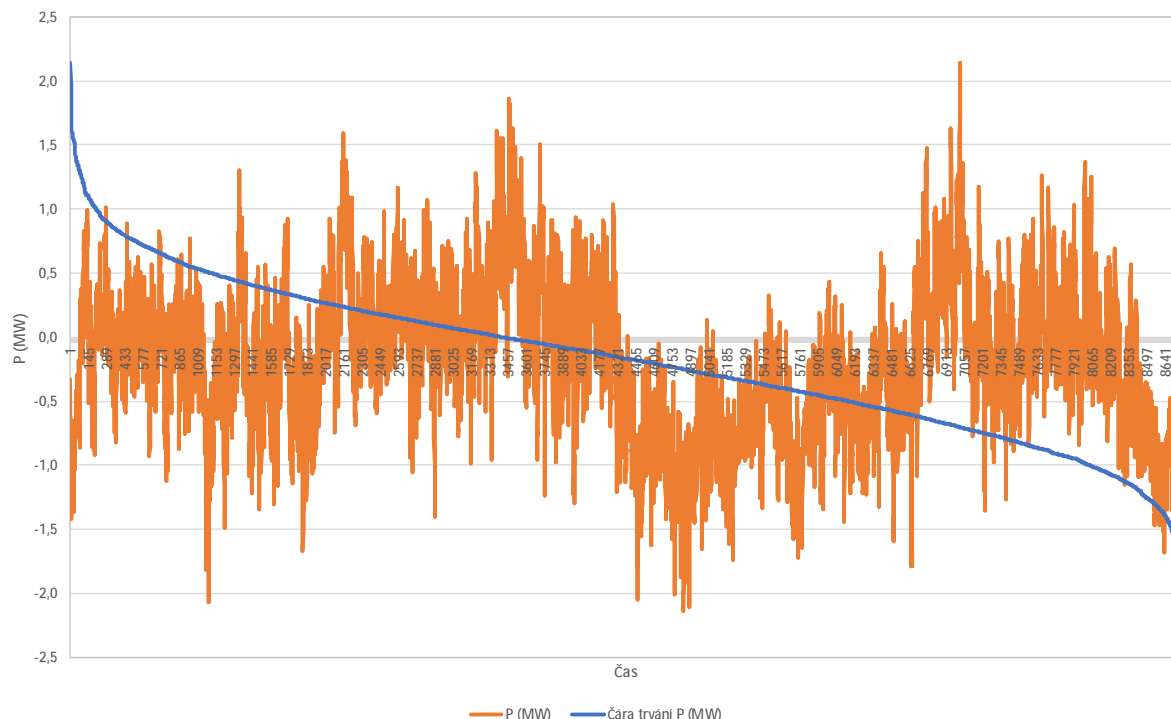
Stav, kdy je výpočetně prověřena situace, při které je rozvodna Otrokovice napájena ze tří paralelně spolupracujících transformátorů 400/110 kV. Toto nepřináší zásadní změnu toků přes systém 25 kV vůči základnímu zapojení.

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 napěťových 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.

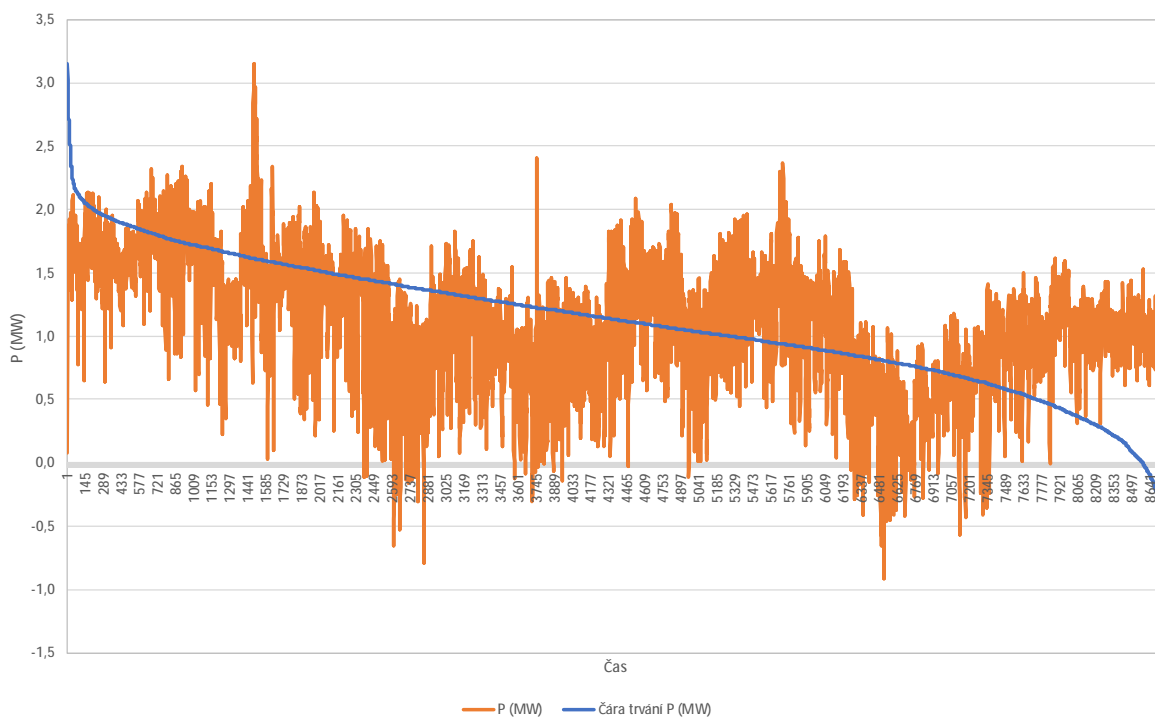
Výpadek transformátoru 400/220 kV Sokolnice

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

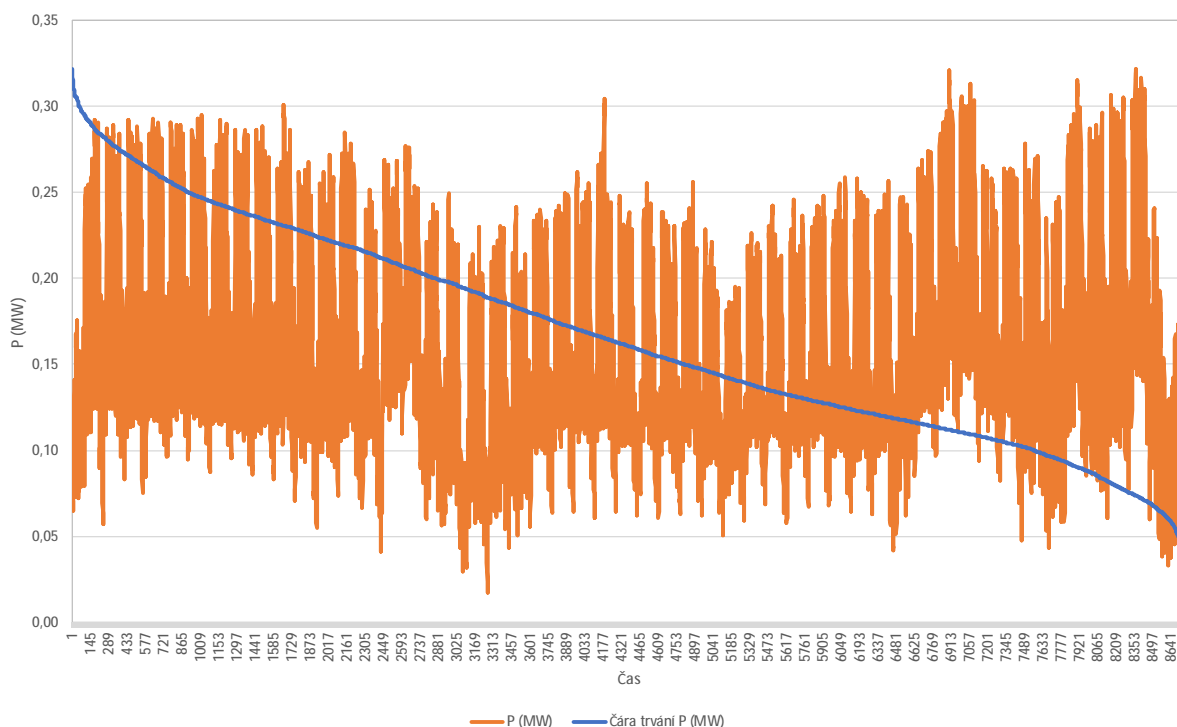
Při současném výpadku V515 Sokolnice – Modřice a V5543 Černovice – Komárov dochází k mírnému zvýšení četností toku činného výkonu přes trakční systém. Převážná většina hodnot je však stále v pásmu kolem 1 MW.

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.

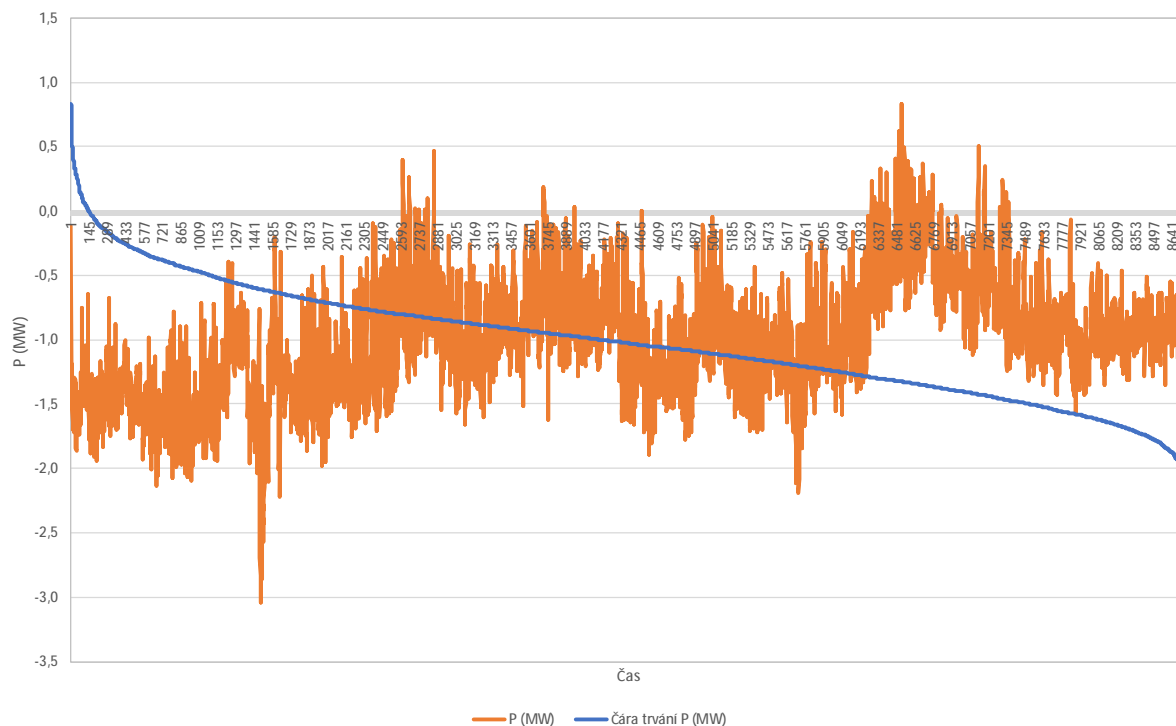
Napájení trakční rozvodny Vyškov z uzlové oblasti Otrokovice

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

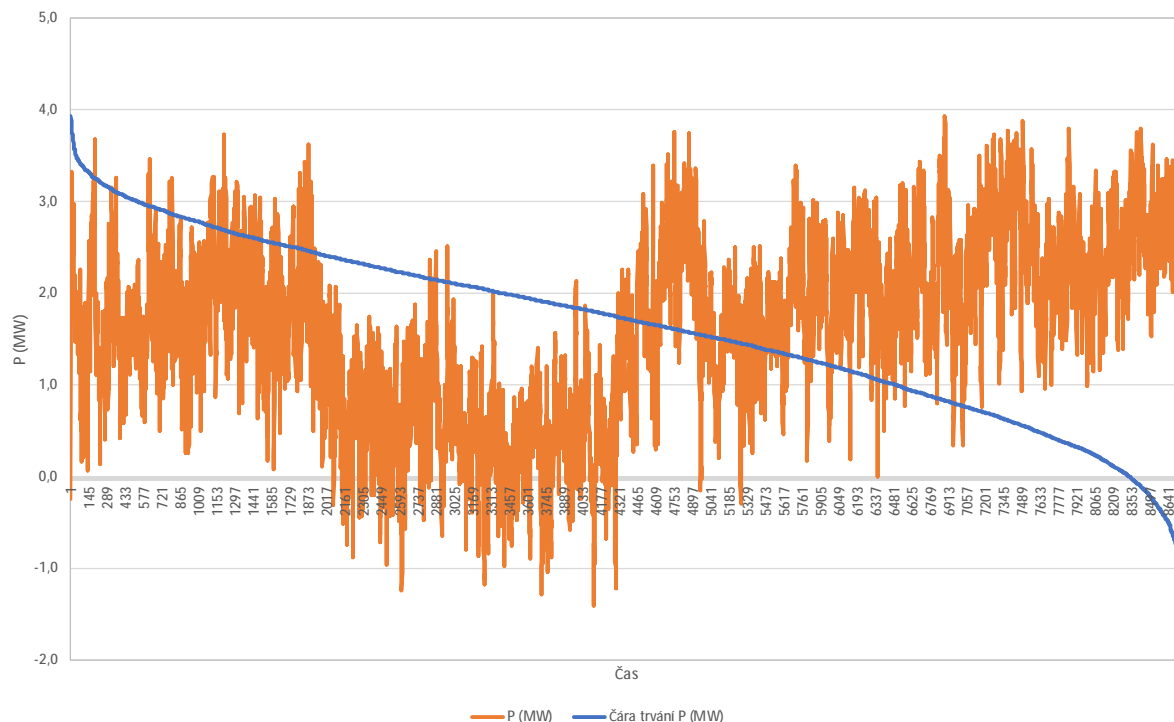
Byla prověřena zapojení, která řeší oblast s napájením některé z trakčních rozveden z UO napájené ze systému 400 kV (rozvodny Prosenice a Sokolnice jsou napájeny z transformace 400/110 kV). Rozdíly nejsou výrazné, pásmo, ve kterém se pohybuje přetok činného výkonu přes trakční soustavu je podobné se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

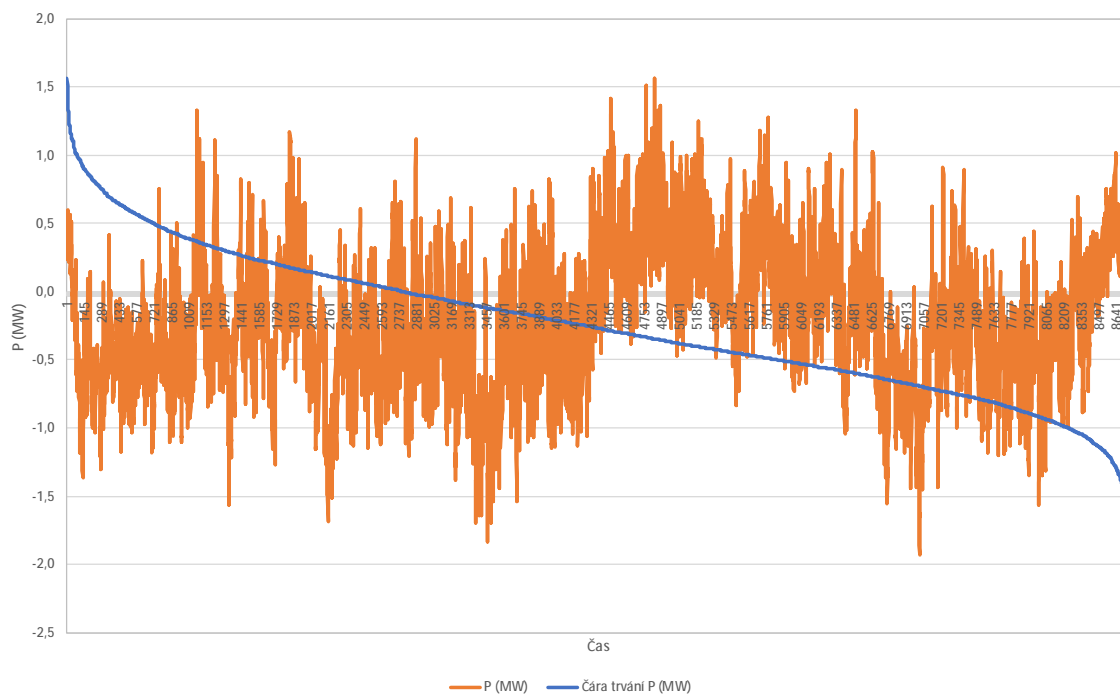
Změny napájení trakčních rozveden změnou vazby na PS

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

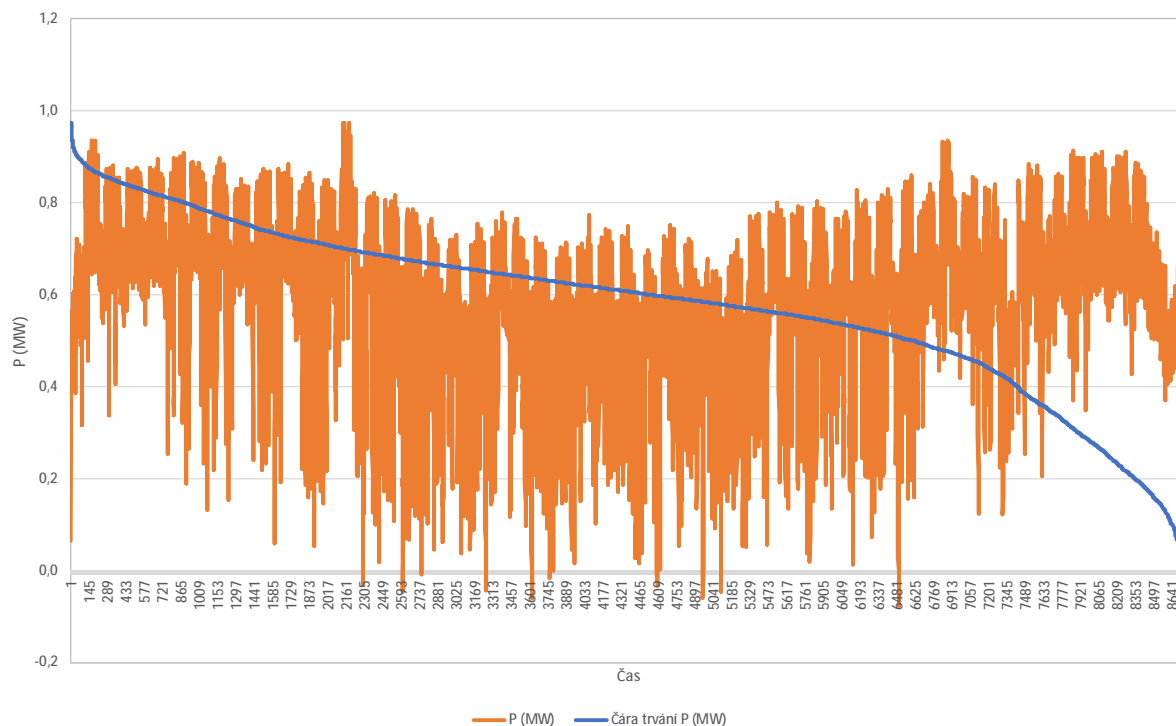
U tohoto typu oboustranně napájené traktce jsou dosahovány poměrně dobré výsledky. Obě rozvodny leží na stejné větvi 110 kV napájené ze stejné rozvodny. V základním zapojení jsou dosahované hodnoty přetoku přes trakční systém do 1 MW.

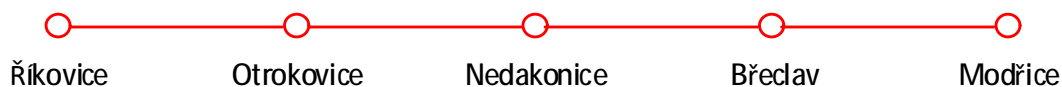
Vzhledem ke způsobu zapojení na úrovni 110 kV nemají vážnější dopad ani výpadky vedení 110 kV. Ke zvýšení přetoků výkonu by došlo pouze při alternativním zapojením rozvodny Kyjov na Sokolnice.

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

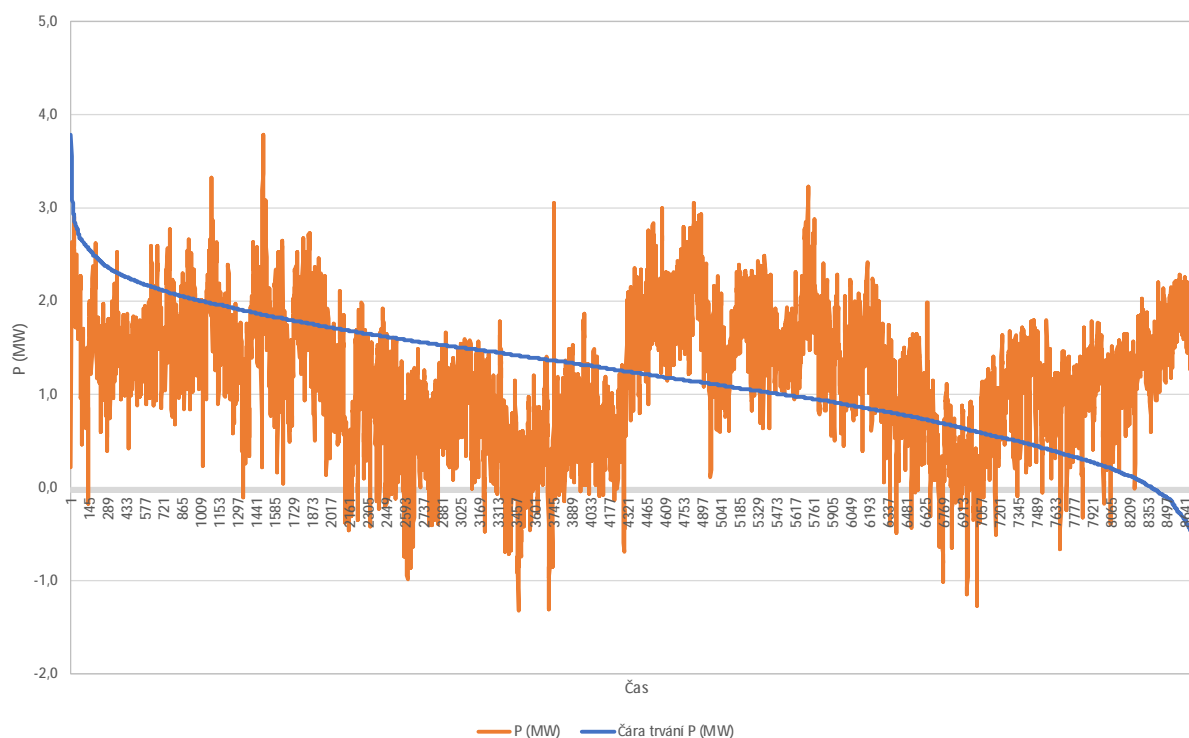
Obrázek 2.8 Toky výkonu na TNS Kyjov

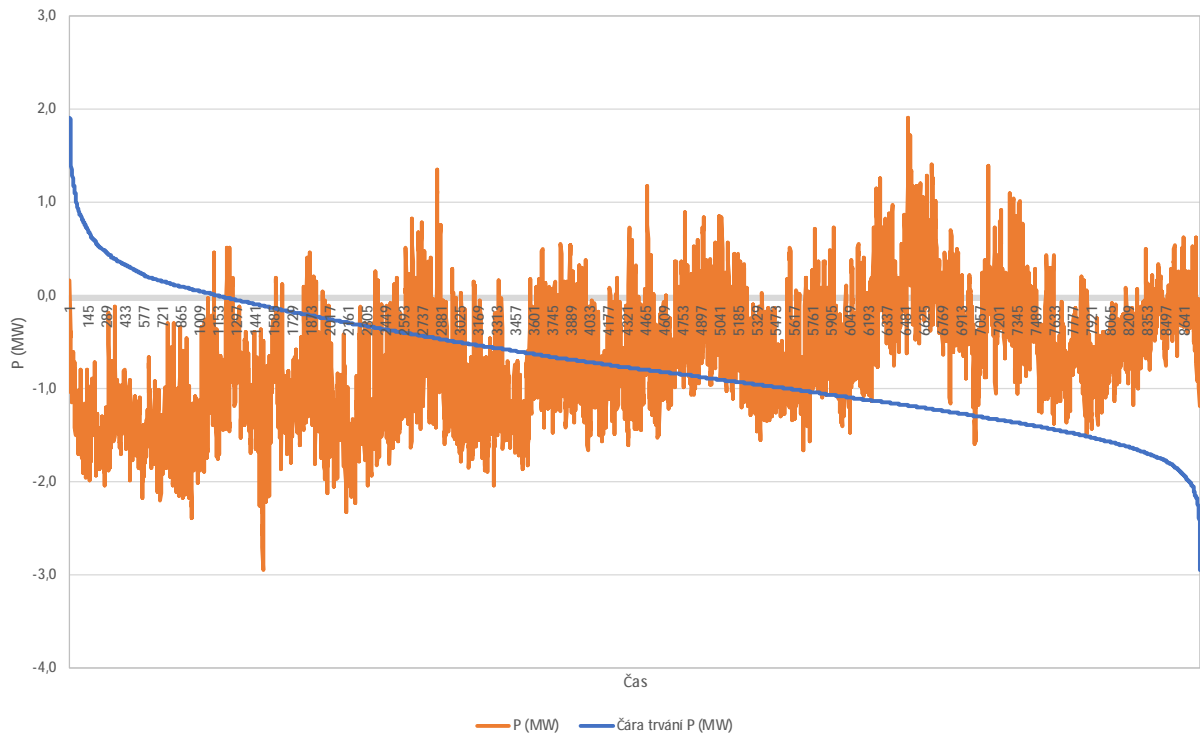
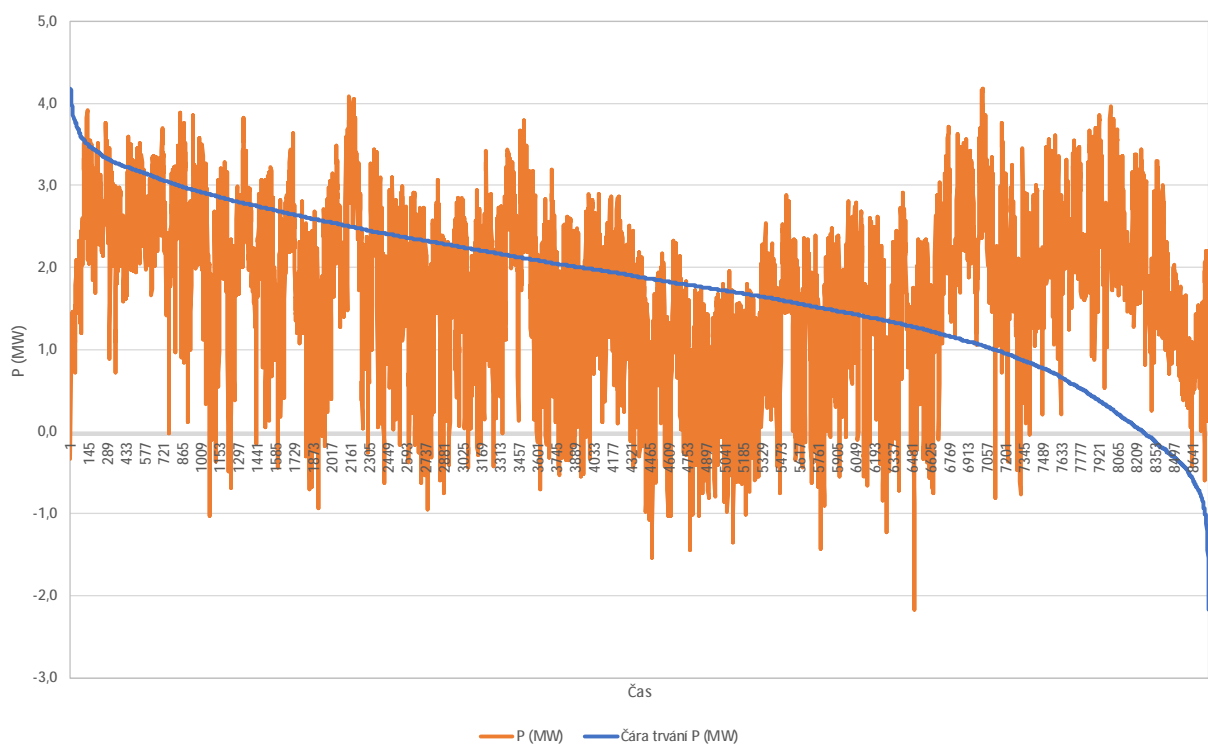


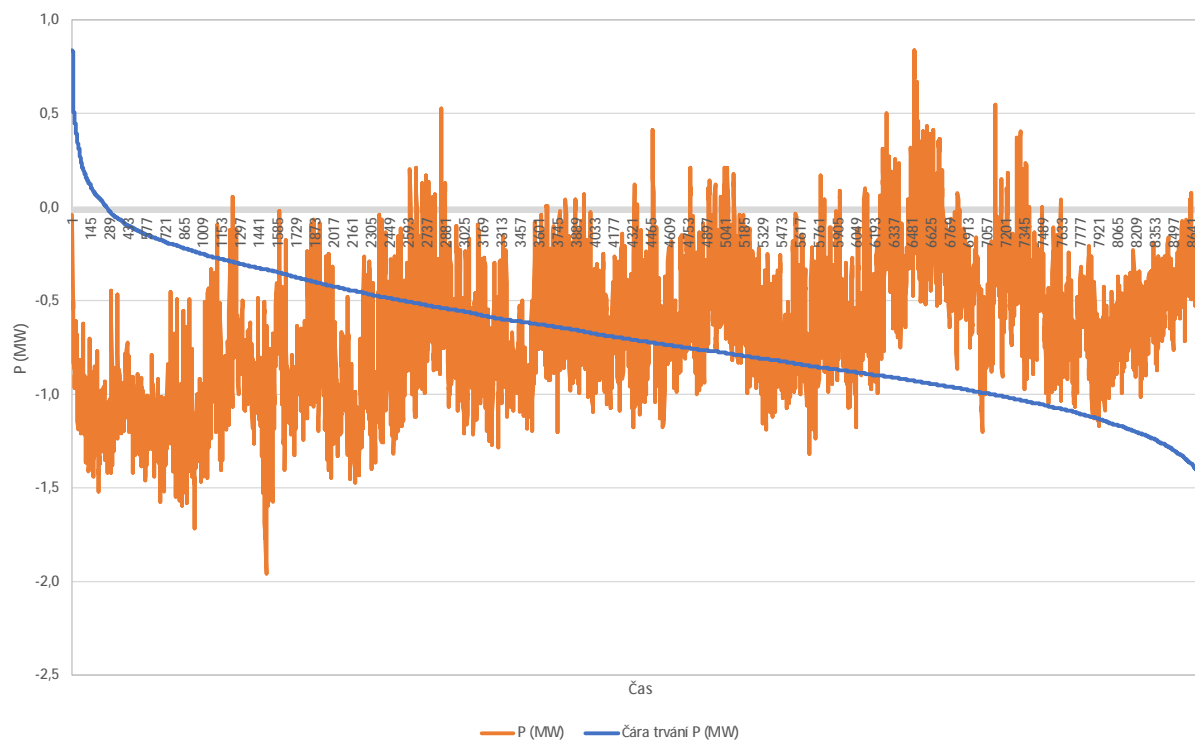
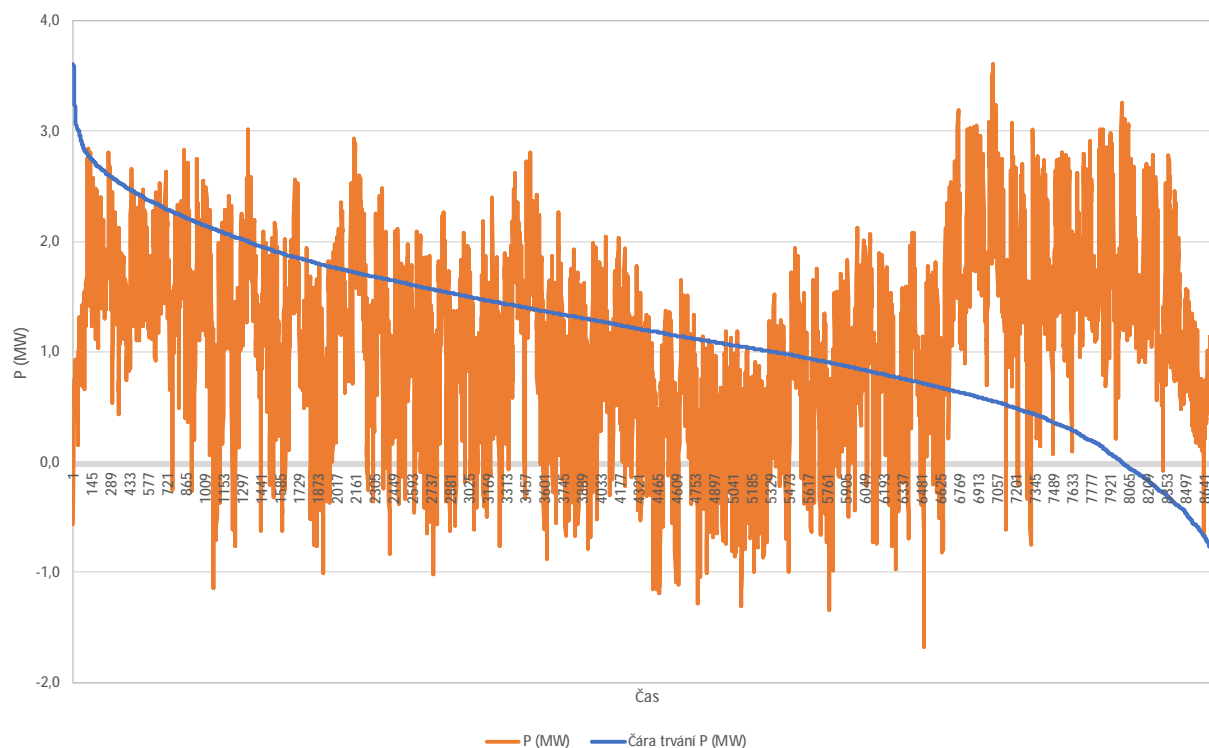
Obrázek 3.1 Schematické znázornění části úseku s přímou jednotnou fází

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.

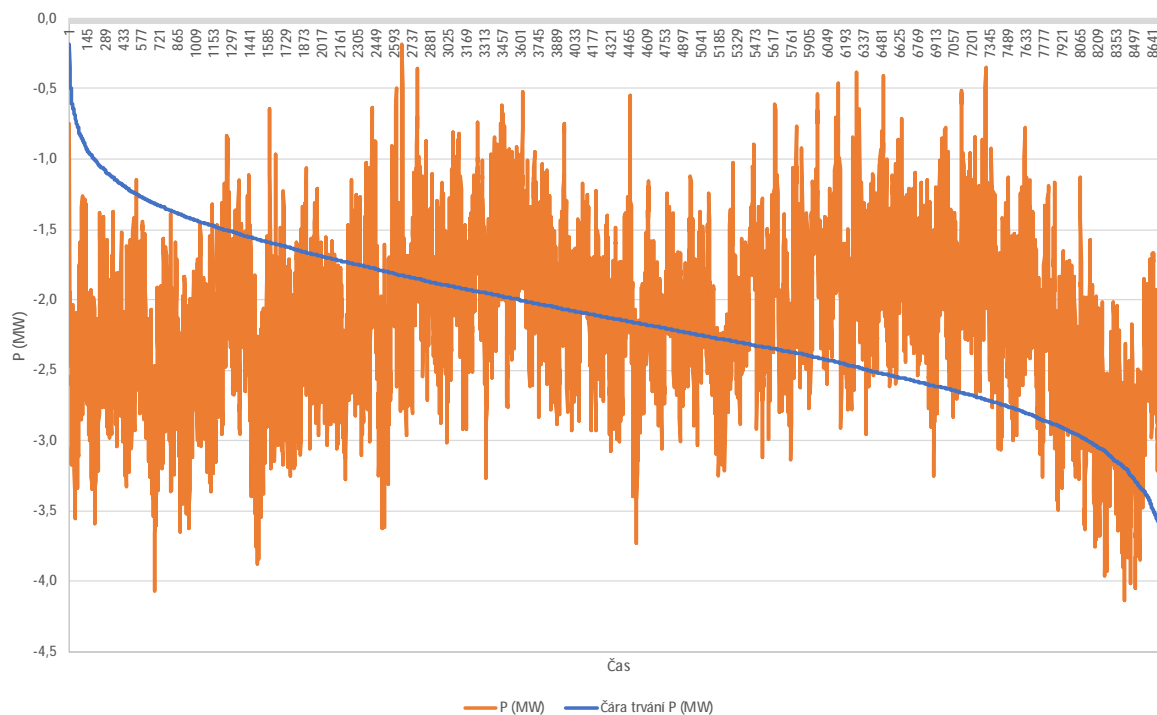
Na následujících grafech je zachycen roční průběh zatížení TNS činným výkonem naprázdno. Hodnoty jsou uvedeny pro základní zapojení přenosové a distribuční soustavy a ukazují toky výkonu pro stav naprázdno.

Obrázek 3.2 Toky výkonu na TNS Břeclav

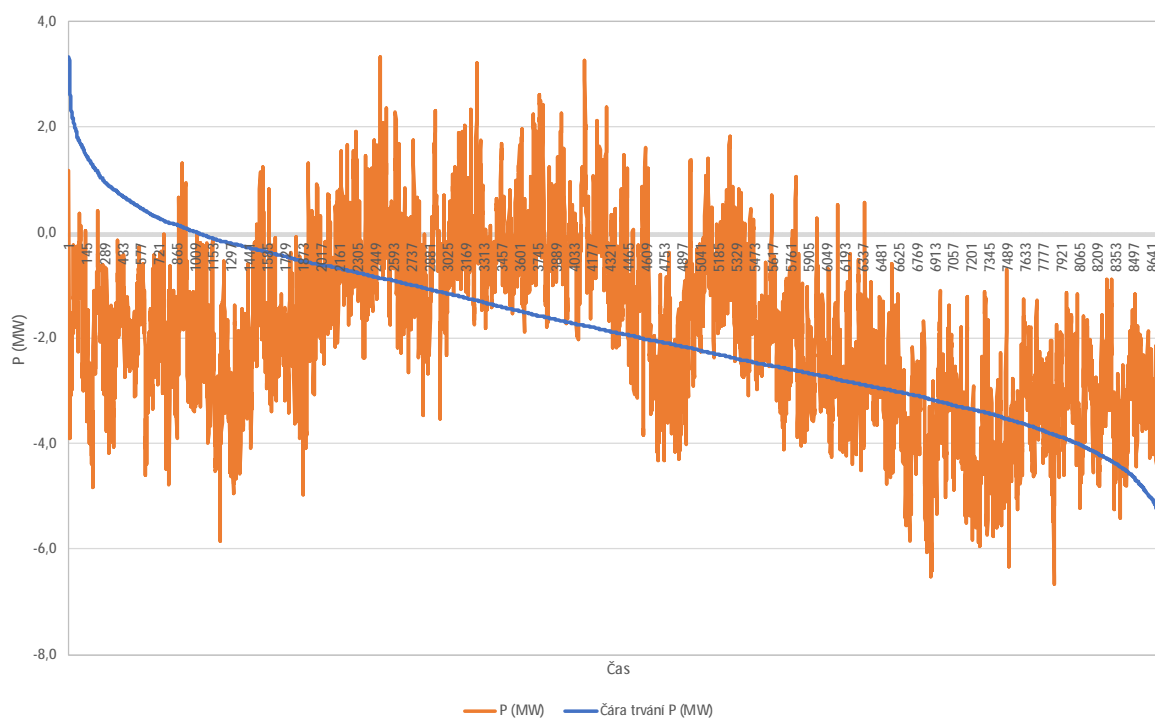
Obrázek 3.3 Toky výkonu na TNS Černovice**Obrázek 3.4 Toky výkonu na TNS Kyjov**

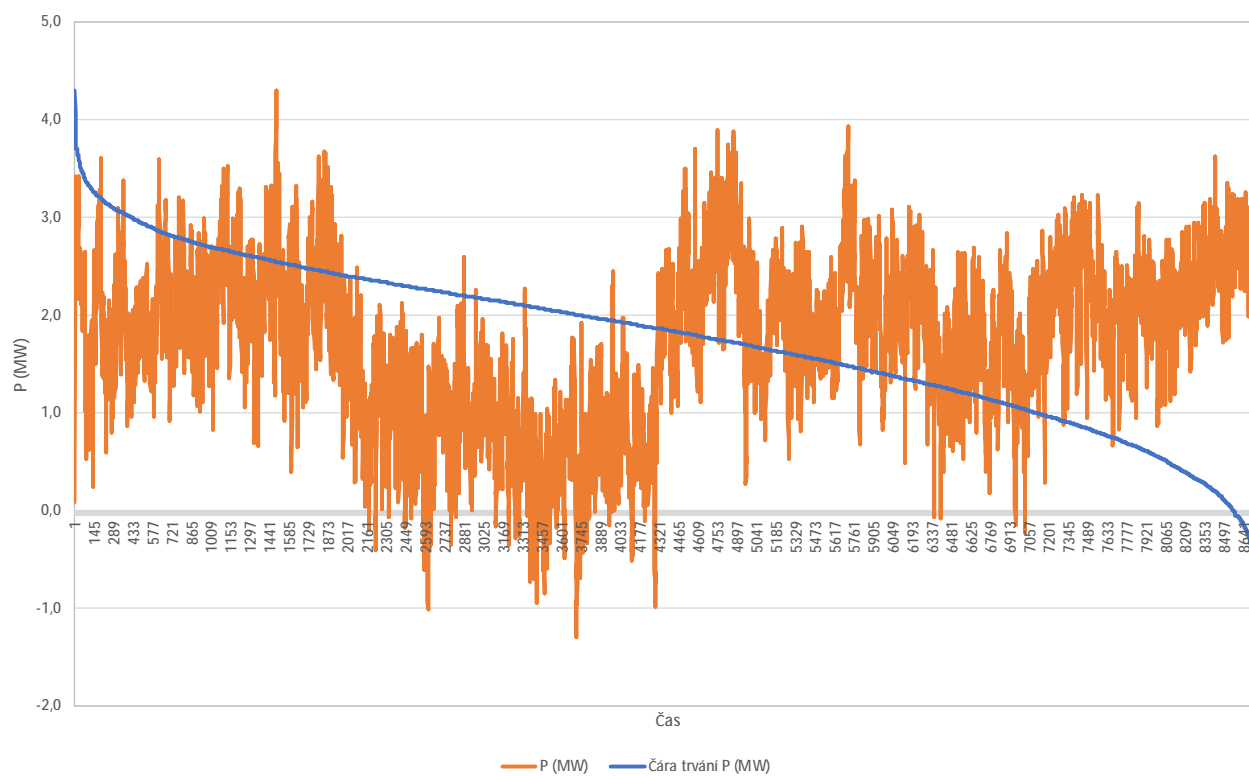
Obrázek 3.5 Toky výkonu na TNS Modřice T1**Obrázek 3.6 Toky výkonu na TNS Nedakonice**

Obrázek 3.7 Toky výkonu na TNS Otrokovice



Obrázek 3.8 Toky výkonu na TNS Říkovice



Obrázek 3.9 Toky výkonu na TNS Vyškov

4 Spolehlivost napájení trakčních napájecích stanic z pohledu DS a PS

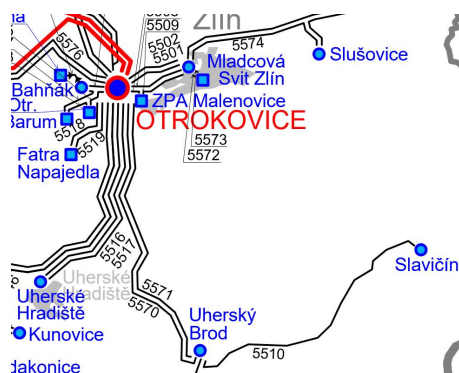
Pro vzájemné zálohování jednotlivých trakčních stanic a pro případný provoz v systému jednotné fáze je důležité popsat spolehlivost jednotlivých trakčních napájecích bodů. Jedná se o spolehlivost, která je určena uspořádáním distribuční sítě 110 kV a přenosové sítě. Pro účely této studie byla stanovena bodová kritéria hodnocení spolehlivosti, která určují rizikovost rozvodny z hlediska její využitelnosti v rámci zálohování trakčního systému.

4.1 Kritéria hodnocení

Spolehlivost vedení 110 kV

Jedná se o způsob napojení rozvodny na nejbližší síť 110 kV, jedná se o hodnocení návazných vedení. Není hodnoceno přímé napojení rozvodny, které je v podmínkách ČR realizováno v naprosté většině případů jedním nebo dvěma vedeními 110 kV.

1 bod – Napojení na síť jedním dlouhým radiálním vedením 110 kV. Tento způsob je v ČR spíše výjimečný. Pokud existuje, je v rámci rozvojových plánů navrhováno posílení napojení z důvodů zvýšení zabezpečení napájení.



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)

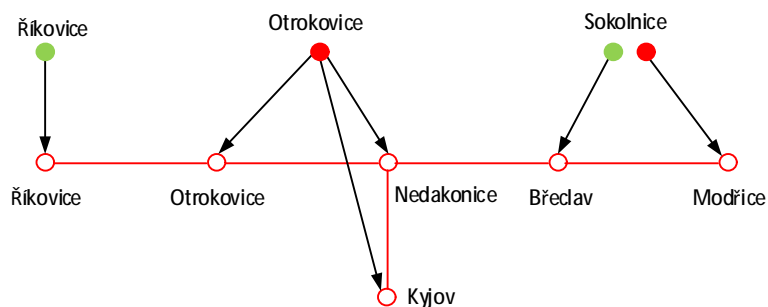


Spolehlivost transformační vazby PS/ 110 kV

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 napojená 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 rozveden 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.

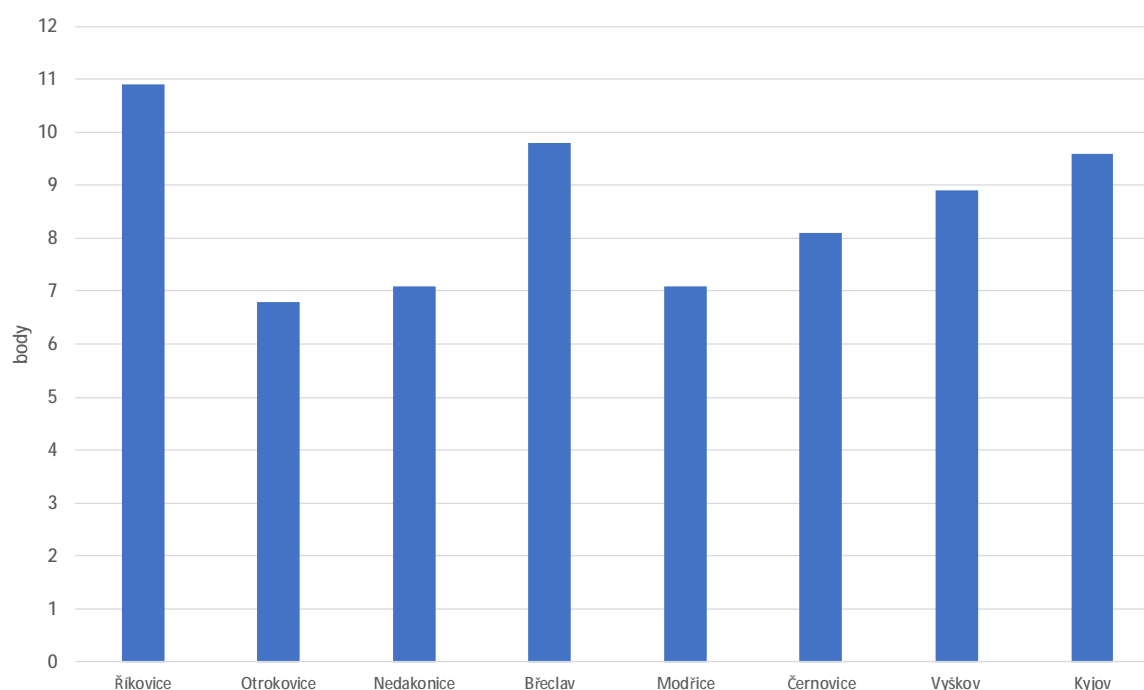
Z hlediska spolehlivosti napájení ze systému 400 kV a vazby na systém 110 kV platí pro tuto rozvodnu stejné hodnocení jako pro rozvodnu Otrokovice a Nedakonice.

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	Vyškov	Kyjov
1.	Spolehlivost vedení systému 110 kV	1	3	2	2	3	2	2	2	3
2.	Možnost záložního napájení z jiné UO PS/110 kV	0,8	3	1	2	1	2	2	3	2
3.	Spolehlivost napájecího uzlu PS z hlediska vedení PS	0,5	3	1	1	3	3	3	3	1
4.	Spolehlivost vazby PS / 110 kV	1	3	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 přípojnic 25 kV těže 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 rozvodů 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 rozvodů 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 rozvodů 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 rozvodů 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 rozvodů (rozvodů 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.

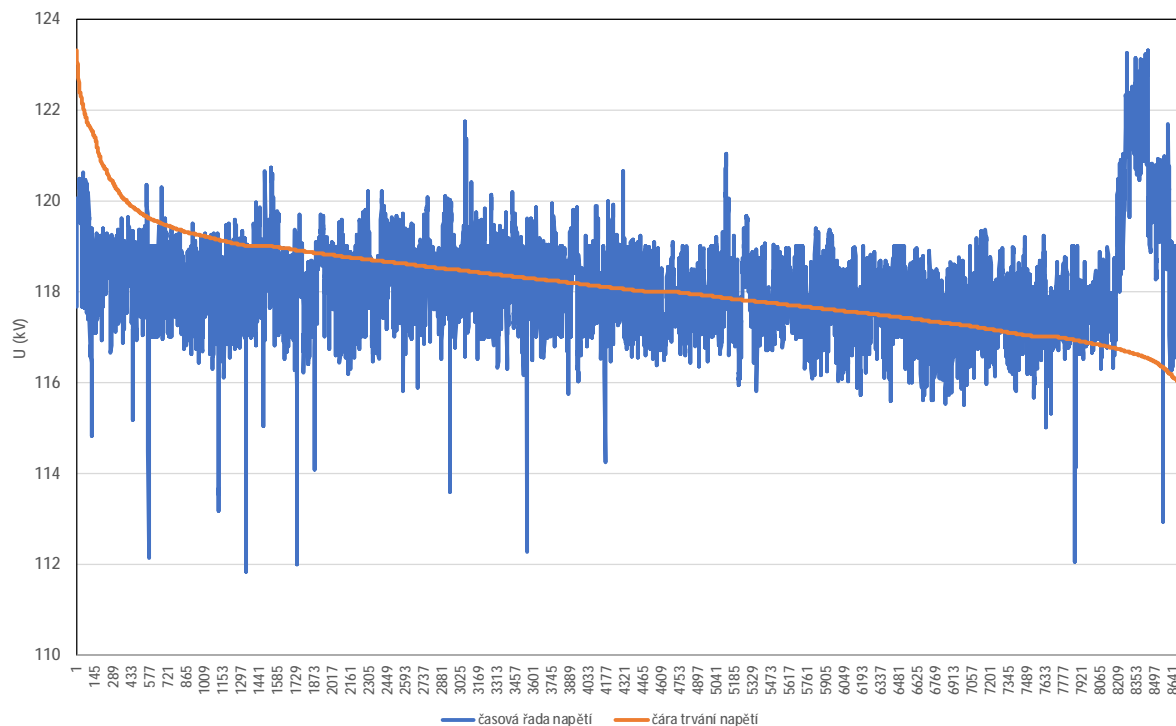
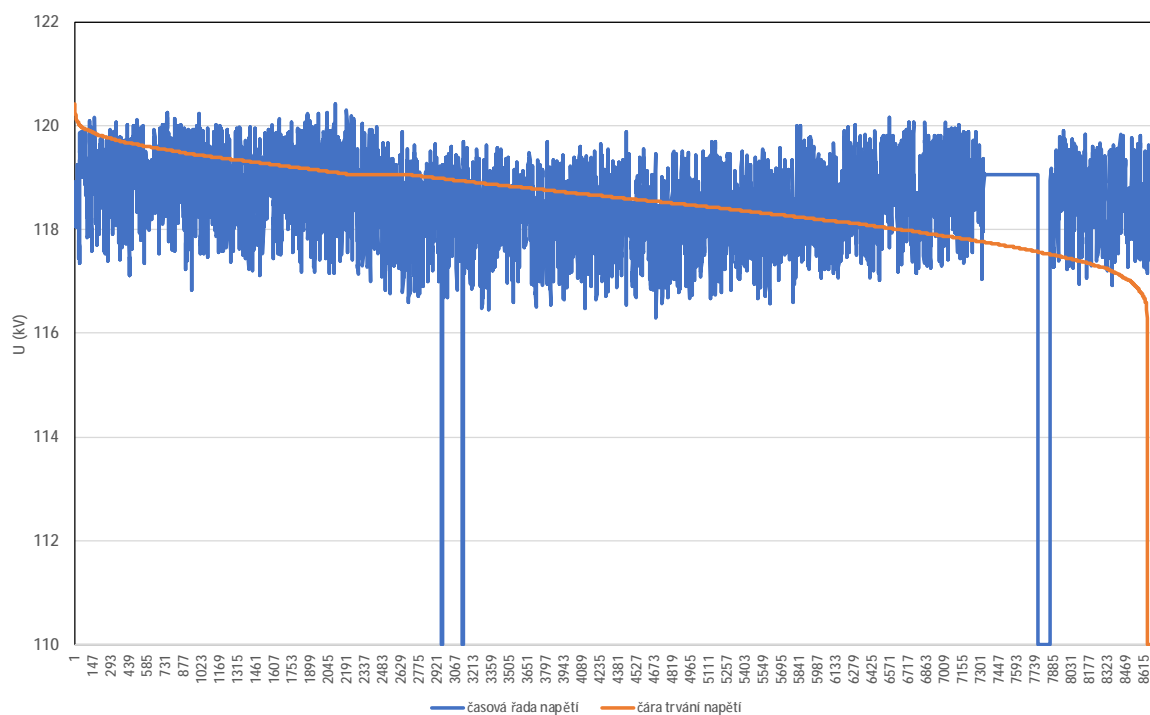
Samostatnou částí stanovení odolnosti zařízení je odolnost vůči atmosférickým přepětím, které se mohou v síti vyskytnout.

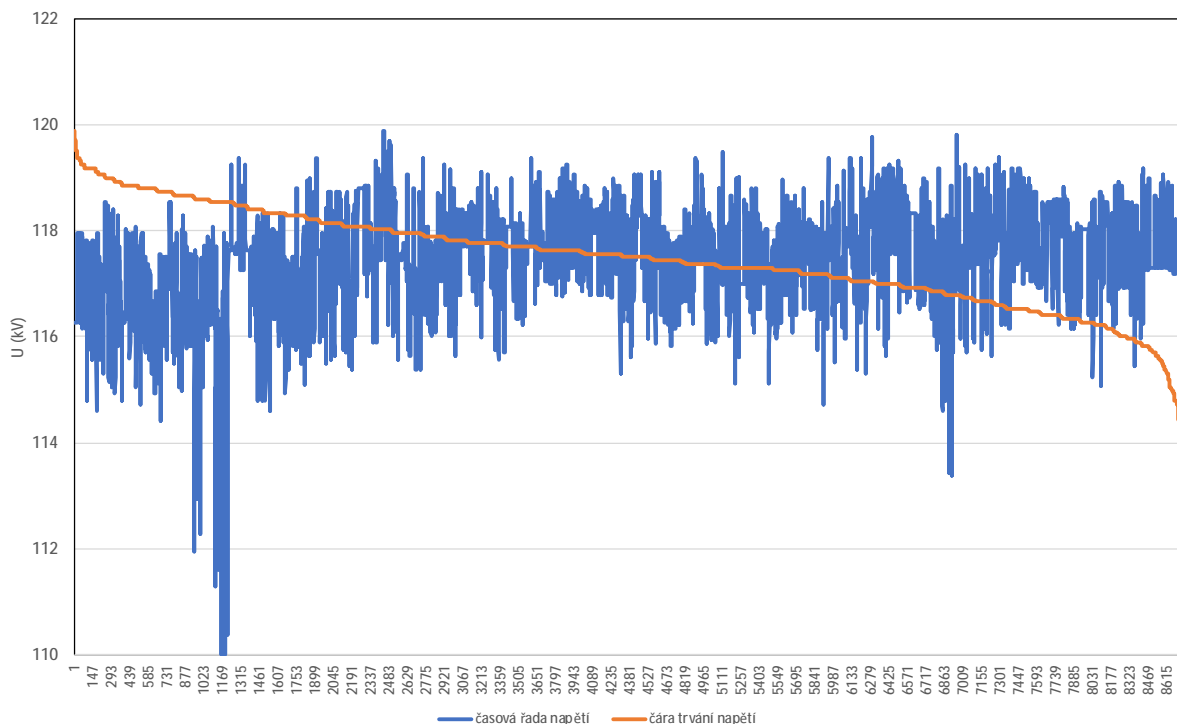
Napětí klesající pod 110 kV je detekcí problematického stavu v DS. V tomto režimu by zařízení trakční stanice mělo zabraňovat svou činností dalšímu zhoršování situace nebo by naopak mohlo být využito pro stabilizaci situace v distribuční soustavě.

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)

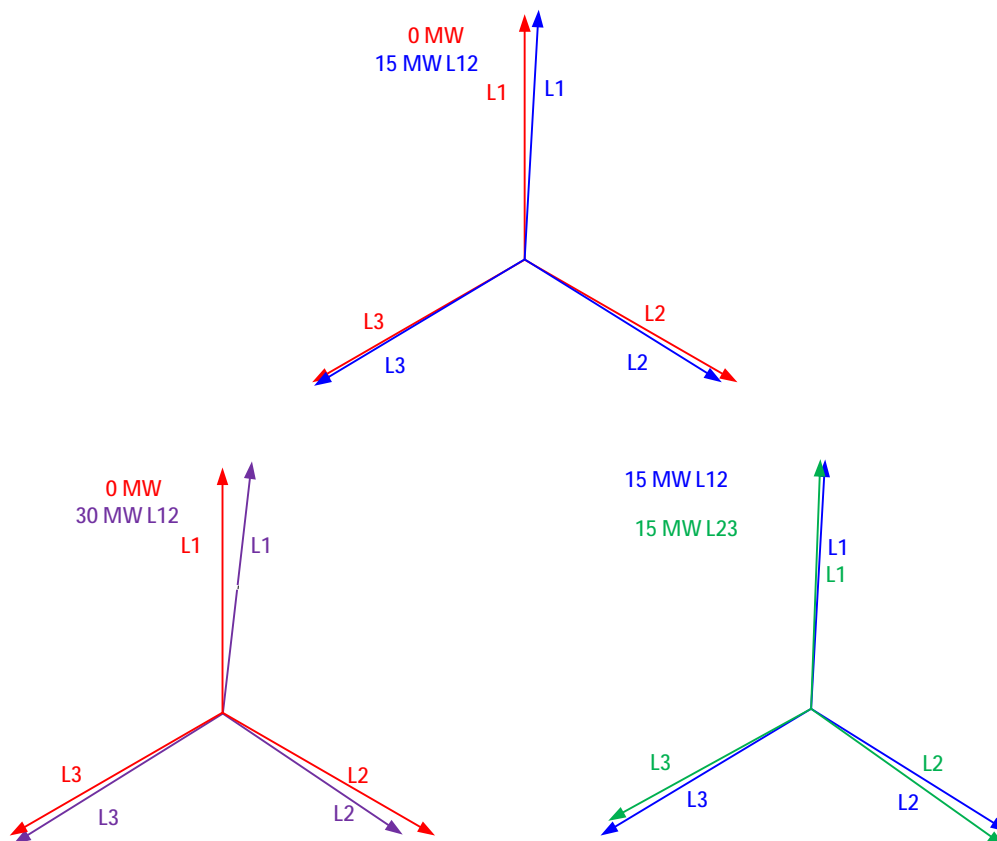
Zakladní zapojení, poč. fází 2050, stav s výpadky (N+1)																
Název	Nesymetrický odběr připojený mezi dvě fáze															
	2 MW	4 MW	6 MW	8 MW	10 MW	12 MW	14 MW	16 MW	18 MW	20 MW	22 MW	24 MW	26 MW	28 MW	30 MW	
Nesymetrie napětí ku (%)	Říkovice	0,2%	0,3%	0,5%	0,7%	0,9%	1,0%	1,2%	1,4%	1,5%	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.

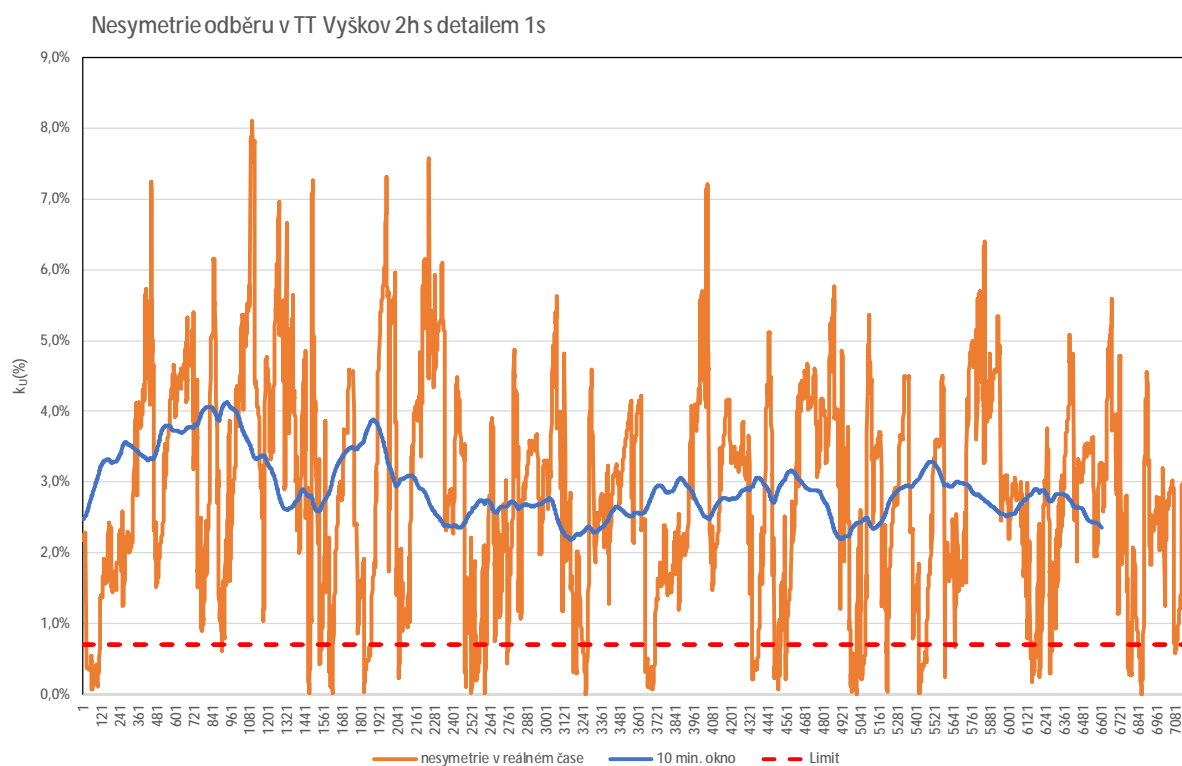
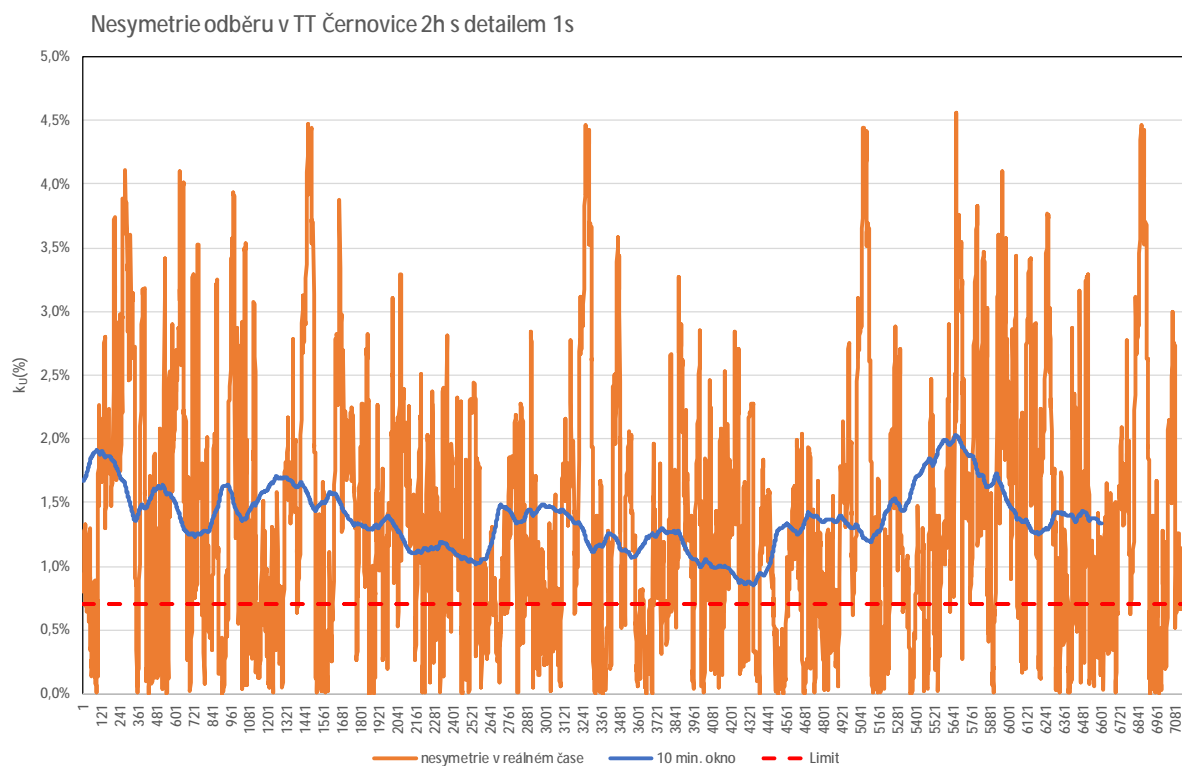
Z výpočtů vyplynulo:

- 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).

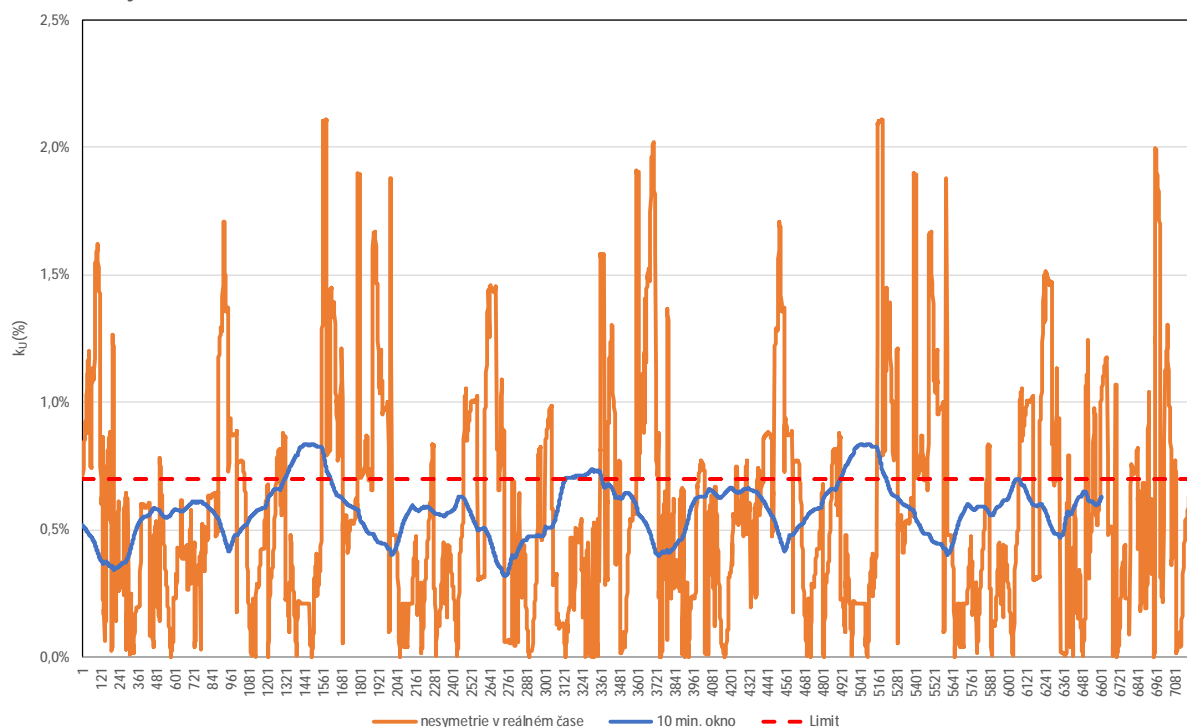
Obrázek 8.1 Vektorové znázornění nesymetrie napětí v závislosti na zapojení a zatížení



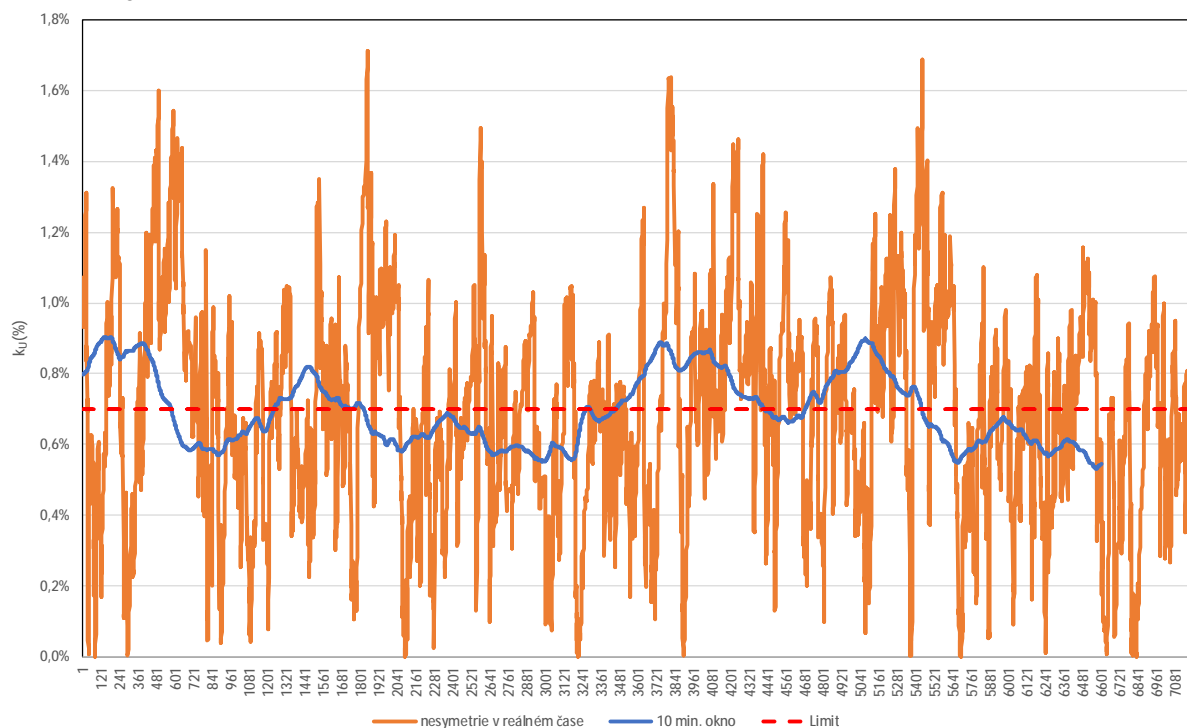
Ze simulovaného budoucího průběhu odběrů trakčních stanic byl vytvořen průběh nesymetrie napětí na úrovni 110 kV. Uvažováno bylo se současným zapojením pouze mezi dvě fáze distribuční soustavy 110 kV pouze u TNS Modřice bylo počítáno se zapojením do V. V průbězích je uvažováno i s vlivem rekuperace. 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

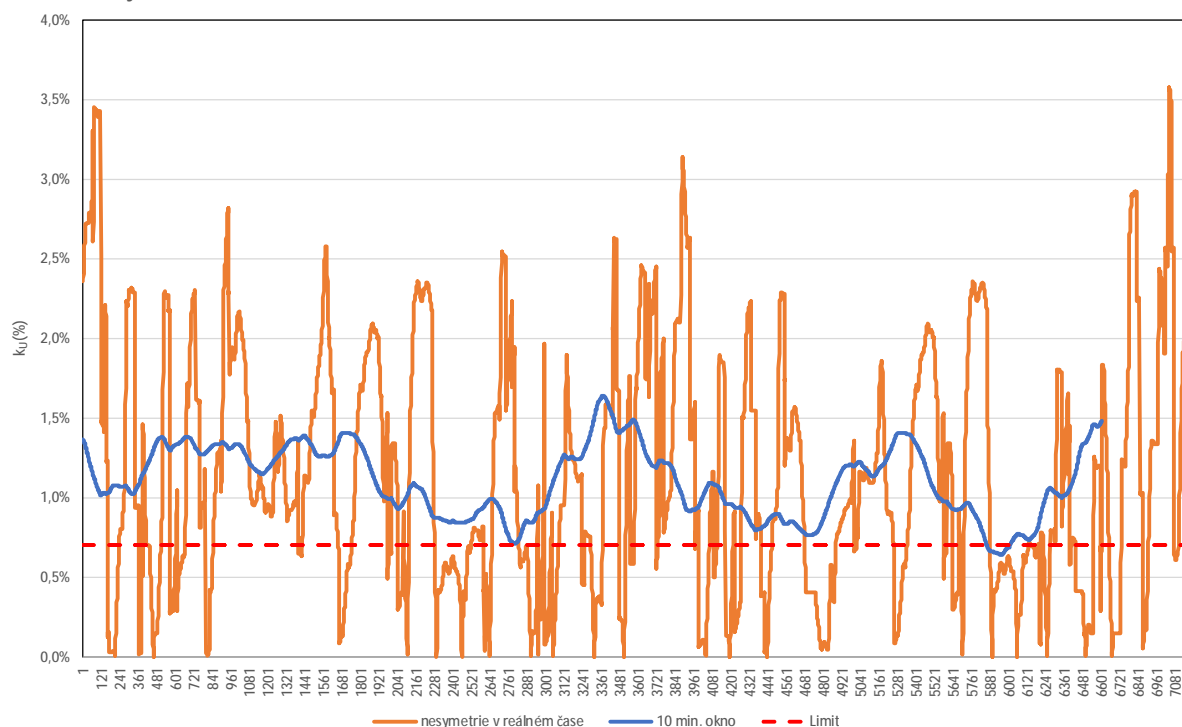
Nesymetrie odběru v TT Říkovice 2h s detailem 1s



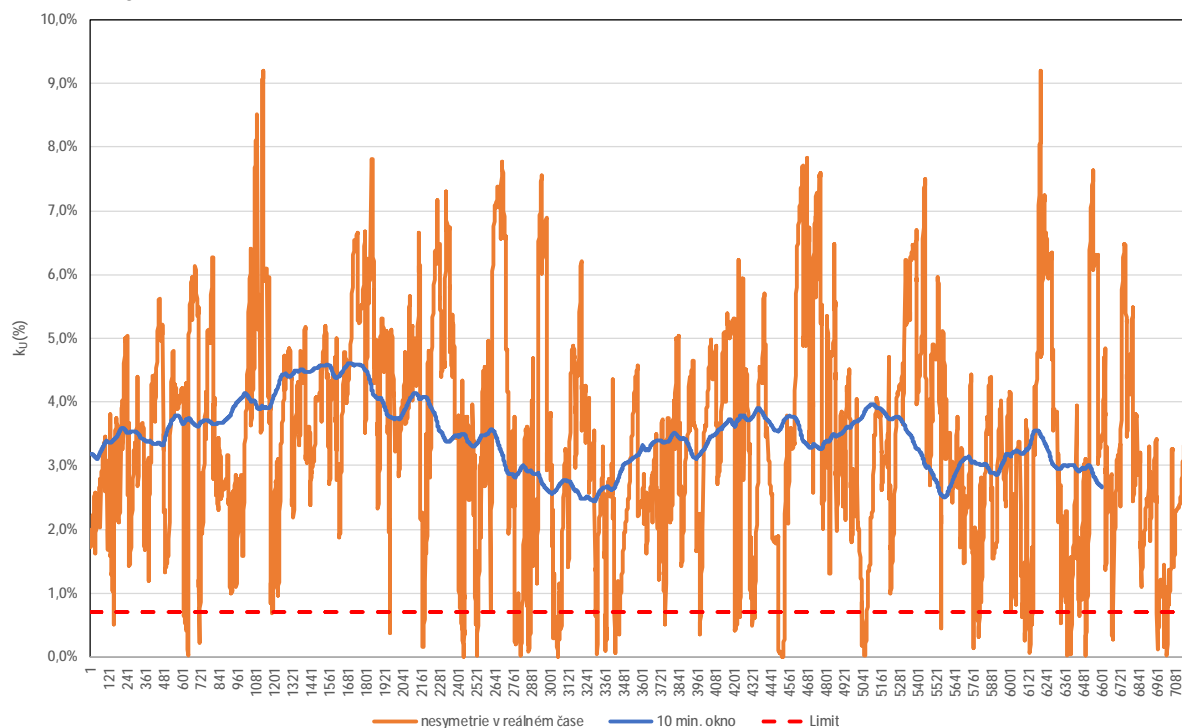
Nesymetrie odběru v TT Otrokovice 2h s detailem 1s



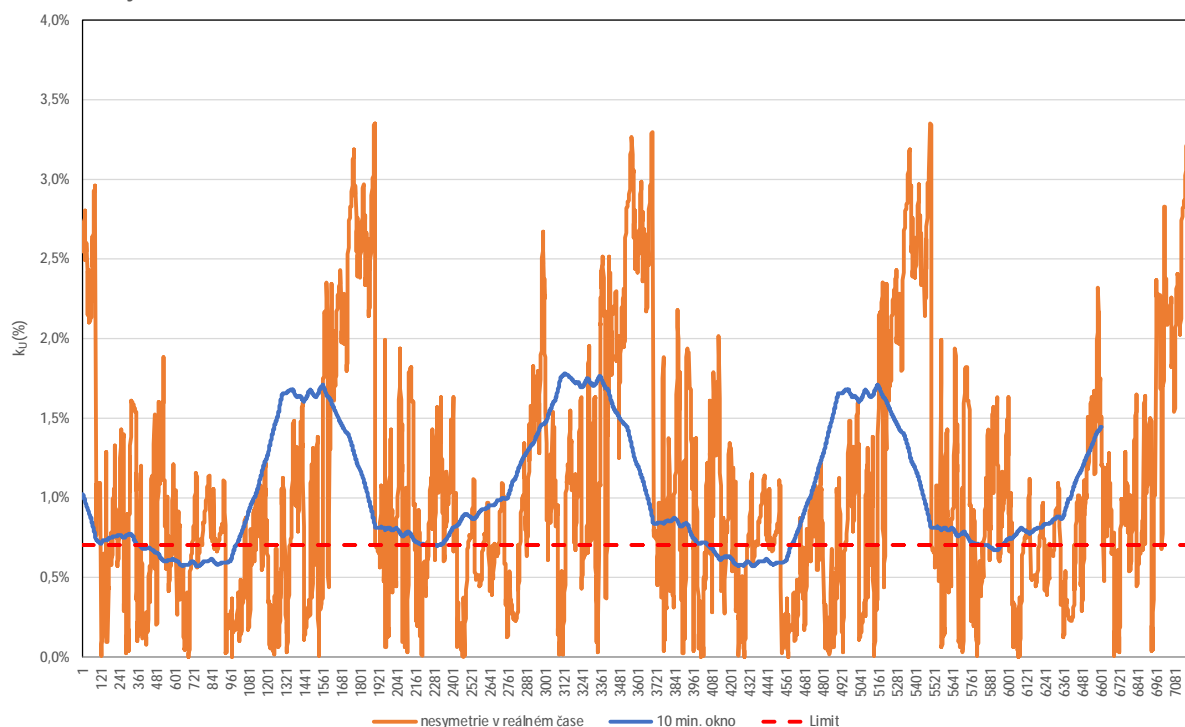
Nesymetrie odběru v TT Nedakonice 2h s detailem 1s



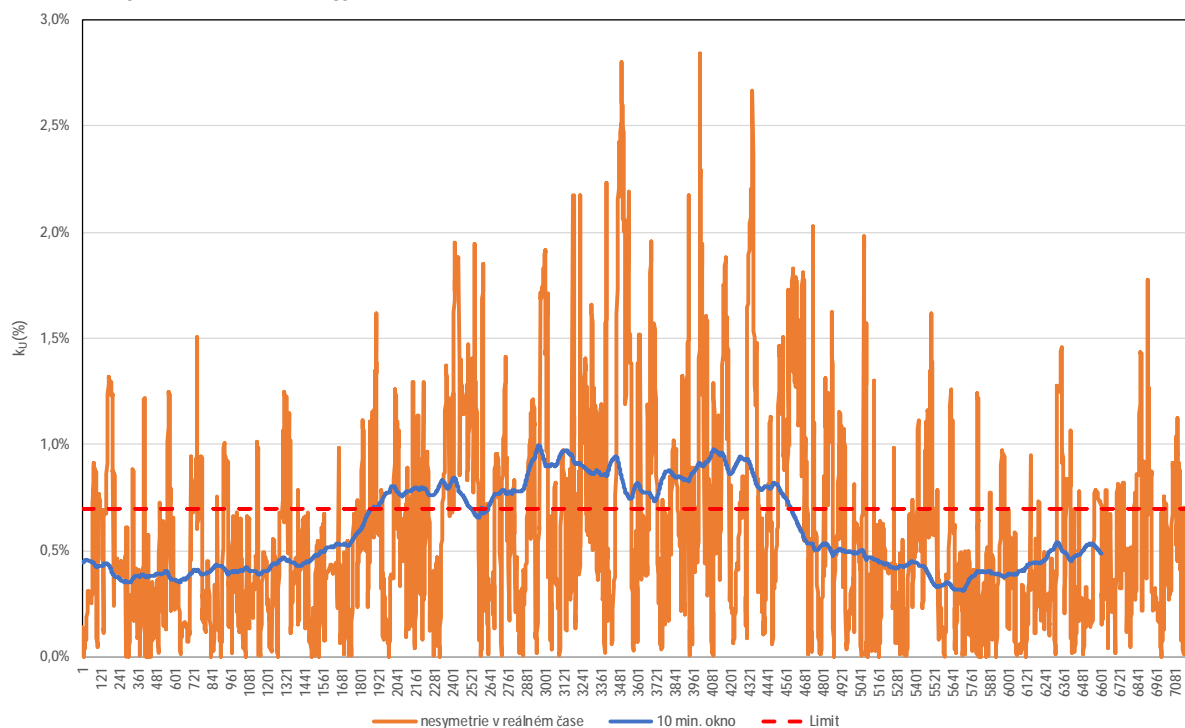
Nesymetrie odběru v TT Břeclav 2h s detailem 1s



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)

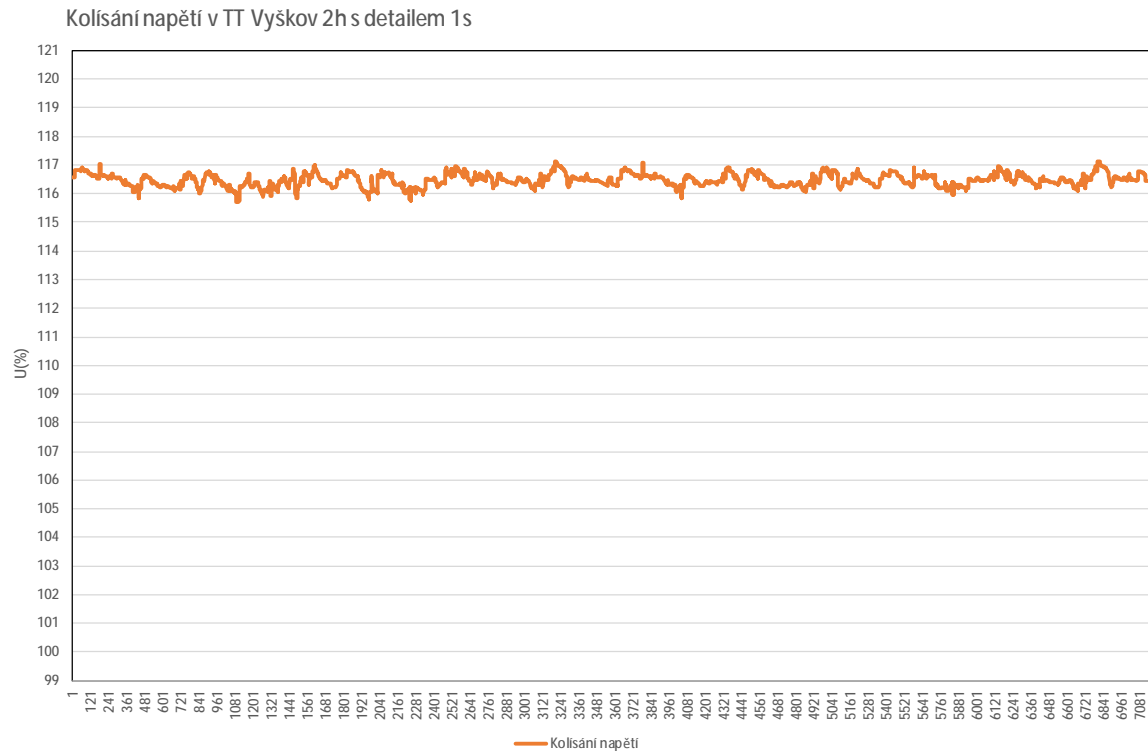
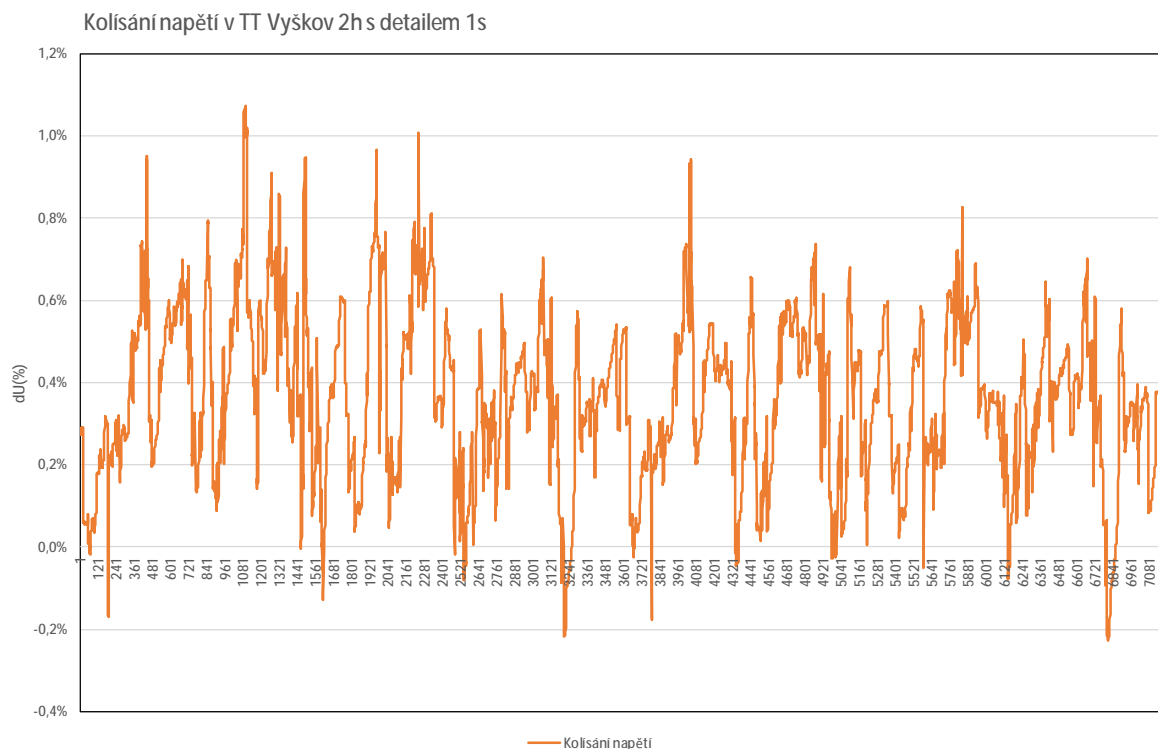
Název		Mezní odebíraný výkon									
		5 MVA	10 MVA	15 MVA	20 MVA	25 MVA	30 MVA	35 MVA	40 MVA	45 MVA	50 MVA
P _{fl} (·)	Říkovice	0,08	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17
	Otrokovice	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14
	Nedakonice	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23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

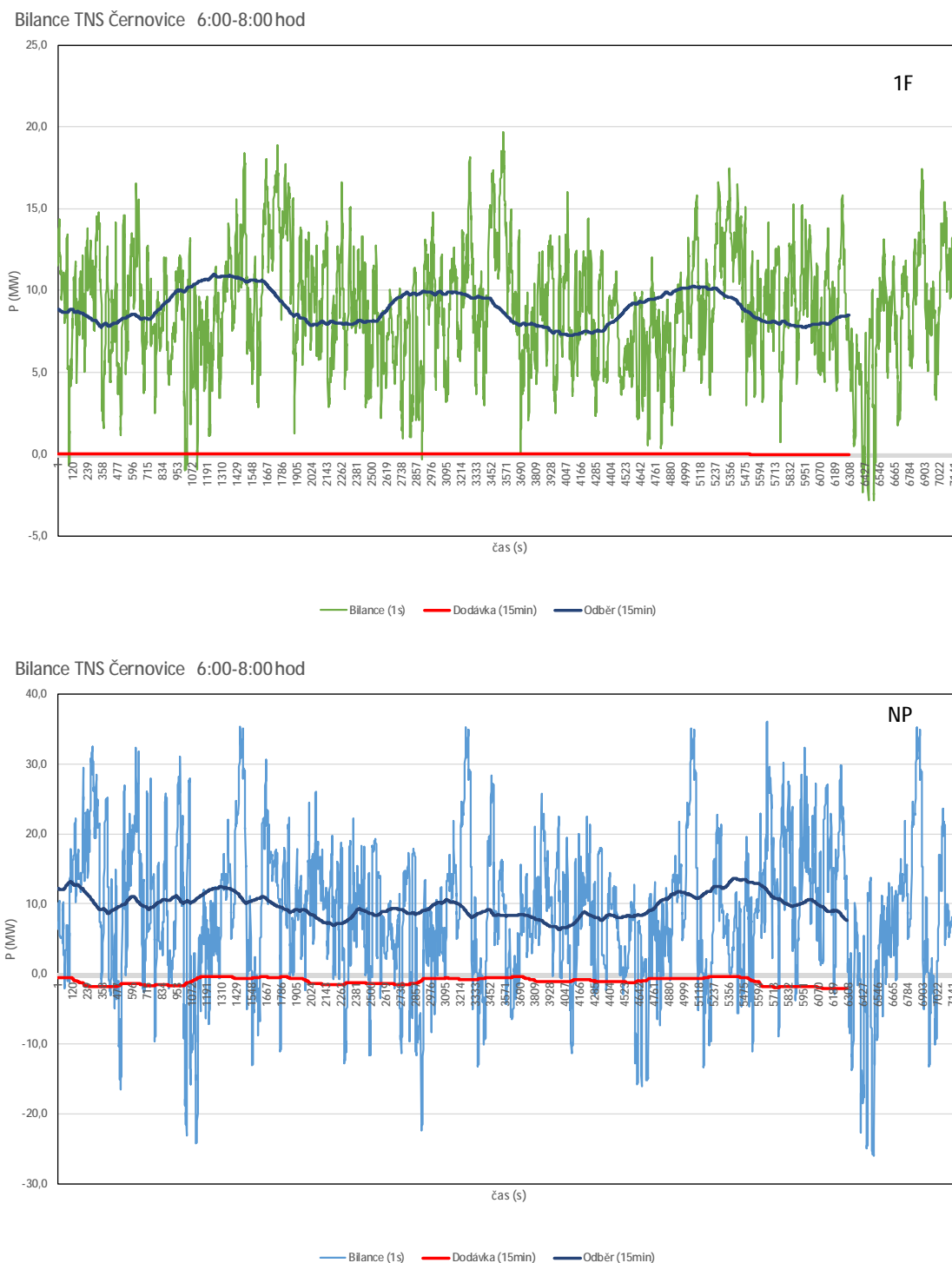
- Dodávka energie do DS během čtvrt hodiny nesmí překročit hodnotu 30 % energie odběru za tutéž čtvrt hodinu.
- Dodávka energie do DS během jednoho dne nesmí překročit hodnotu 5 % energie odběru za daný den.

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.

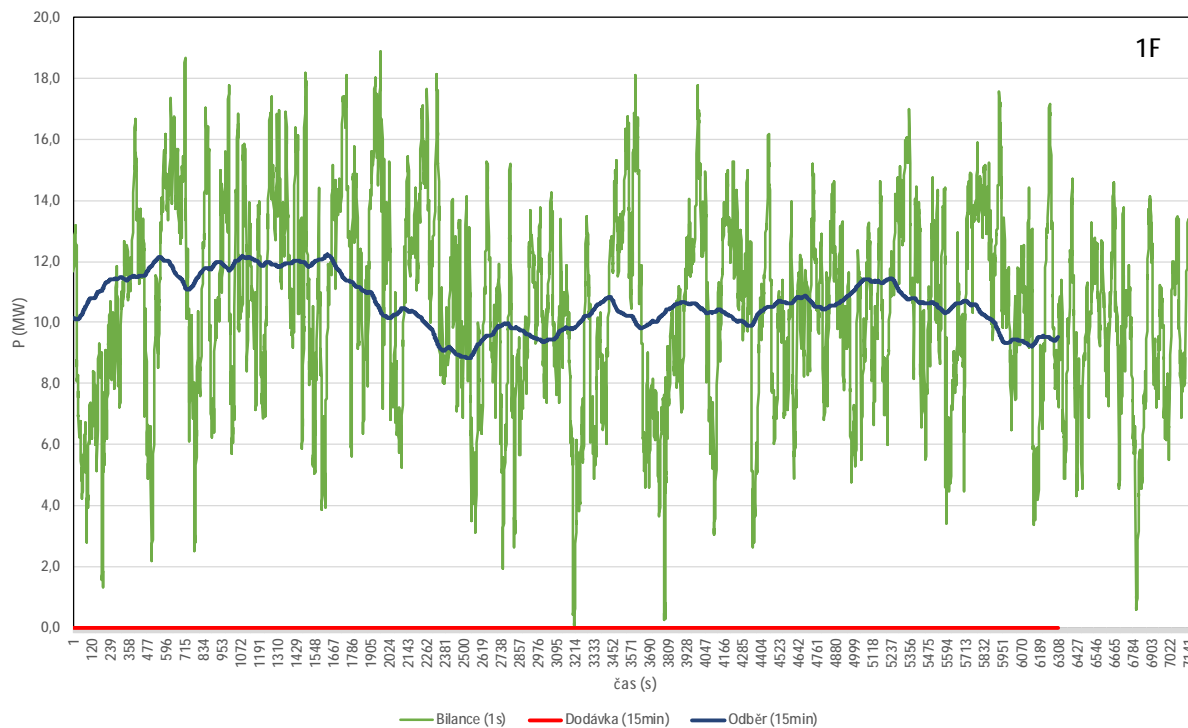
Hodnoty jsou pro neutrální pole a pro nepřímou jednotnou fázi. Z průběhů je patrné, že u systému nepřímé jednotné fáze nedochází prakticky k přetoku rekuperované energie do sítě. U systému s neutrálními poli sice nedochází k vysokým 15 min. hodnotám dodávky rekuperované energie, ale špičky dodávaného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

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

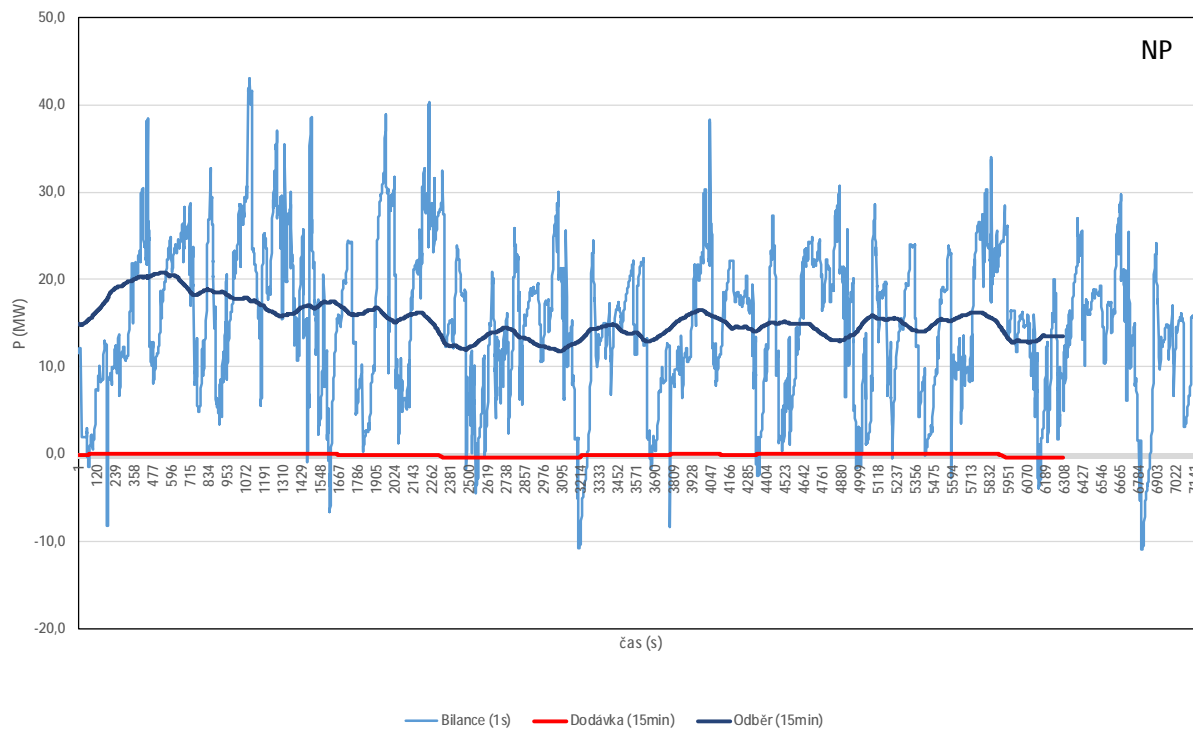


Obrázek 10.2 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Vyškov pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

Bilance TNS Vyškov 6:00-8:00 hod

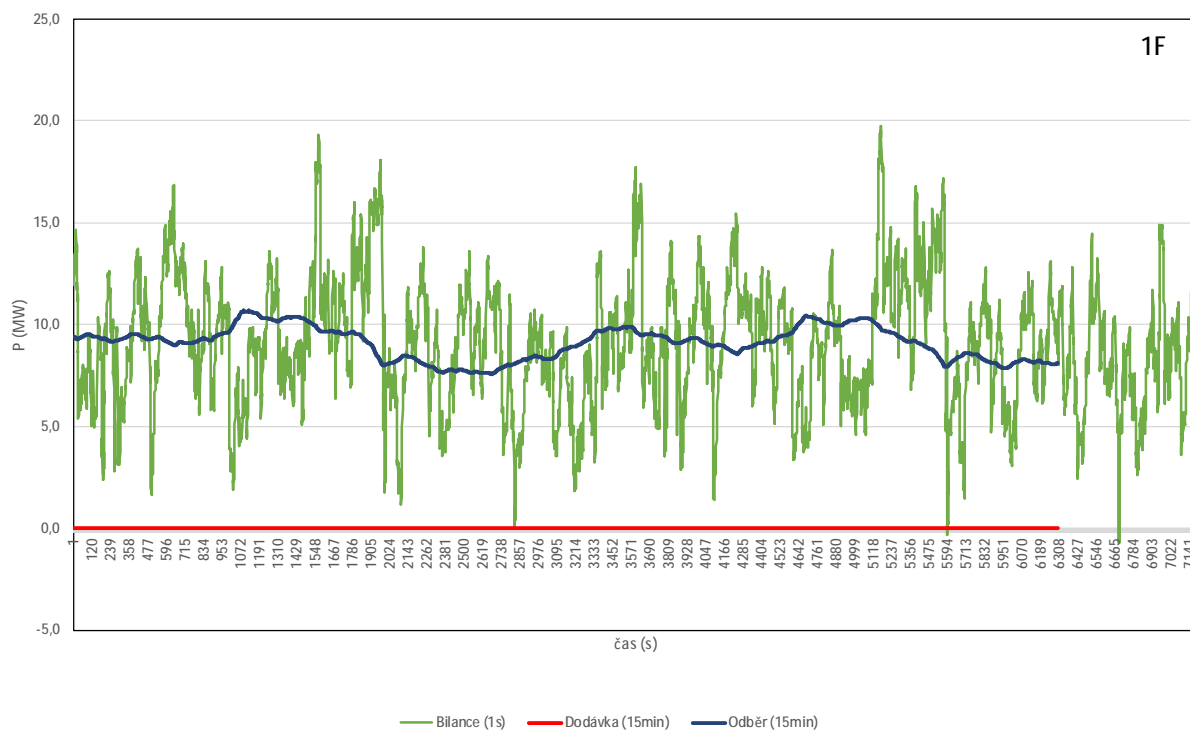


Bilance TNS Vyškov 6:00-8:00 hod

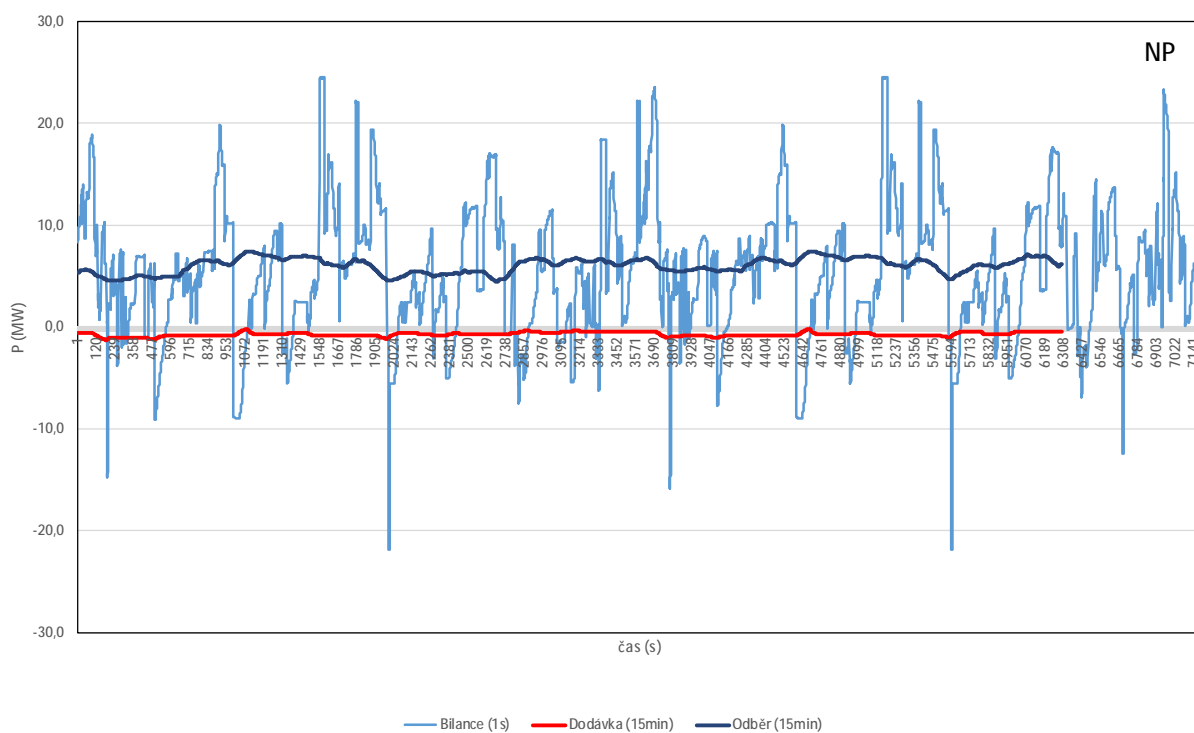


Obrázek 10.3 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Říkovice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

Bilance TNS Říkovice 6:00-8:00 hod

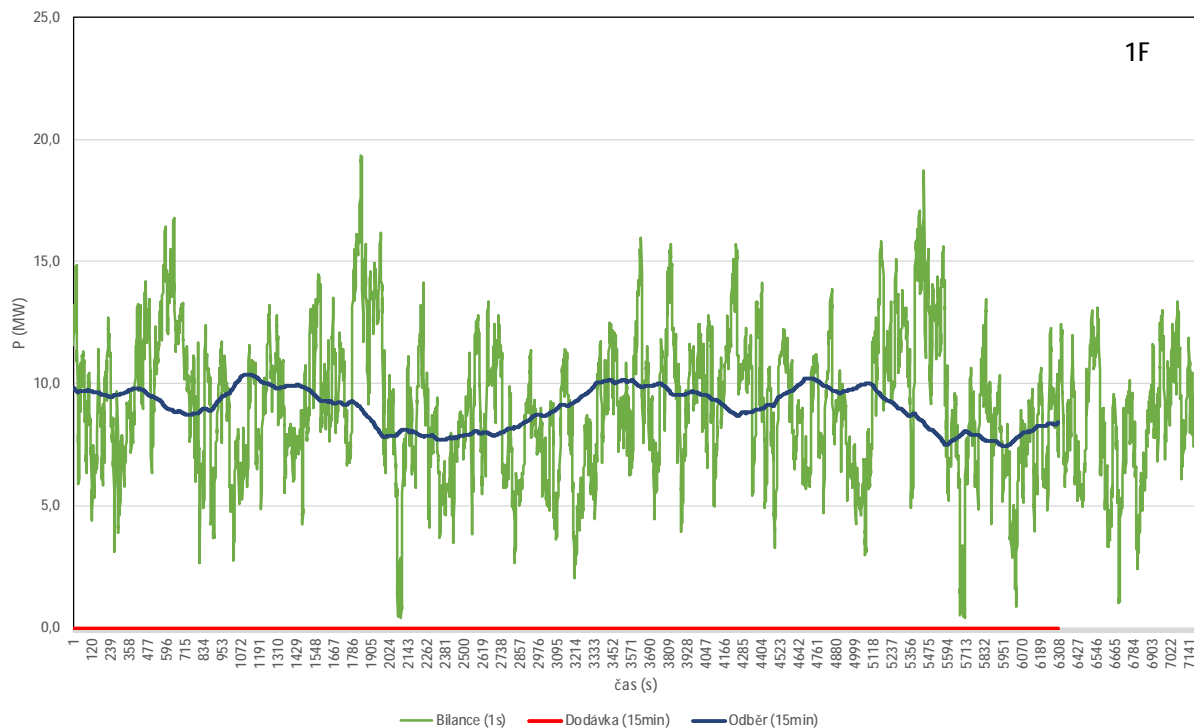


Bilance TNS Říkovice 6:00-8:00 hod

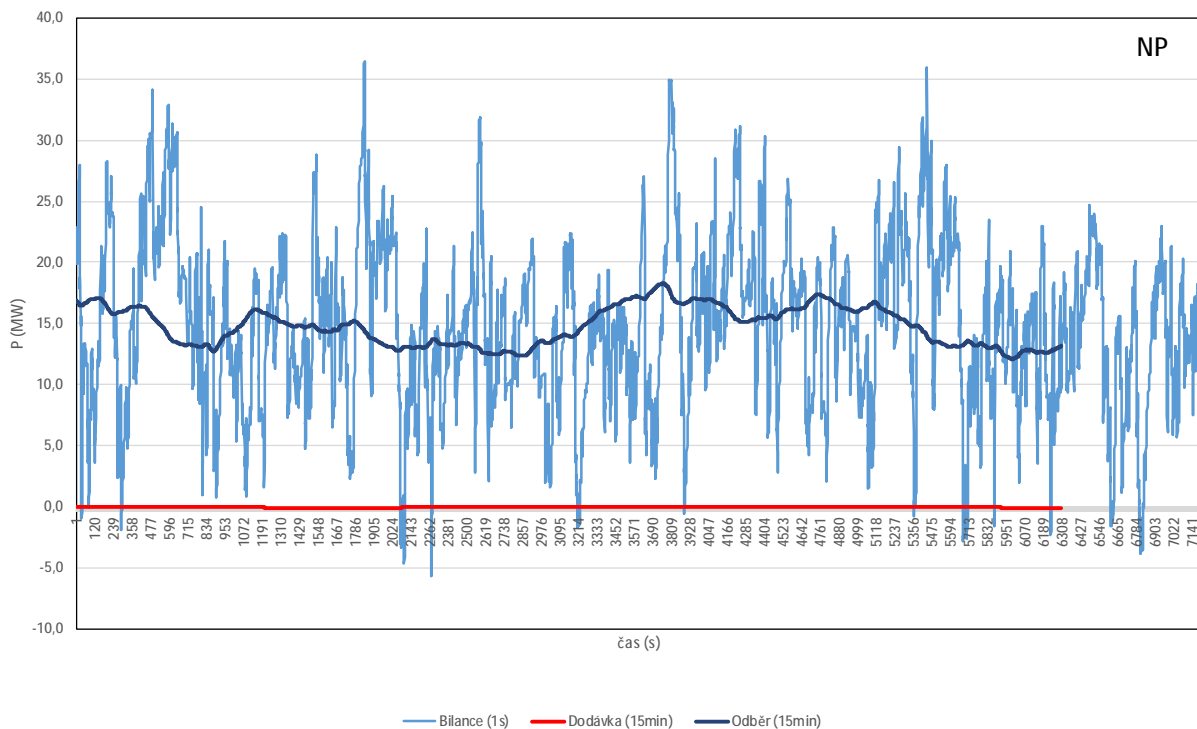


Obrázek 10.4 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Otrokovice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

Bilance TNS Otrokovice 6:00-8:00 hod

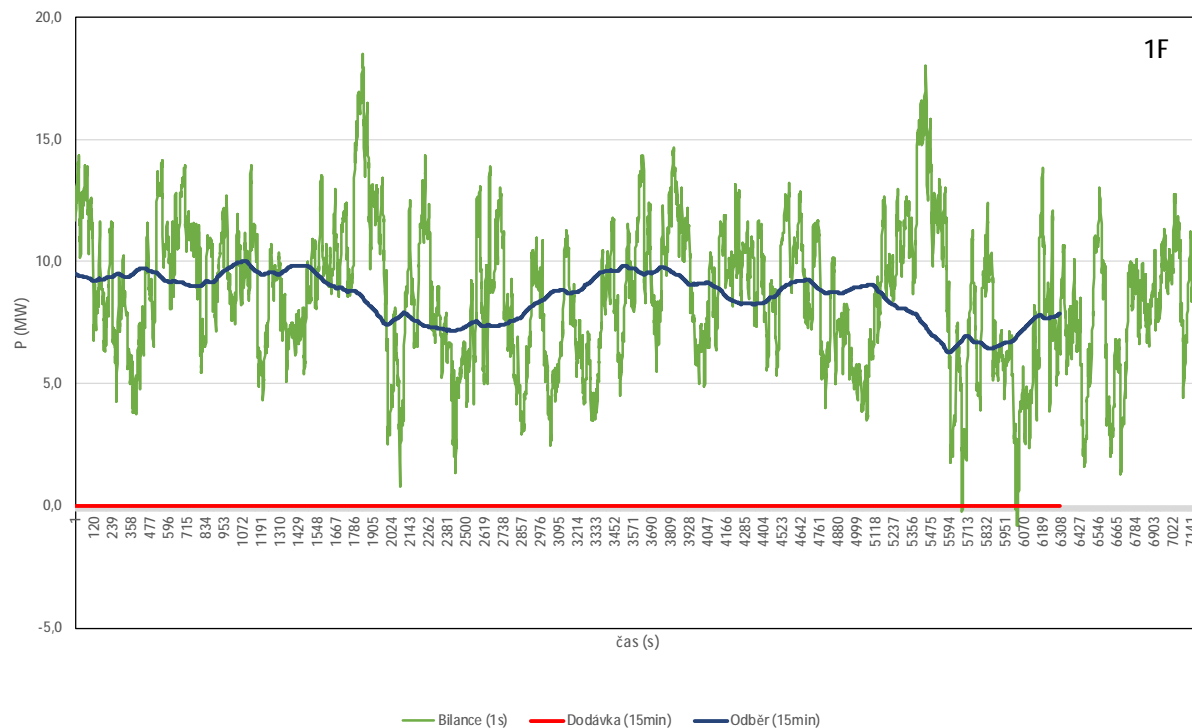


Bilance TNS Otrokovice 6:00-8:00 hod

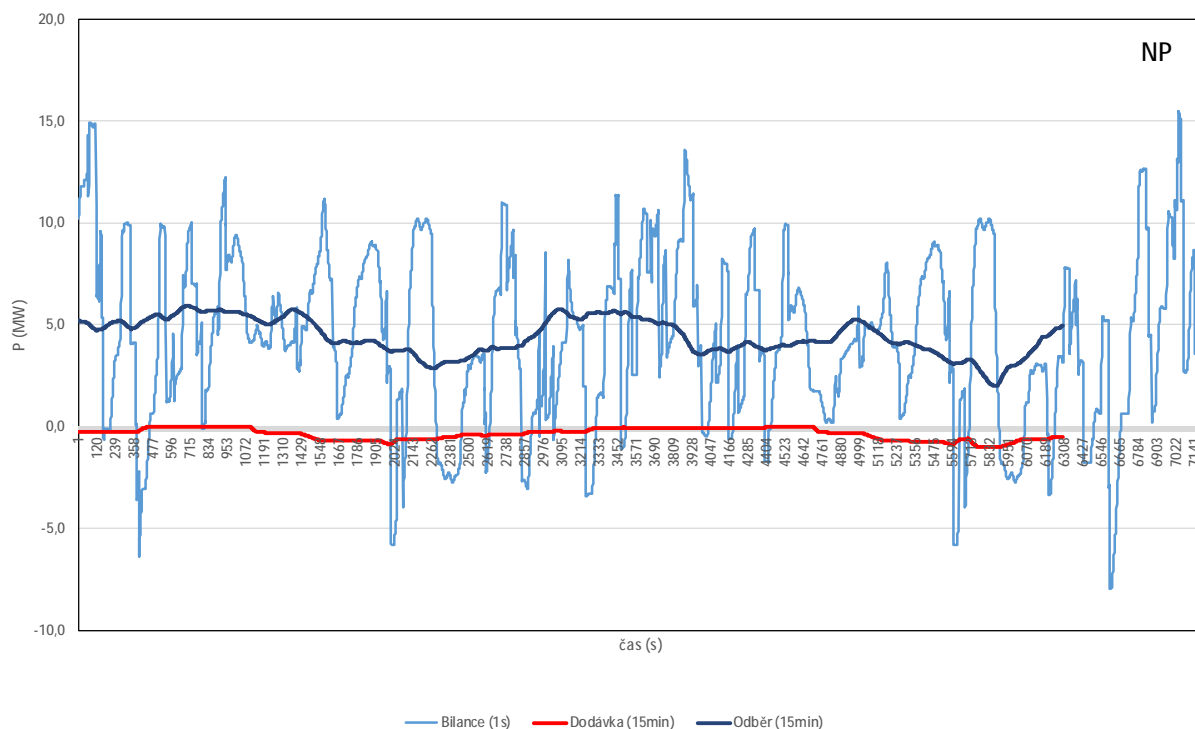


Obrázek 10.5 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Nedakonice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

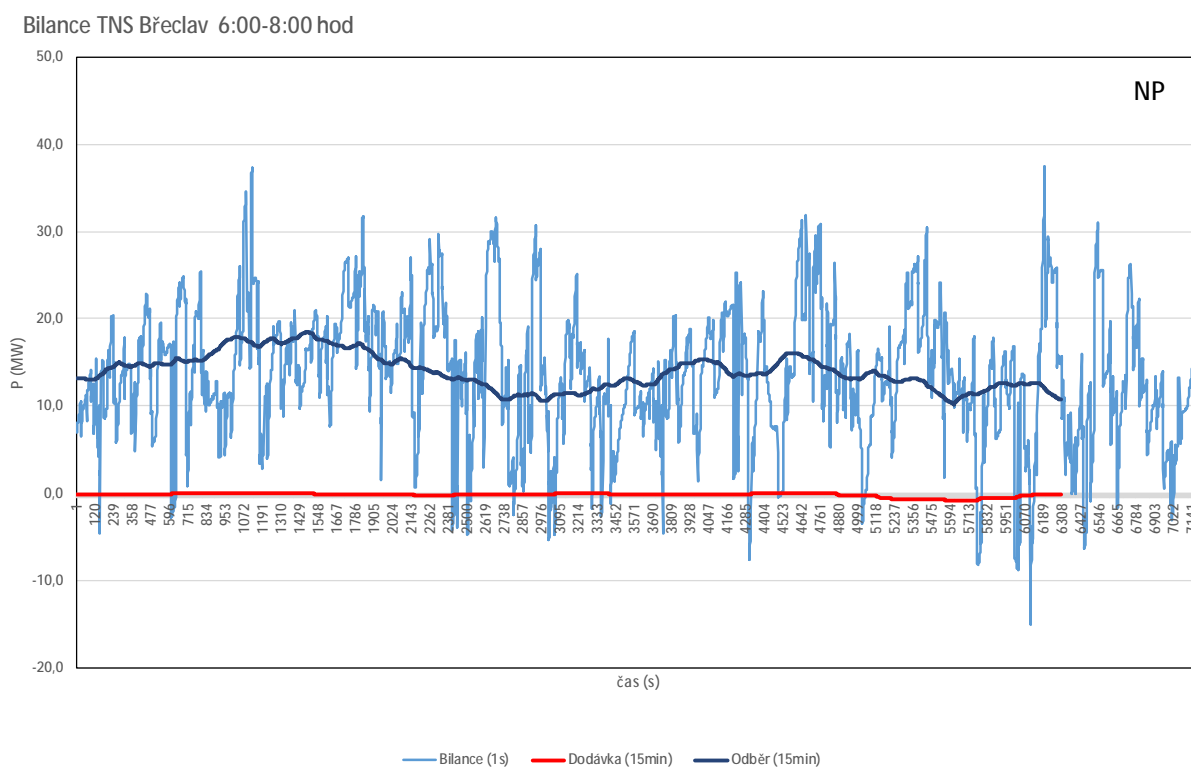
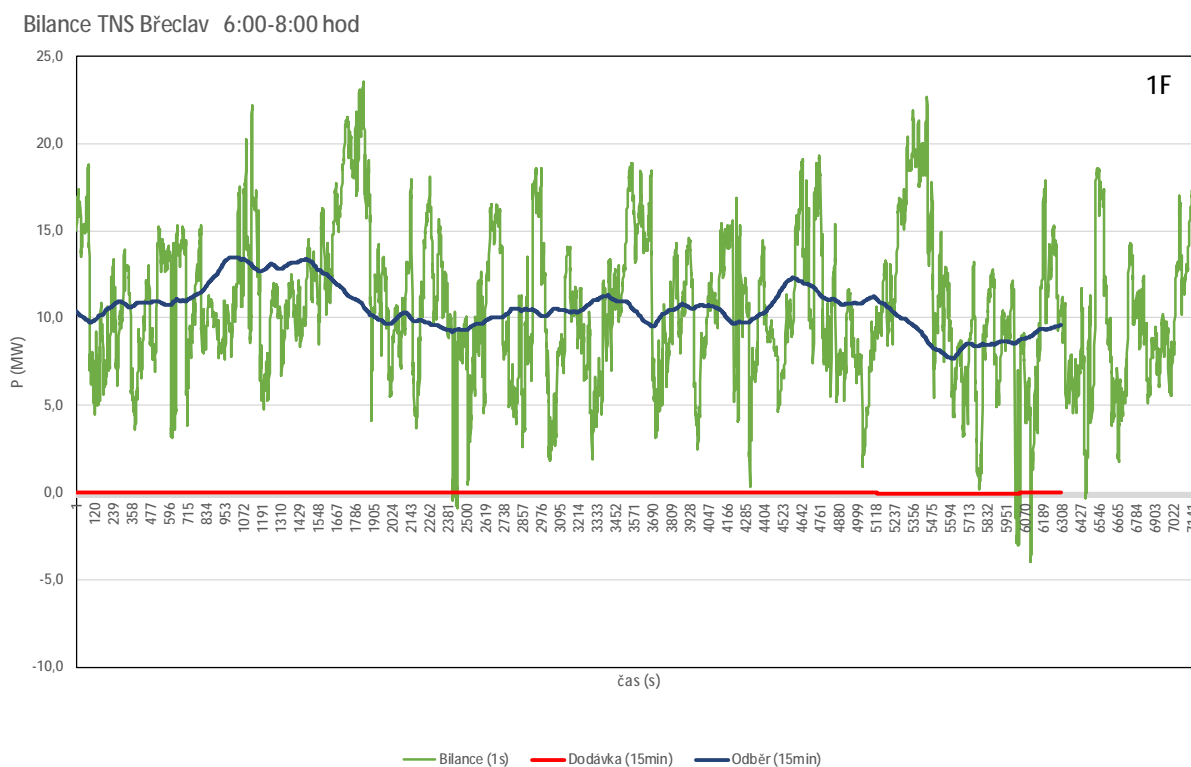
Bilance TNS Nedakonice 6:00-8:00 hod



Bilance TNS Nedakonice 6:00-8:00 hod

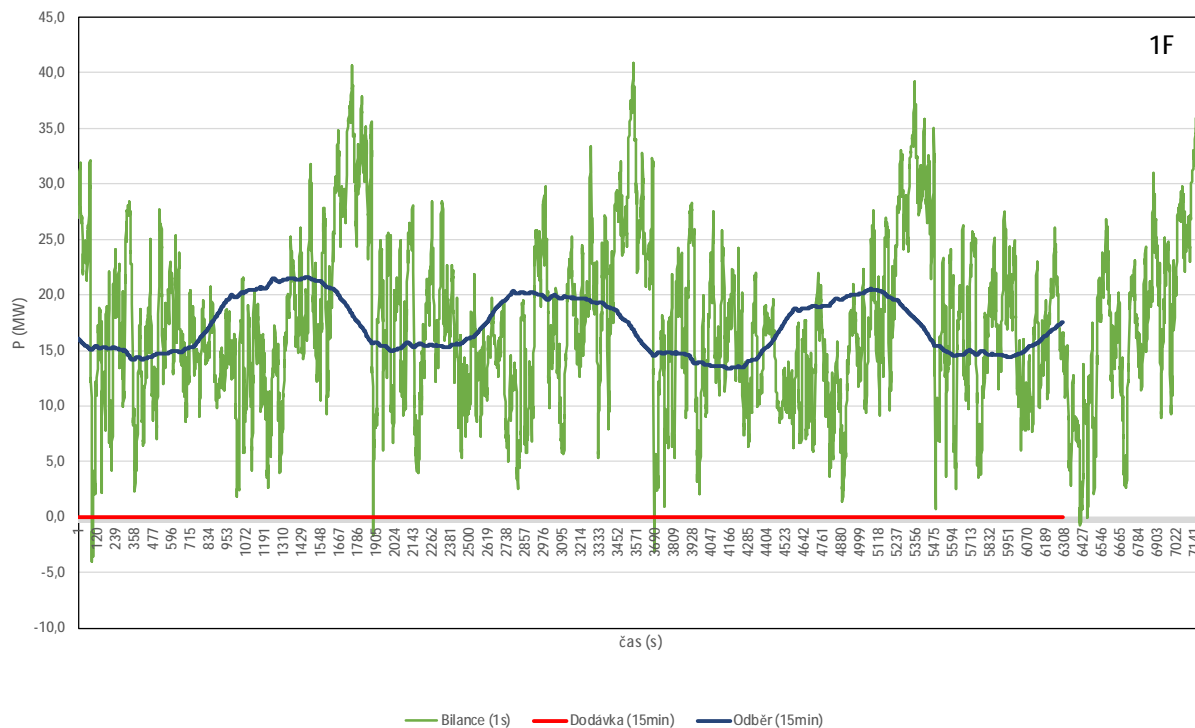


Obrázek 10.6 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Břeclav pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

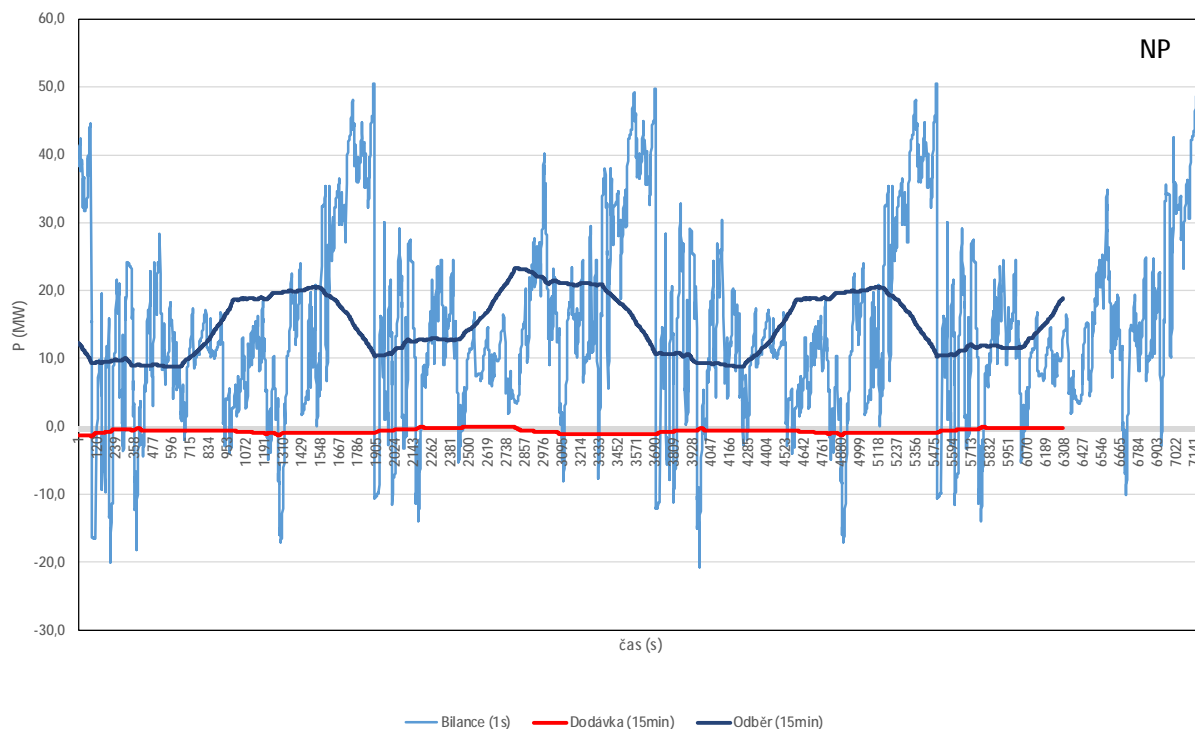


Obrázek 10.7 Porovnání průběhu odběru a dodávky v TNS Modřice pro jednotnou fázi (1F) a pro neutrální pole (NP)

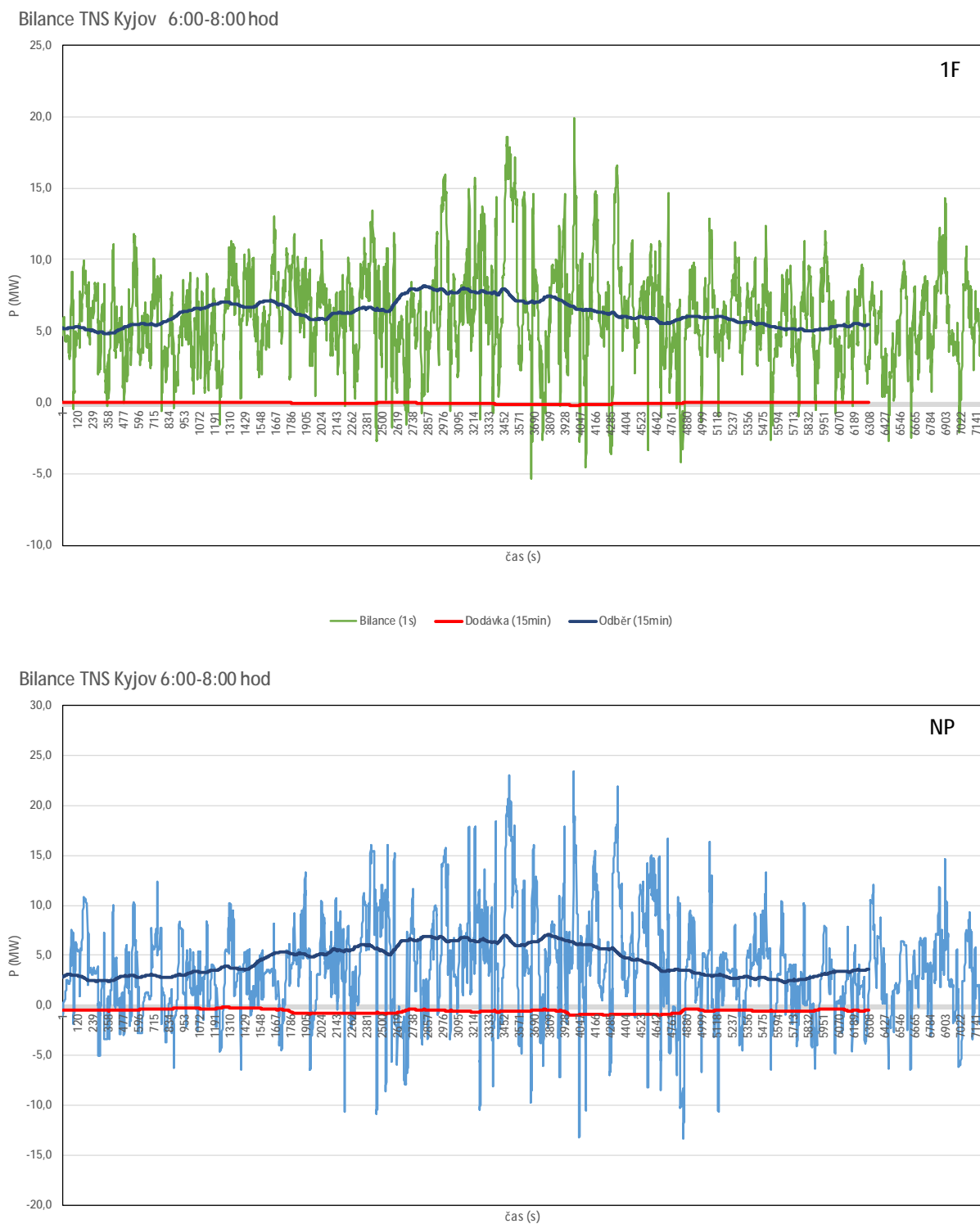
Bilance TNS Modřice 6:00-8:00 hod



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.egubрно.cz

Zápis

ze vstupní porady konané dne 10.8.2017 na SUDOP BRNO spol. s r.o., Kounicova 26

Předmětem

je jednání ohledně upřesnění zadání technicko-ekonomické studie z pohledu stanovení metodiky rozsahu provozu a kritérií kvality napájení.

„Změna trakční soustavy na AC 25kV, 50Hz v úseku Nedakonice - Říkovice“

Přítomni

viz. listina přítomných

Všeobecně

Předmětem výše uvedené akce je zpracování technicko-ekonomické studie řešící výběr nejvhodnější technologie napájení TV a napájecích bodů TNS v systému 25 kV, 50 Hz v podmínkách ČR. Předmětná studie je geograficky vymezena trojúhelníkem měst Brno - Přerov – Břeclav (včetně příčky tvořené spodní Vlárskou tratí – tedy tratě 250, 300, 330 a 340).

Jmenovaný traťový úsek Nedakonice – Říkovice v názvu studie je vnímán jako součást zmíněného trojúhelníku Brno - Přerov – Břeclav, neboť bude jeho součástí. Tedy ačkoliv úsek Nedakonice – Říkovice z důvodu navazující elektrizace Otrokovice - Vizovice časově předbíhá systémové řešení celého trojúhelníku Brno - Přerov – Břeclav, je nutno tato témata řešit společně.

Řešení vychází ze tří základních podkladů :

- Přípravná dokumentace Změna trakční soustavy na AC 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice – Říkovice (SUDOP BRNO pro SŽDC, s.o., SSV, 2016),
- Studie koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu ... (SUDOP Praha a SUDOP BRNO pro MD ČR, 2016 – schváleno CK MD ČR dne 20.12.2016,
- Studie prověření dopadu přechodu napájení trakce na 25 kV na distribuční soustavu ... (EGU Brno pro SUDOP BRNO, duben 2017)

Zároveň jsou respektována i další důležitá rozhodnutí:

- Usnesení vlády ČR č. 362/2015 Státní energetické koncepci (náhrada spotřeby nafty v dopravě elektřinou)
- Usnesení vlády ČR č. 978/2015 Národní plán snižování emisí (přesun 30 % nákladní dopravy ze silnic na železnice,
- Usnesení vlády ČR č. 389/2019 Program rozvoje rychlých železničních spojení v ČR (napájení tratí Rychlých spojení),
- Nařízení evropského parlamentu a rady č. 1315/2013 (rozvoj tratí sítě TEN-T včetně vysokorychlostních – jejich napájení)
- Nařízení evropského parlamentu a rady č. 1316/2013 (evropské nákladní železniční koridory FRC - zajištění elektrického napájení pro dopravu nákladních vlaků délky 740 m),

- Dopis č.j. 12486_2017_SŽDC_GŘ_026 ve věci výhledové elektrizace tratí (plus postupně schvalované SP jednotlivých elektrizačních projektů).

V dotyčné lokalitě dochází ke kumulaci všech výše uvedených aktivit:

- Změna systému napájení ze 3 kV na 25 kV v úseku Nedakonice - Říkovice
- Nová elektrizace tratí (již systémem 25 kV) Otrokovice – Vizovice, Kojetín – Hulín, Staré Město u Uherského Hradiště – Luhačovice / Bojkovice / Veselí nad Moravou a Brno – Veselí nad Moravou, Šakvice – Hustopeče, Hrušovany – Židlochovice
- Přestavba tratě Brno Přerov na rychlost 200 km/h (včetně druhé koleje a přesunu styku 25 kV /3 kV z Nezamyslic k Věžkám a k Blatci,
- Nová vysokorychlostní trať Brno – Vranovice (- Břeclav),
- Upgrade napájení 25 kV na tratích 1. a 2. tranzitního železničního koridoru v souladu s požadavky TSI ENE, ČSN EN 50 388 a potřebných parametrů FRC koridorů.

Zároveň dochází k zásadní proměně parku vozidel – původní vozidla z let z šedesátých až devadesátých let minulého století postupně dožívají a jsou nahrazována soudobými moderními interoperabilními vozidly:

- Růst jmenovitého trakčního výkonu z tradičních 3 MW respektive 4 MW na 6,4 MW,
- Vybavení vozidel rekuperační brzdou o výkonu přibližně shodným s výkonem trakčním, přičemž pro střídavé napájení již vozidla standardně nejsou vybavována brzdovými odporůky, rekuperovaný výkon je z nich nutno odebrat a předat přes trakční vedení jiným vozidlům a případný přebytek do 3fázové AC distribuční sítě,
- Vozidla o výkonu vyšším než 2 MW jsou podle TSI LOC&PAS povinně vybavována zařízením pro automatické radikální snižování výkonu při poklesu napětí pod 90 % jmenovité hodnoty (tedy pod 22,5 kV). Toto snížení výkonu je velmi prudké, při napětí 19 kV klesá trakční výkon hnacího vozidla na pouhých 23 % jmenovité hodnoty. Takový propad by pochopitelně měl velmi negativní dopad na dodržení jízdních dob, které vlaku předepisuje jízdní řád stanovený SŽDC a které je dopravce (strojvedoucí) povinen respektovat, tedy je mu k tomu nutné zajistit podmínky v podobě kvalitního napájení. Tato skutečnost základním způsobem omezuje praktickou využitelnost záporných tolerancí napájecího napětí na sběrači vozidla uváděných v ČSN EN 50 163 při projektování a provozu elektrických drah – kritérium dodržení jízdního řádu je jim nadřazeno,
- Vybavení vozidel vstupními čtyřkvadrantovými měniči zajišťujícím odběr (respektive dodávání) jen činného výkonu a to sinusového tvaru, zatímco původní vozidla odebírala velmi vydatně i jalový výkon a proud byl nesinusový s vysokým obsahem vyšších harmonických složek. Filtrační a kompenzační zařízení (FKZ), dodatečně vybudovaná v trakčních napájecích stanicích, nezbytná pro provoz starších vozidel s nízkým účínkem a vysokým obsahem vyšších harmonických složek, byla systémově navržena, typově vyzkoušena a schválena pro vozidla s diodovými respektive tyristorovými usměrňovači, která je potřebují. FKZ nebyla řešena pro napájení vozidel se vstupními čtyřkvadrantovými měniči, neboť ta v době jejich vzniku v ČR nebyla. Po příchodu nových vozidel se čtyřkvadrantovými měniči došlo k několika závažným poruchám (požárům) FKZ, pravděpodobně v důsledku

rezonančních jevů. Aktuálně je stav takový, že na tratích SŽDC jsou provozována jak vozidla, jejichž odběr proudu je pro splnění podmínek distribuční sítě potřebné pomocí FKZ filtrovat a kompenzovat (a zařízení FKZ nepoškozují) a vozidla, jejichž odběr proudu není pro splnění podmínek distribuční sítě potřebné pomocí FKZ filtrovat a kompenzovat (a zařízení FKZ mohou poškodit),

- Z mnoha důvodů se jeví pro provoz stále větší komplikací vypínání proudu při přejíždění neutrálního pole v trakčním vedení v místě střídání fází. Ta jsou při dosud používané technologii jednofázových transformátorů zapojených do V situována jak u každé trakční napájecí stanice 25 kV (trakční transformovny), tak uprostřed mezi nimi. To je v dotyčné lokalitě (vzdálenost Modřice – Břeclav: 52 km, vzdálenost Nedakonice – Břeclav: 48 km) v průměru po ujetí 25 km. Při aplikaci této technologie i v nynějších trakčních napájecích stanicích 3 kV (trakčních měničnách) po jejich konverzi na 25 kV, které jsou situovány blíže sebe (Říkovice – Otrokovice: 20 km, Otrokovice – Nedakonice: 24 km), by to dokonce bylo pouhých 11 km. V místech střídání fází přikazuje návěst strojvedoucímu vypnout a následně další návěst znovu zapnout proud (neutrální pole je nutno přejíždět bez odběru proudu, aby nedošlo k vytažení oblouku s následkem mezifázového zkratu. Vypínání proudu způsobuje stále větší problémy:
 - při rychlosti 100 km/h (Brno – Přerov) a 120 km/h (původně Brno – Břeclav a Přerov - Břeclav) překonal vlak střední vzdálenost mezi místy vypnutí proudu 25 km za 15 respektive 12,5 min, nyní při rychlosti 160 km/h je to již jen za 9,4 min a perspektivně při rychlosti 200 km/h (Brno – Přerov, následně i Brno – Břeclav) za pouhých 7,5 min,
 - po vypnutí proudu dochází k přerušení tažné síly, což má vliv na rozjezd vlaku
 - elektrodynamické brzdění je nutno vypnout a nahradit jej brzděním třecími brzdami, což znamená nevratnou ztrátu energie a zbytečné tepelné namáhání a opotřebení brzd,
 - nastává zbytečné opotřebení spínacích přístrojů,
 - přerušuje se činnost pomocných zařízení na trakčních vozidlech (ventilátory, kompresory, čerpadla) a přímé napájení palubních sítí (energii pro ně dodává po dobu přerušení akumulátorová baterie, která je tímto namáhána),
 - přerušuje se ventilace, vytápění a chlazení (klimatizace) interiérů vozidel pro přepravu cestujících s velmi negativním dopadem zejména na chod chladicích zařízení (přerušení režimu odpařování chladiva – riziko vniknutí nestlačitelné kapalné fáze do kompresoru, opakované těžké rozběhy kompresoru),
 - přerušuje se přímé napájení osvětlovacích těles interiérů železničních vozidel (energii pro ně dodává po dobu přerušení akumulátorová baterie, která je tímto namáhána),
 - periodicky přerušované napájení jídelních vozů zásadním způsobem komplikuje zajišťování cateringu,
 - rázy výkonu (jednofázový odběr 8 MW/0/8 MW, jednofázová dodávka 6 MW/0/6 MW) nepůsobí příznivě na 3fázovou AC distribuční síť (flikr),

- závislost na chybě lidského činitele - působí riziko, že strojvedoucí návště nepostřehne či neuposlechne a proud nevypne. Důsledky mezifázového zkratu mohou poškodit trakční vedení i vozidla,
- významný a silný odpor dopravců. V nedávné minulosti bylo nutno kolem každé TNS 3kVDC projíždět se staženým sběračem, což bylo předmětem kritiky. Proto byla na systému 3kVDC v minulých letech přijata řada opatření k zajištění spojitého napájení (vazba napáječových rychlovypínačů), cíl spojitého napájení se podařilo naplnit. Pokud by došlo po konverzi systému 3kVDC na 25kVAC k porušení spojitosti napájení vlaků, bylo by to velmi intenzivně (a oprávněně) kritizováno ze strany ČD, ČD C i dalších dopravců.

1. Upřesnění zadání

S ohledem na rozsah řešeného tématu zpracoval řešitel dokument „upřesnění zadání“ (viz příloha), ve kterém v 13 bodech definoval vstupní podmínky a požadavky na napájení a tento předložil zadavateli a dalším partnerům k diskuzi a odsouhlasení. Nejde o jednoduché téma, ale správné a úplné definování požadavků je výchozím bodem k technicky i ekonomicky úspěšnému řešení.

2. Dimenzování

Základem pro dimenzování budoucích trakčních napájecích stanic jsou simulační výpočty výhledové vlakové dopravy, prováděné v SUDOP BRNO programu Open Power Net. Určujícím parametrem jsou budoucí jízdní řády. Určující nejsou střední (denní) přepravní proudy, ale shluky vlaků a to jak ve špičce osobní přepravy (maximální hodina osobní dopravy), tak po jejím odeznění (maximální hodina nákladní dopravy). Dominantní vliv mají hmotnost vlaku, nejvyšší dovolená rychlost vlaku, výkon trakčních vozidel i vedlejší spotřeby a interval mezi vlaky.

Kromě výkonu odebíraného k pohonu vozidel je uvažována i vedlejší spotřeba vozidel (například vytápění) a stacionární spotřeba (například elektrický ohřev výměn).

Materiály k vytvářené simulaci dopravního zatížení byly zaslány k odsouhlasení a případným připomínkám na SŽDC, s.o., GŘ, Odbor strategie (26) na Ing. Jiřího Michalicu a byly následně odsouhlaseny.

Energetické výpočty

- Energetické výpočty budou zpracovány formou simulace za pomoci softwaru OpenTrack a OpenPowerNet.
- V každé variantě bude simulována dvouhodinová dopravní špička, která je uvedena v příloženém grafikonu (od 6.00 do 8.00) a to i při výpadku jedno prvku v napájení (redundance n-1).
- Varianta bude hodnocena jako vyhovující, pokud budou splněny všechny tyto podmínky:
 - Při základním stavu napájení budou dodrženy požadavky TSI ENE. A to hlavně, že minimální napětí v trolejovém vedení neklesne pod 19kV a střední

užitečné napětí neklesne pod 22kV u tratí s maximální rychlostí do 200km/h včetně a pod 22,5kV u tratí s maximální rychlostí nad 200km/h (Brno-Vranovice).

- Při výpadku jednoho prvku v napájecí stanici bude dodržen jízdní řád, což znamená, že napájení nebude omezující a nedojde ani ke krátkodobému výpadku napájení vlivem poklesu napětí v troleji pod 19kV či kvůli zareagování nadproudové ochrany v napájecí stanici.
- Napájecí stanice musí být schopna dodat potřebný výkon při základním stavu napájení i při výpadku jednoho prvku v síti.
- Tratě menšího významu, které nejsou v simulaci namodelovány, ale mají vliv na výkon napájecích stanic, budou do simulace zahrnuty jako spotřebič se středním výkonem určeným na základě již zpracovaných projektů, skutečného stavu či odborného odhadu.
- Do simulace budou zahrnuty i plánované odběry z trakčního vedení pro napájení například EPZ a EOv. Výkony těchto zařízení budou do simulace dány na základě již zpracovaných projektů, skutečného stavu či odborného odhadu. V simulaci nebudou zahrnuty malé odběry, které na výsledky mají minimální vliv.

3. Technické řešení napájení

Základním výstupem studie bude multikriteriální srovnání tří různých způsobů napájení:

- a) Jednofázové transformátory zapojené do V bez FKZ,
- b) Jednofázové transformátory zapojené do V s FKZ,
- c) Aktivní balancery
- d) Měniče 3AC / DC / 1 AC

Základní kritéria hodnocení:

- Kvalita napájení vlaků (spojitost napájení, stabilita napětí, plnohodnotná rekuperace, kompatibilita s moderními vozidly – vysoký výkon, čtyřkvadrantové měniče, vysoký účinník, sinusový proud i se staršími vozidly – diodové/tyristorové usměrňovače, nízký účinník, nesinusový proud, ...),
- Splnění podmínek železniční dopravní cesty (redundance, kompatibilita s kolejovými obvody železničních zabezpečovacích zařízení podle ČSN 34 2613, příznivý poměr mezi středním a maximálním výkonem odebíraným z DS, prioritní absorpce rekuperovaného výkonu v trakční síti, jednoduchost trakčního vedení, podpora zimního provozu režimem rozmrazování trakčního vedení, ...)
- Splnění podmínek pro připojení k distribuční síti 3AC 110 kV 50 Hz (účinník, vyšší harmonické, symetrie, flickr, povolení rekuperace, EMC, HDO, přetoky,...),
- Náročnost řešení (proveditelnost, cena, ...)

4. Stálost napětí

Ustanovení TSI ENE a ČSN 50 388 a zejména požadavky na dodržení jízdního řádu (viz též Nařízení EU č. 1316/2013 – garantované trasy pro nákladní vlaky na RFC koridorech) kladou na stálost napětí v trakčním vedení mnohem přísnější požadavky, než jak vyplývá ze spodních mezí uvedených ČSN EN 50 163. Avšak ČSN EN 50 163 omezuje horní meze napětí u systému 25kVAC do mnohem užších tolerancí, než jak je tomu u systému 3kVDC (důvodem je předejít přesycování jader vozidlových transformátorů). To v kombinaci s dalšími vlivy (tolerance napětí v 3fázové AC distribuční síti, mimo jiné rozkolísané nepredikovatelnou činností solárních elektráren) vytváří dosti zúžené podmínky pro provoz pevných trakčních zařízení 25kVAC. Řešením je orientace jak na zvyšování (stabilizaci) výstupního napětí trakčních napájecích stanic (polovodičové měniče), tak na minimalizaci úbytků v trakčním vedení (dvoustranné napájení, částečné snížení indukčnosti vedení zemním lanem, ...).

Aplikace měničové techniky v trakčních napájecích stanicích umožňuje využít ke stabilizaci napětí v trakčním vedení (které je nutné pro splnění kvality napájení a tím k zabránění poklesu výkonu trakčních vozidel, a rovněž i k narušení jízdního řádu) jak udržování stálého (nesníženého) napětí na výstupu TNS, tak i snížení úbytků napětí v trakčním vedení jeho dvoustranným napájením ze sousedních TNS, neboť nehrozí možnost vzniku přetoků vyrovnávacích proudů mezi různými přípojnými body k DS).

Naopak při aplikaci přímého napájení trakčního vedení z transformátorů dochází jak k výraznému snížení napětí na výstupu trakční napájecí stanice v závislosti na odběru proudu (důsledek úbytku napětí na vinutí transformátoru a na impedanci DS), tak i k velkým úbytkům napětí na trakčním vedení v důsledku nutnosti používat jednostranné napájení (nemožnost paralelního chodu sousedních TNS z důvodu možných přetoků vyrovnávacích proudů mezi různými přípojnými body k DS).

5. Parametry vedení

Pro vyšetřování napěťových poměrů v síti, zatížení napájecích stanic a další výpočty jsou podstatným vstupem impedanční parametry trakčního vedení. Ty je možno:

- a) převzít z předpisu SR 34,
- b) vypočítat podle geometrických a materiálových parametrů trakčního vedení.

Po zkušenostech s vývojem hodnot stejnosměrného odporu kolejnic (vliv legování oceli) se ukazuje velmi rozumné validovat před desítkami let stanovené impedance trakčního vedení novým měřením aktuálního stavu.

Ohledně měření zpětné trakční cesty byla oslovena TÚDC, která měla zpětnou trakční cestu na DC trakci. Na základě jejich vyjádření bylo konstatováno, že ve lhůtě zpracování této studie nelze toto měření zpětné trakční cesty na AC trakci bohužel zajistit. Dle vyjádření TÚDC nezpůsobí skinefekt ve střídavém obvodu zásadní navýšení impedance a svodové admitance koleje. Proto bylo na dnešní poradě rozhodnuto, že pro tuto studii budou použity hodnoty naměřené při měření zpětné trakční cesty na DC trakci.

Pro výpočty v rámci této studie budou použity hodnoty elektrického odporu kolejnic uvedené ve vyjádření SŽDC, s.o., zn. 21480/2017-SŽDC-O14.

6. Kritéria dodržení jízdního řádu

Základním principem je, že subsystém ENE nemá omezovat výkonnost a kvalitu železniční dopravní cesty (subsystémů INS a CCS) ani vozidel (subsystém RST), a to ani v případě poruchy jedné své komponenty (princip N – 1). V případech, kdy by dodržení těchto zásad vedlo k příliš vysokým nákladům, je na to potřeba upozornit zadavatele, aby rozhodl o případné výjimce z této zásady a to po posouzení především z hlediska dodržení propustnosti tratě a jízdního řádu. Přitom případné prodloužení intervalu (následného mezidobí) mezi vlaky či jízdní doby vlku by nemělo být řešeno pokynem, ale jako prostý důsledek automatického snížení výkonu vozidla v reakci na pokles napětí na jeho sběrači (viz automatické snižování výkonu podle TSI LOC&PAS, respektive ČSN EN 50 388, účinkující podle aktuální úrovně napětí).

7. Připojení trakčních napájecích stanic k distribuční síti

Toto téma (nesymetrie, přetoky, rekuperace, flickr, tolerance napětí v 3fázové AC DS, generování jalového výkonu, ...) bude projednáno na zvláštní schůzce s EGU, EON, ČEZ a dalšími partnery, kterou dohodne SUDOP BRNO.

Příloha**Napájení železničních tratí, perspektivně elektrizovaných systémem 25 kV 50 Hz, v trojúhelníku Brno – Přerov – Břeclav****Upřesnění zadání**

1) Napájené tratě (současné i modernizované):

- Brno – Přerov, 200 km/h, 2 koleje, ETCS,
- Brno – Blažovice, stávající trať
- Brno – Vranovice, 350 km/h, 2 koleje
- Břeclav – Přerov, 160 km/h, 2 koleje,
- Popice – Brno, 160 km/h, 2 koleje
- Břeclav – Popice, 200km/h, 2 koleje
- Kojetín – Hulín, 1 kolej,
- Otrokovice – Zlín – Vizovice, 2 koleje/1 kolej
- Blažovice – Veselí nad Moravou, 2 koleje, ETCS
- Šakvice – Hustopeče u Brna, 1 kolej,
- Hrušovany u Brna – Židlochovice, 1 kolej,

2) Rozsah provozu (v letech 2020 až 2050)

S ohledem na předpokládanou životnost pevných trakčních zařízení 30 let je systém jako celek i jeho jednotlivé části dimenzovat tak, aby v cílovém stavu pokryl požadavky provozu v roce 2050 bez dodatečného posilování nad rámec tohoto návrhu (může však být budován po etapách).

Na jednotlivých tratích je definována hodina maximální intenzity provozu (taktový jízdní řád):

- Interval mezi vlaky kategorií Ex, R, Os, NEx, Pn,
- Hmotnosti vlaků jednotlivých kategorií,
- Rychlosti vlaků jednotlivých kategorií,
- Výkony trakčních vozidel vlaků jednotlivých kategorií a výkony vedlejší spotřeby
- Dopravní špička zahrnuje špičkovou osobní dopravu doplněnou o vložené nákladní vlaky

3) Kritéria kvality napájení při provozním stavu

Kvalita napájení při provozním stavu musí splnit požadavky TSI ENE, TSI LOC&PAS a EN 50 388 a to zejména:

- systém musí být schopen odebrat vozidly rekuperovanou elektrickou energii a plně ji využít buď v rámci trakční sítě (což je prioritou), nebo ji odevzdat do distribuční sítě 3 x 110 kV. Rekuperační brzdění vozidel nebude omezováno, není požadavek na vybavení vozidel brzdovými odporníky.
- Musí být splněny požadavky uvedené v bodě 2. Dimenzování

4) Kritéria kvality napájení při poruchovém stavu subsystému ENE (výpadek jedné TNS nebo části jedné TNS)

Musí být splněn princip N – 1: odstavení jakéhokoliv jednoho zařízení (porucha, údržba) nesmí způsobit omezení výkonnosti systému napájení dráhy. Kvalita nesmí být snížena (platí požadavky bodu 4).

Při vzniku další definované poruchy (N – 2) musí též být zajištěno napájení dráhy, ale může dojít ke snížení kvality vůči požadavkům bodu 4. Je preferováno automatické snižování odběru vozidel (a v důsledku toho i rychlosti jízdy vlaků) cestou snížení napájecího napětí (v kombinaci s automatickou redukcí výkonu trakčních vozidel) před provozně-administrativním opatřením (dispečerské řízení sledu jízdy vlaků v prodloužených následných mezidobích).

Princip automatického prodloužování následných mezidobí (solidarita vozidel s pevnými trakčními zařízeními) je následující: vysoké proudové zatížení pevných trakčních zařízení vede k poklesu napětí na sběrači vozidla. Při poklesu napětí na sběrači vozidla pod 90 % jmenovité hodnoty dochází (u nových vozidel o výkonu nad 2 MW řešených podle TSI LOC&PAS a ČSN EN 50 388) k automatickému snižování trakčního výkonu vozidla s důsledkem poklesu rychlosti jízdy vlaku – vozidla vycházejí snížením výkonu vstříc přetíženému napájení.

5) Požadavek na vnitřní redundanci,

- zajistit napájení při poruše jedné části TNS

6) Požadavek na vnější redundanci,

- zajistit napájení (spolu s dalšími TNS) při poruše sousední TNS

7) Kritéria ze strany distribuční soustavy 110 kV

- dvě nezávislá připojení k DS,
- schopnost pracovat při kolísání amplitudy napětí i úhlu napětí v DS 3 x 110 kV,
- symetrické zatěžování všech tří fází při odběru,
- symetrické napájení všech tří fází při rekuperaci nadbytečné energie z trakčního vedení do distribuční soustavy,
- povolená nesymetrie 0,7 % zkratového výkonu (v čase 10 minut),
- splnit požadovaný účinník,
- nepřekročit požadovaný obsah vyšších harmonických složek,
- nerušit HDO,
- zamezit vzniku vyrovnávacích proudů mezi přípojnými body 110 kV,
- nepřekročit limit sjednaného 15 minutového výkonu.

8) Kritéria ze strany dopravního provozu,

- zajistit potřebnou kvalitu napájení (viz bod 4),
- zajistit co nejvíce spojitě napájení (minimalizace počtu míst, která je nutno projíždět se staženým sběračem nebo s vypnutým proudem),
- vytvářet velké celky s možností uplatnění rekuperace v trakční síti a s vyrovnáním odběru (poměr maxima a střední hodnoty),

- umožnit rekuperaci i do distribuční sítě,
- umožnit aktivní řešení nežádoucích špičkových odběrů snížením napětí v dané TNS a dodávkou energie ze sousedních TNS

9) Kritéria ze strany provozování dráhy

- vytvořit podmínky pro napájení při provozních poruchách a při údržbě TNS,
- umožnit napájení i v průběhu přestavby na novou technologii.

10) Kritéria ze strany pomocné sítě 22 kV

- zajistit kvalitu napětí v pomocné síti 3 x 22 kV podle ČSN EN ...,
- zajistit napájení pomocné sítě i při poruchách v DS,
- zajistit napájení pomocné sítě i při poruchách TNS.

11) Parametry zpětné cesty

Viz bod 5) zápisu

12) Uzemňování kolejnic

Tradičně je v ČR na tratích napájených systémem 25 kV používán systém bodového uzemnění (v místech neomezeného připojení), což není úplně dokonalé (vypalování izolovaných styků v důsledku rozdílu napětí, problematika úderu blesku či pádu trakčního vedení, ...). Perspektivně je proto na tratích napájených systémem 25 kV sledován záměr průběžného uzemňování kolejnic, což je však podmíněno absencí kolejových obvodů (viz náhrada vlakového zabezpečovače LS vlakovým zabezpečovačem ETCS). SŽDC uvede v seznamu tratí způsob uzemnění.

13) Pokles napětí

Podle ČSN EN 50163 ed. 2 je nejnižší trvalé napětí $U_{\min 1} = 19000 \text{ V AC}$

- | | |
|---|-------------------|
| • Elektrická trakční soustava | 25000 V AC |
| • Jmenovité napětí U_n | 25000 V AC |
| • Nejnižší trvalé napětí $U_{\min 1}$ | 19000 V AC |
| • Nejnižší krátkodobé napětí $U_{\min 2}$ | 17500 V AC |
| • Nejvyšší trvalé napětí $U_{\max 1}$ | 27500 V AC |
| • Nejvyšší krátkodobé napětí $U_{\max 2}$ | 29000 V AC |

Podle TSI 1301/2014 je minimální střední užitečné napětí na pantografovém sběrači pro trati s rychlostí $v > 200 \text{ km/hod.}$ rovno 22 500V, pro trati s rychlostí $v \leq 200 \text{ km/hod.}$ rovno 22 000V.

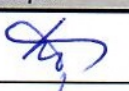

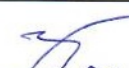

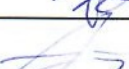


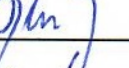

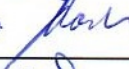
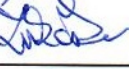


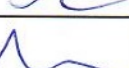




Při poklesu napětí na 19 kV klesá trakční výkon hnacího vozidla na pouhých 23 % jmenovité hodnoty.

Energetické výpočty tedy uvažují s napětí 22500V nebo 22000V – viz. bod 2) zápisu

PREZENČNÍ LISTINA

Ze vstupní porady na technicko ekonomickou studii
„Změna trakční soustavy na AC 25kV, 50Hz v úseku Nedakonice - Říkovice“

konané dne: 10.8.2017 na SUDOPu BRNO spol. s r.o., Kounicova 26

Poř. č.	jméno	organizace	telefon	mail	podpis
1	VITĚSLAV ŠIMÁČEK	SUDOP BRNO	606 370 453	vsimacek@sudop-brno.cz	
2	Petr Korkýs	—	972 625 120	korkys@sudop-brno.cz	
3	Jaroslav Hředý	—	603 720 522	jaredy@sudop-brno.cz	
4	Jaroslav Pospíšek	SŽDC s.o., OŘ Brno - SEE	602 768 238	pospisek@s2dc.cz	
5	PETR BOŠEK	SŽDC OŘ 026	972 235 595	Bosek@s2dc.cz	
6	Vikl Vladimír	SŽDC - SSU	425 996 022	vikup@s2dc.cz	
7	Radovan DOLEČEK	SŽDC OŘ 014	725 964 211	dolecek@szdc.cz	
8	Milan Krátly	EGÚ Brno	724 551 158	milan.kratly@egubrn.cz	
9	Petr MODLITBA	EGÚ Brno	602 571 194	petr.modlitba@egubrn.cz	
10	PAVEL KRKOŠKA	SŽDC OŘ 014	725 780 176	krkoska@szdc.cz	
11	Luboš Krátly	SŽDC SŽE	725 535 577	Kratly@szdc.cz	
12	Lukáš Žitka	SŽDC JEE OŘ 424 484 935	724 484 935	Zitka@szdc.cz	
13	RUDOLF MRZENÁ	SŽDC 016	972 244 128	mrzena@szdc.cz	
14	Tomáš Kupeňka	SŽDC, 016	972 742 710	kupenka@szdc.cz	
15	MARTIN SVOBODA	SUDOP BRNO	608 865 277	msvoboda@sudop-brno.cz	
16	Jiří PODHRADSKÝ	—	730 934 101	jpodhradsky@sudop-brno.cz	
17	MILAN STEHLÍK	SŽDC OŘ 014	601 384 025	STEHLIKM@SZDC.CZ	
18	VOJTECH PEPELÁŘ	SUDOP BRNO	972 625 120	vpepelar@sudop-brno.cz	

Zápis

z pracovní porady konané dne 7.9.2017 na SUDOP BRNO spol. s r.o., Kounicova 26

Předmětem

je jednání ohledně podmínek připojení TNS do distribuční soustavy z hlediska splnění požadovaných kritérií na odběr el. energie podle současně platné legislativy.

„Změna trakční soustavy na AC 25kV, 50Hz v úseku Nedakonice - Říkovice“

Přítomni

viz. listina přítomných

Všeobecně

Investor SŽDC SSV zadal technicko-ekonomickou studii s cílem aplikovat jednotné systémové řešení, splňující požadavky budoucích potřeb železnice a možnosti elektroenergetiky v horizontu let 2020 až 2050. Studie řeší výběr nejvhodnější technologie napájení TV a napájecích bodů TNS v systému 25 kV, 50 Hz v podmínkách ČR. Předmětná studie je geograficky vymezena trojúhelníkem měst Brno - Přerov – Břeclav (včetně příčky tvořené spodní Vlárskou tratí – tedy tratě 250, 300, 330 a 340).

Jmenovaný traťový úsek Nedakonice – Říkovice v názvu studie je vnímán jako součást zmíněného trojúhelníku Brno - Přerov – Břeclav, neboť bude jeho součástí. Tedy ačkoliv úsek Nedakonice – Říkovice z důvodu navazující elektrizace Otrokovice - Vizovice časově předbíhá systémové řešení celého trojúhelníku Brno - Přerov – Břeclav, je nutno tato témata řešit společně.

Předmětem jednání bylo elektrické napájení železnic v trojúhelníku vymezeném body Brno – Přerov – Břeclav a to z pohledu připojení trakčních napájecích stanic 3 x 110 kV / 25 kV k distribuční síti 3 x 110 kV (přehledná mapa viz příloha 1).

V rámci racionálního postupu byl pozvaným účastníkům rozeslán soupis projednávaných bodů (viz příloha 2).

V této oblasti se nacházejí:

- tratě dosud napájené stejnosměrným napětím 3 kV, určené ke konverzi na jednotné střídavé napětí 25 kV (zelená barva),
- tratě dosud napájené stejnosměrným napětím 3 kV, již projektované na konverzi na jednotné střídavé napětí 25 kV (fialová barva),
- tratě již napájené střídavým napětím 25 kV 50 Hz, avšak z důvodu růstu počtu, hmotnosti a rychlosti vlaků je nutno je výkonově posílit (červená barva),
- tratě dosud bez elektrického napájení, které budou elektrizovány (již jednotným systémem 25 kV) (černá barva),
- tratě modernizované na rychlost 200 km/h, s elektrickým napájením 25 kV (světle modrá barva),

- tratě nově budované pro rychlost 300 km/h, s elektrickým napájením 25 kV (tmavě modrá barva).

Všeobecně

Partneři z oblasti elektroenergetiky (ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce a EGU) pokládají tento dialog za přínosný. Železnice je pro ně tradičním a významným partnerem. Na druhou stranu však upozorňují, že některé v minulosti zavedení praktiky jsou do budoucna nepřijatelné a již je nebude možno tolerovat. U modernizovaných a nových napájecích stanic bude velmi důsledně sledována kvalita odběru. K tomuto účelu bude investor povinen zřídit v napájecích stanicích podle dispozic distributora měřicí stanoviště pro kontrolní měření kvality odběru. Splnění požadovaných kritérií kvality odběru je nutnou podmínkou k souhlasu s připojením. K tomuto striktnímu přístupu jsou distributoři elektřiny vedení ostatními odběrateli, kteří od distributorů vyžadují kvalitní dodávku elektřiny (stabilní symetrické třífázové sinusové napětí) a mají k tomu k dispozici stále dokonalejší měřicí techniku a stále dokonalejší právní a smluvní nástroje. Proto distributoři nemohou akceptovat a tolerovat negativní zpětné vlivy na DS Podle § 28 zákona č. 458/2000 Sb. je odběratel povinen provádět všechna dostupná technická opatření zamezující ovlivňování kvality elektřiny v neprospěch ostatních odběratelů. Cílem tohoto dialogu je minimalizovat již v předprojektové fázi riziko zmaření investic, které reálně hrozí při nesplnění připojovacích podmínek odběrného zařízení k distribuční soustavě. Důsledkem nesplnění připojovacích podmínek odběrného zařízení k distribuční soustavě totiž nejsou jen finanční sankce za nekvalitní odběr, ale zejména nesouhlas s připojením odběrného zařízení, což by pochopitelně vedlo k velkým škodám v investiční oblasti. Tomu je potřebné předejít.

K jednotlivým bodům podle podkladového materiálu v příloze bylo dohodnuto:

1 Připojení

Celkem se jedná o 8 přípojných bodů – 5 existujících (Říkovice, Otrokovice, Nedakonice, Břeclav, Modřice) a 3 nové (Černovice, Vyškov, Kyjov).

Výše rezervovaného příkonu v místě distribuční soustavy provozovatele distribuční soustavy (DS PDS) pro odběrové zařízení je dána parametry sítě v místě připojení (volná distribuční kapacita, zkratové poměry v místě připojení) a charakterem odběru. Odběrné zařízení musí splňovat požadavky na přípustnou úroveň zpětných vlivů na elektrizační soustavu, zejména limity uvedené v PNE 33 3430 - 0.

V procesu připojení nového odběrného zařízení, respektive při požadavku odběratele na navýšení dosud dohodnutého odběru je nutno doložit výpočty vlivů připojovaného zařízení na distribuční soustavu. Z toho důvodu je požadována Studie připojitelnosti, jejíž součástí jsou i výpočty určující limity připojitelného příkonu odběrného zařízení.

Byla diskutována otázka jednoznačnosti výkladu pojmu sjednaný výkon. Pro provoz železnice, který se vyznačuje časovou proměnností odběru proudu v rámci měřeného 15 minutového intervalu, je nutné definovat a ze strany DS garantovat, jak může v rámci měřeného 15 minutového intervalu kolísat okamžitý výkon bez zásahu jistění. Vypnutí přívodu zásahem ochrany je pro zajištění provozu (dodržení jízdního řádu) nepřijatelné.

Pro jednoznačnost výchozích dat podstatných pro koncipování a dimenzování trakčních napájecích stanic zpracovává EGU ve spolupráci s ČEZ Distribuce, E.ON Distribuce a SUDOP BRNO výpočty odebíraného příkonu v jednotlivých trakčních napájecích stanicích formou tabulky základních parametrů přehled údajů:

Sloupce: osm přípojných bodů (TNS) ve sledované oblasti

Řádky:

- distributor,
- uzlová oblast,
- způsob splnění podmínky dvou nezávislých napájení (druh připojení k DS: smyčka, T, dvojité T...),
- současný zkratový výkon ve stavu N,
- budoucí zkratový výkon ve stavu N,
- současný zkratový výkon ve stavu N - 1,
- budoucí zkratový výkon ve stavu N - 1,
- limit současného čtvrt hodinového symetrického činného sjednatelného rezervovaného příkonu,
- limit budoucího čtvrt hodinového symetrického činného sjednatelného rezervovaného příkonu,
- limit současného maximálního (špička x s) symetrického sjednatelného rezervovaného zdánlivého příkonu,
- limit budoucího maximálního (špička x s) symetrického sjednatelného rezervovaného zdánlivého příkonu,
- limit současného čtvrt hodinového nesymetrického sjednatelného rezervovaného činného příkonu,
- limit budoucího čtvrt hodinového nesymetrického sjednatelného rezervovaného činného příkonu,
- limit současného maximálního (špička x s) nesymetrického zdánlivého sjednatelného rezervovaného příkonu,
- limit budoucího maximálního (špička x s) nesymetrického zdánlivého sjednatelného rezervovaného příkonu,
- limit současného čtvrt hodinového symetrického sjednatelného rezervovaného výkonu (rekuperace),
- limit budoucího čtvrt hodinového symetrického sjednatelného rezervovaného výkonu (rekuperace),
- limit současného maximálního (špička x s) symetrického sjednatelného rezervovaného výkonu (rekuperace),
- limit budoucího maximálního (špička x s) symetrického sjednatelného rezervovaného výkonu (rekuperace),
- limit současného čtvrt hodinového nesymetrického sjednatelného rezervovaného výkonu (rekuperace),
- limit budoucího čtvrt hodinového nesymetrického sjednatelného rezervovaného výkonu (rekuperace),
- limit současného maximálního (špička x s) nesymetrického sjednatelného rezervovaného výkonu (rekuperace),

- limit budoucího maximálního (špička x s) nesymetrického sjednatelného výkonu (rekuperace).

2. Stálost napětí

Napájecí stanice musí být navrženy tak aby byly schopné pracovat v plném rozsahu tolerančního pole napětí v DS.

Horní hranice napětí, která je v sítích 110 kV dosahována, je 121 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.

U měničových trakčních napájecích stanic se ukazuje rozumné využívat jejich schopnost stabilizovat výstupní napětí (pro trakci) nezávisle na kolísání napětí v DS. EGU doporučuje tuto funkci využívat (zvyšuje se tím kvalita napájení na straně železnice), avšak jen v omezeném rozsahu, kompenzujícím běžné výkyvy napětí v DS. Při hlubších propadech napětí v DS, které nastávají jen mimořádně, tuto funkci EGU doporučuje nevyužívat, neboť by zvětšovala zatížení již přetížené DS. Naopak se nabízí možnost vyžít měničové TNS k solidární spolupráci s přetíženou DS tak, aby při přetížení DS prostřednictvím poklesu výstupního napětí pod 90 % jmenovité hodnoty 25 kV iniciovala funkci automatického snižování trakčního výkonu vozidel podle ČSN EN 50 388, kterou jsou podle TSI LOC&PAS povinně vybavována všechna nová vozidla o výkonu nad 2 MW (viz příloha 3), respektive změnou fázového úhlu předání příkonu sousedním trakčním napájecím stanicím. EGU připraví návrh v jakém pásmu kolísání napětí v DS má být napětí na výstupu TNS stabilizováno a při jakých výkyvech napětí v DS má být napětí na výstupu TNS snižováno (respektive měněn fázový úhel vektoru výstupního napětí) a jak.

3a Symetrické zatěžování

Definice nesymetrického zatěžování není v PNE 33 3430–0 zcela jednoznačná. V zájmu vyloučení budoucích diskusí a sporů je nutno ji upřesnit. Distributoři však jednoznačně nemohou akceptovat a tolerovat negativní zpětné vlivy na DS. Relace mezi symetrií napětí a symetrií odebíraného proudu jedním odběratelem je ovlivněna impedancí sítě (S_k) a dalšími odběrateli i dodavateli.

Nežádoucí účinky nesymetrie (zvýšené ztráty na motorech způsobené opačnou rotací protisměrné složky magnetického pole či stojícím magnetickým polem nulové složky) působí relativně rychle (malé motory mají krátkou tepelnou časovou konstantu).

Provozovatel DS navíc nemá žádnou technickou možnost nesymetrii odstranit, neboť odbočková regulace distribučních transformátorů probíhá ve všech třech fázích společně, neumožňuje nastavovat jednotlivé fáze samostatně. Na rozdíl od měření spotřeby energie není proto při hodnocení nesymetrie odběru proudu používán pevný (synchronizovaný) 15 minutový interval, ale 10 minutový plovoucí interval.

Důležitý je i režim N – 1, který může být při revizích a opravách využíván dlouhodobě (i desítky procent ročního času), což snižuje zkratový výkon DS v místě připojení TNS. Distributor musí zajistit ostatním odběratelům kvalitu dodávané elektrické energie (symetrické napětí) i za tohoto stavu.

Rovněž je potřebné vzít v úvahu případnou rekuperaci, neboť účinky deformace napětí příkonem a výkonem se navzájem sčítají (při symetrickém střídání odběru a rekuperace $0,35 \% + 0,35 \% = 0,7 \%$)

EGU připraví návrh upřesnění definice požadavků PNE 33 3430–0 na symetrii.

Pro kontrolu výpočtů budou využity podklady z měření v TNS Břeclav.

3b Flikr

Bylo konstatováno, že v oblasti flikru (vliv skoků v odběru proudu na kolísání napětí v síti a tím i světelného toku elektrických svítidel) již požadavky PNE 33 3430–0 neodpovídají současné realitě, neboť byly definovány podle vlastností žárovek. EGU provede ve spolupráci se SUDOP analýzu chování trakční spotřeby (rozjezdy, brzdění, vypínání a zapínání proudu při projíždění přes neutrální pole) a připraví návrh na realistické hodnocení vliv skoků v odběru trakčního proudu na kolísání napětí v distribuční síti při symetrickém i nesymetrickém odběru.

4 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 odporů. 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 energii 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 energii 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, dobřeh regulovaných pohonů), přitom není řešena v rámci Pravidel provozování distribučních soustav (PPDS).

EGU připraví návrh podmínek pro umožnění rekuperace do DS. V zásadě jde o to, aby byla vozidla generovaná rekuperační energie prioritně spotřebována v trakční síti a aby byla jen zbylá část předávána do DS, na základě smlouvy o připojení a zároveň splňovala kvalitativní požadavky.

5 Splnění požadovaného účinku a nepřekročení povoleného obsahu vyšších harmonických složek

Stanovisko distributorů je jednoznačné:

- odběratel energie nesmí zatěžovat distribuční síť vyšším než dovoleným odběrem jalového výkonu, - odběratel energie nesmí zatěžovat distribuční síť vyšším než dovoleným odběrem deformačního výkonu.

Je nutno přijmout taková technická opatření, aby byly obě tyto podmínky vůči distribuční soustavě splněny jak při provozu starších vozidel (nízký účinník, velký obsah vyšších harmonických složek proudu), tak i moderních vozidel (vysoký účinník, nízký obsah vyšších harmonických složek proudu). V případě nedodržení požadovaných parametrů kvality odběru je reálné riziko nejen sankčních pokut, ale i odpojení odběrného zařízení.

Schopnost měničových trakčních napájecích stanic dodávat/odebírat (v rámci své výkonové rezervy) jalový výkon do/z distribuční soustavy, podle operativních dispozic distributora, příp. jako placenou službu, je s ohledem na velikost instalovaného výkonu trakčních napájecích stanic a jejich rozmístění po celé ploše území ČR jako velmi zajímavé. EGU k tomu zpracuje ve spolupráci se SUDOP BRNO stručnou rozvahu (kapacitní bilanci) potenciálních možností této podpůrné služby. Zařízení pro regulaci okamžité bilance jalového výkonu v elektrizační soustavě ČR budou v souvislosti s rozvojem necentrálních zdrojů nutná. V případě trakčních napájecích stanic je výhodou přidružení této funkce k funkci napájení drah (viz též téma využití redundantních zařízení) včetně náležitě výkonného připojení k distribuční soustavě.

6 HDO

Odběratel je povinen slnit tři základní podmínky:

- negenerovat proudy obsahující složku s frekvencí HDO,
- nezkratovat impedancí signál HDO,
- nepřenášet signál HDO z jedné uzlové oblasti do jiné uzlové oblasti.

EGU bude tyto požadavky podrobněji specifikovat.

7 Vyrovnávací proudy

Pro zamezení vzniku vyrovnávacích proudů mezi místy připojení sousedních trakčních napájecích stanic k distribuční síti nedovolují distributoři paralelní chod trakčních transformoven či trakčních transformoven s aktivními balancéry – možný je jen ostrovní provoz.

Měničové trakční napájecí stanice lze provozovat v paralelním provozu, neboť se nejedná o přímé propojení (v cestě proudu jsou stejnosměrné meziobvody) a algoritmy jejich řízení jsou koncipovány tak, aby k nežádoucím přetokům nedocházelo („SW řešení“). Pro případ poruchy a náhradního provozu však musí být možnost oddělit od sebe sousední trakční napájecí stanice a přejít na ostrovní provoz („HW řešení“).

Toto možné rozpojení zajistí tradiční spínací stanice, situované jako obvykle zhruba uprostřed mezi trakčními napájecími stanicemi. Rozdíl je pouze v tom, že dosud (při aplikaci obyčejných trakčních transformoven) jsou spínací stanice v základním provozním stavu

rozepruty a v případě paralelního chodu měničových trakčních napájecích stanic (systém jednotné fáze) budou v základním provozním stavu sepruty. A to jak podélně (dvoustranné napájení), tak i příčně (pro zvýšení přenosové schopnosti vedení, zejména pro rekuperační brzdění).

8 Sdružování více odběrních bodů v jedno společné odběrní místo

Ze strany železnice logicky trvá zájem hodnotit dodržení limitu sjednané energetické kapacity (15 minutové maximum) nikoliv jednotlivě pro jednotlivé odběrní body (trakční napájecí stanice), ale společně v součtu za celou sdruženou skupinu trakčních napájecích stanic.

Závěr

Naléhavost zahájení příslušných dopravních staveb, jejichž součástí je elektrické napájení železnic v trojúhelníku Brno – Přerov – Břeclav, je velmi velká. Jde nejen o změnu napájecího systému 3 kV na 25 kV v úseku Nedakonice - Říkovice, která je podmínkou pro modernizaci a elektrizaci tratě Otrokovice – Zlín – Vizovice, ale i posílení elektrického napájení železničního uzlu Brno (nová TNS Brno) a o zahájení modernizace trati Brno – Přerov na 200 km/h, kde již došlo k překonání procesních průtahů. V souvislosti s rozsáhlou modernizací tratě Brno – Přerov získává vysokou aktuálnost elektrizace trati Blažovice – Kyjov – Bzenec – Moravský Písek, pojaté jako odklonová trasa pro rychlíkové spojení Brno – Přerov – Ostrava – Bohumín po dobu modernizace jednokolejné trati přes Vyškov. Po elektrizaci tratě Blažovice – Bzenec – Moravský Písek je reálné na odklonové trase dodržet (respektive i zkrátit) současnou jízdní dobu Brno – Přerov přes Vyškov (1:30) rychlíků linky R 8 Brno – Bohumín (14 párů vlaků denně) (viz příloha 4).

Proto je potřebné výše uvedená témata řešit rychle a přitom systémově, s pohledem na další desetiletí jejich nekonfliktního provozu.

Seznam příloh

Příloha 1

Mapa oblasti trojúhelníku (vybarvená)

Příloha 2

Podkladový materiál - Kritéria ze stany distribuční soustavy

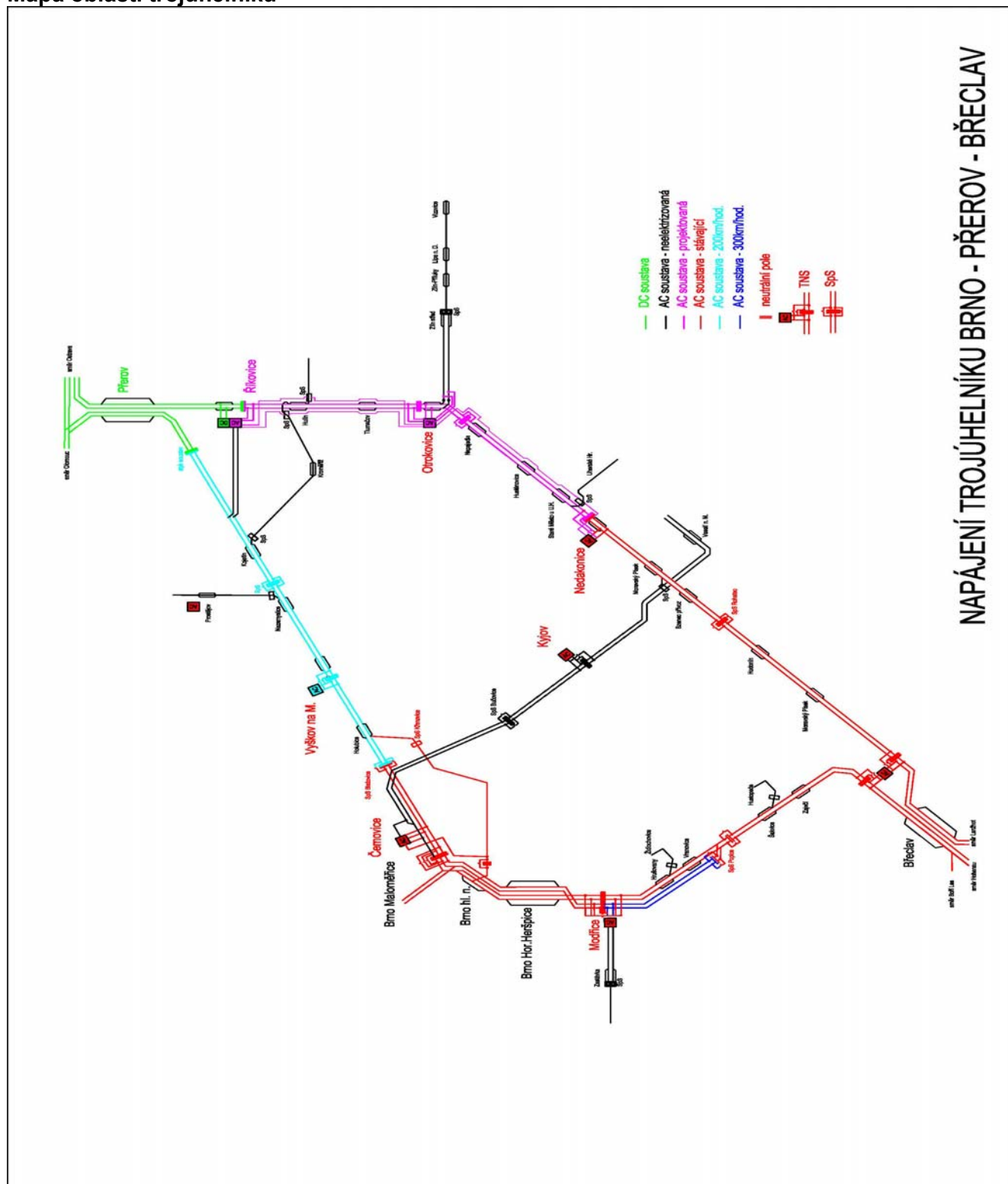
Příloha 3

Omezování výkonu vozidel při poklesu napětí (požadavek EN 50 388)

Příloha 4

Odklonová trasa

Příloha 1 Mapa oblasti trojúhelníku



Příloha 2

Kritéria ze strany distribuční soustavy 110 kV

1) Dvě nezávislá připojení k DS – podle ČSN 33 3505 ed.2 se připojování na energetickou soustavu vysokého a velmi vysokého napětí provádí:

- a) samostatným dvojitým vedením od nejbližší energetické rozvodny
- b) odbočením z obou systémů dvojitého vedení (odbočka T)
- c) smyčkou od jednoho systému průchozího vedení

U všech těchto provedení musí být dimenzován každý přívod na plný instalovaný výkon trakční napájecí stanice.

Připojení trakčních napájecích stanic může být ve výjimečných případech provedeno pouze s jedním přívodem tehdy, nebude-li při výpadku tohoto přívodu omezena požadovaná provozní výkonnost trati.

U stávajících napájecích stanic je toto připojení k DS zajištěno a je předpoklad, že pro případné nové TNS lze tento způsob připojení rovněž zachovat – potvrdit, že ze strany distribučních společností s tímto není problém. Zde je nutno zmínit především platbu za rezervovaný příkon. podle vyhl 16/2016Sb. z pohledu odběrného místa.

Pro všechny uvažované odběrné body (připojení TNS k DS), tedy Černovice, Vyškov, Říkovice, Otrokovice, Nedakonice, Břeclav, Modřice a Kyjov definovat současné a budoucí:

- typ připojení (způsob zajištění dvou nezávislých přívodů pro splnění podmínky provozuschopnosti N – 1 bez omezování provozu železnice
- zkratový výkon,
- limit rezervovaného výkonu (15 min. maxima).

2) Schopnost pracovat při kolísání amplitudy napětí i úhlu napětí v DS 3 x 100 kV

Při ostrovním provozu TNS a bez použití polovodičové technologie (balancéry – měniče) budou napájecí stanice pracovat jako dosud, tzn. není nutno tento problém řešit, neboť transformátory jsou vybaveny regulátory napětí, které přepínáním odboček na straně vyššího napětí případné kolísání napětí vyřeší.

Při použití polovodičové technologie (balancéry – měniče) nastává problém s jejím dimenzováním – nižší napětí – vyšší proud a naopak

Při použití balancérů lze vlivy kolísání napětí v distribuční soustavě řešit pomocí software balancerů (ostrovní provoz).

Při použití měničů lze vlivy kolísání napětí a různých úhlů v distribuční soustavě řešit pomocí software měniče (spolupráce napájecích stanic – jednotná fáze).

Potřebujeme od distributorů zjistit, jak se může v místech připojení TNS k DS (Černovice, Vyškov, Říkovice, Otrokovice, Nedakonice, Břeclav, Modřice a Kyjov) pohybovat výše napětí – typické a výjimečné hodnoty. Jde o to, jak řešit vyrovnávání tolerancí napětí na vstupu TNS zařízením TNS. Toto lze provést jak odbočkami

transformátoru, tak elektronicky při odpovídajícím dimenzování měničů, respektive kombinací obou způsobů, ale oboje znamená určité náklady). Zda pro výpočty použít normové hodnoty či skutečné, které se v síti vyskytují.

3) Symetrické zatěžování všech tří fází při odběru, povolená nesymetrie a flickr

Při dostatečném zkratovém výkonu DS v místě připojení TNS lze připojit i jednofázový (dvoufázový) odběr, což je důležité i pro měničové TNS v jejich případném nouzovém režimu (při poruše elektronické části).

Na základě energetických výpočtů zpracovaných SUDOPem BRNO prověří EGU Brno možnost připojení nesymetrického odběru v daném místě napájení TNS z DS. Toto posouzení obnáší podle PNE 33 3430–0 jak posouzení nesymetrie, tak i flickru a dalších požadavků distributorů na odběr. Podle vyjádření E.ON je povolená nesymetrie způsobená jedním odběratelem - $u_{(2) \text{ příp}} < 0,7 \%$ v intervalu 10 min – v normě PNE 33 3430–0 je uváděno $k_{u,i} \leq 0,7 \%$.

Z posouzení flickru by mělo být zřejmé, jak velký může být skok odebíraného, respektive rekuperovaného proudu při řízení tažných a brzdných sil nebo při přejíždění dělení v trakčním vedení (vypínání a zapínání proudu v místě neutrálních polí).

4) Symetrické zatěžování všech tří fází při rekuperaci nadbytečné energie z trakčního vedení do distribuční soustavy

TSI ENE předepisuje, střídavé napájecí soustavy musí být navrženy tak, aby umožňovaly použití rekuperačního brzdění schopného bezproblémové výměny energie buď s jinými vlaky, nebo jakýmkoliv jiným způsobem (článek 4.2.6). ČSN EN 50 388 předepisuje, že u AC tratí musí být napájecí soustava navržena tak, aby bylo možné využívat rekuperační energii z vlaků (článek 12.1.2). Tuto povinnost musí SŽDC ve spolupráci s distributory splnit. V současnosti se již běžně vyrábí AC trakční vozidla s výhradně rekuperační brzdou (bez brzdových odporů, chybějící rekuperaci zastupují pouze mechanické brzdy, jejichž provoz je neekonomický. Pokud není možnost rekuperace při brzdění, pak brzdy vykazují vysoké opotřebení a krátkou životnost. Nesplnění možnosti rekuperace přináší problémy z pohledu splnění TSI a následně čerpání dotací z EU. Je potřebné vnímat, že většinu rekuperované energie lze při dostatečně dlouhých a vzájemně propojených napájených úsecích spotřebovat samotnými vozidly a do DS je dodáván jen případný přebytek, ale jeho zakázání hatí celou rekuperaci (i mezi vozidly).

Současný stav na tratích SŽDC napájených napětím 25 kV nesplňuje výše uvedené požadavky TSI a EN, distributoři se staví k rekuperaci odmítavě. Má se za to, že důvodem odmítavého postoje distributorů je nesymetrie rekuperovaného proudu předávaného přes jednofázové transformátory z TNS do DS

Zde potřebujeme vyjádřit stanovisko distributorů k této problematice – za jakých podmínek bude možno rekuperaci povolit, zda je symetrizace proudu všech tří fází nutnou a postačující podmínkou. Samostatnou otázkou, která nebude předmětem tohoto vyjádření, je téma ceny rekuperované energie.

5) Splnění požadovaného účinníku (0,95 – 1) a nepřekročení povoleného obsahu vyšších harmonických složek

Vybavení vozidel vstupními čtyřkvadrantovými měniči zajišťujícím odběr (respektive dodávku) jen činného výkonu a to sinusového tvaru, zatímco původní vozidla odebírala velmi vydatně i jalový výkon a proud byl nesinusový s vysokým obsahem vyšších harmonických složek. Filtrační a kompenzační zařízení (FKZ), dodatečně vybudovaná v trakčních napájecích stanicích, nezbytná pro provoz starších vozidel s nízkým účinníkem a vysokým obsahem vyšších harmonických složek, byla systémově navržena, typově vyzkoušena a schválena pro vozidla s diodovými respektive tyristorovými usměrňovači, která je potřebují. FKZ nebyla řešena pro napájení vozidel se vstupními čtyřkvadrantovými měniči, neboť ta v době jejich vzniku v ČR nebyla. Po příchodu nových vozidel se čtyřkvadrantovými měniči došlo k několika závažným poruchám FKZ, pravděpodobně v důsledku rezonančních jevů. Aktuálně je stav takový, že na tratích SŽDC jsou provozována jak vozidla, jejichž odběr proudu je pro splnění podmínek distribuční sítě potřebné pomocí FKZ filtrovat a kompenzovat (a zařízení FKZ nepoškozuje) a vozidla, jejichž odběr proudu není pro splnění podmínek distribuční sítě potřebné pomocí FKZ filtrovat a kompenzovat (a zařízení FKZ mohou poškodit).

- nesymetrické napájení přes jednofázové transformátory – jsou nutné filtry vyšších harmonických a dekompenzace jalového výkonu,
- symetrické napájení s použitím balancéru – jsou nutné filtry vyšších harmonických, dekompenzace jalového výkonu je zajištěna pomocí balancéru,
- symetrické napájení s použitím měniče – vlivy vozidel napájených z TV se přes stejnosměrnou vazbu měniče v DS neprojeví, samotný měnič při použití multilevel technologie kaskády IGBT tranzistorů produkuje minimální vyšší harmonické

K této problematice potřebujeme aktuální stanovisko jak provozovatele SŽDC, tak i distributora.

Důležitým tématem je využití okamžité výkonové rezervy měničů v TNS pro stabilizaci poměrů v DS odběrem či dodávkou jalového výkonu podle požadavků distributora (typicky o víkendech při intenzivní činnosti FV elektráren). V zahraničí je tato praxe běžná. Potřebujeme stanovisko EGU a distributorů k vhodnosti využití této možnosti v ČR.

6) Přenos HDO

- současné nesymetrické ostrovní napájení přes jednofázové transformátory – neruší HDO, TNS nejsou vzájemně propojeny
- symetrické ostrovní napájení s použitím balancéru – neruší HDO, TNS nejsou vzájemně propojeny, balancery však nesmí produkovat harmonické blízké frekvenci HDO (216,6Hz)

- symetrické napájení jednotnou fází s použitím měničů – neruší HDO, TNS jsou vzájemně propojeny, avšak přes stejnosměrnou vazbu, měniče nesmí produkovat harmonické blízké frekvenci HDO (216,6Hz)

Potřebujeme zjistit, jestli se nemohou z pohledu šíření signálu HDO vyskytnout problémy, o kterých zatím nevíme a které by bylo nutno řešit.

7) Zamezení vzniku vyrovnávacích proudů mezi přípojnými body 110 kV

- současné nesymetrické ostrovní napájení přes jednofázové transformátory – nevznikají vyrovnávací proudy, TNS nejsou vzájemně propojeny
- symetrické ostrovní napájení s použitím balancéru – nevznikají vyrovnávací proudy, TNS nejsou vzájemně propojeny
- symetrické napájení jednotnou fází s použitím měničů – řízením měničů (stejně napětí například 27, 5 kV na sousedních TNS) je zamezeno vzniku vyrovnávacích proudů. Kompaudací (řízení velikosti či úhlu napětí podle proudu) lze ovlivnit rozdělení proudu mezi sousední TNS. Vhodným řízením velikosti a úhlu napětí 27kV na sousedních TNS je možno vyrovnávací jalové proudy mezi TNS použít např. pro odstranění námrazy na vedení – DS dodává jen k rozmrazování potřebný činný výkon pro záměrně vytvářené ztráty ve trakčním vedení.

Potřebujeme potvrdit, že při zamezení samovolných vyrovnávacích proudů v důsledku různých velikostí a úhlů napětí v DS (paralelní chod společných stanic, tedy spojitě dvoustranné napájení trakčního vedení, je aplikován jen při použití TNS s měniči) je paralelní spolupráce TNS možná a určit rámcová pravidla pro ovlivňování rozkladu odběru mezi sousední TNS

8) Nepřekročení limitu sjednaného 15 minutového výkonu

V případě použití měničů a dvoustranného spojitého napájení trakčního vedení jednotnou fází lze v důsledku vytvoření rozlehlého napájeného souboru s více současně se pohybujícími vlaky předpokládat snížení poměru mezi finálním a středního výkonem na TNS. Tomu napomáhá i elektronické omezení maximálních hodnot proudu měničů. To následně umožňuje snížit sjednané technické maximum v TNS. Tím je též možné snížit pevnou složku odběru a uspořít provozní náklady. S napájením jednotnou fází souvisí i příspěvek rekuperace mezi vozidly na vyrovnání špičkových odběrů.

V souvislosti se sdružováním odběrních bodů do odběrních míst má téma optimalizace poměru mezi maximálním a středním výkonem jak technickou, tak organizační dimenzi. Potřebujeme zjistit, jak bude v oblasti TNS Černovice, Vyškov, Říkovice, Otrokovice, Nedakonice, Břeclav, Modřice a Kyjov řešeno sdružení více přípojných bodů - TNS do jednoho odběrného místa. Zda má smysl zabývat se řešením proti překročení maxima v jedné TNS nebo v součtu všech sdružených TNS. Jaké je nutno na straně železnice i na straně DS splnit předpisové podmínky pro uznání statutu sdružených odběrních bodů v jedno tarifní odběrné místo.



SUDOP BRNO, spol. s r.o.

Kounicova 26

611 36 Brno

Zápis

z pracovní porady konané dne 19.9.2017 na SUDOP BRNO spol. s r.o., Kounicova 26

Předmětem

je jednání ohledně spojitého napájení trakční soustavy, absence vypínání proudu na napájecích a spínacích stanicích, problematiky úplné rekuperace, menších ztrát ve vedení a kompatibility napájení se starými i novými vozidly.

„Změna trakční soustavy na AC 25kV, 50Hz v úseku Nedakonice - Říkovice“

Přítomni

viz. listina přítomných

Všeobecně

Předmětem porady bylo projednání budoucí podoby elektrického napájení železnic v trojúhelníku vymezeném body Brno – Přerov – Břeclav, a to z pohledu vozidel a provozování železniční dopravy (přehledná mapa viz příloha 1).

1.V této oblasti se nacházejí:

- tratě již napájené střídavým napětím 25 kV 50 Hz, avšak z důvodu růstu počtu, hmotnosti a rychlosti vlaků je nutno je výkonově posílit (červená barva),
- tratě dosud napájené stejnosměrným napětím 3 kV, určené ke konverzi na jednotné střídavé napětí 25 kV (zelená barva) – zatím neprojektované,
- tratě dosud napájené stejnosměrným napětím 3 kV, určené ke konverzi na jednotné střídavé napětí 25 kV (fialová barva) – již projektované,
- tratě dosud bez elektrického napájení, které budou elektrizovány (již jednotným systémem 25 kV) (černá barva),
- tratě modernizované na rychlost 200 km/h, s elektrickým napájením 25 kV (světle modrá barva),
- tratě nově budované pro rychlost 300 km/h, s elektrickým napájením 25 kV (tmavě modrá barva).

S cílem aplikovat jednotné systémové řešení, splňující požadavky budoucích potřeb železnice v horizontu let 2020 až 2050 zadal potenciální investor SŽDC SSV technickoekonomickou studii, kterou řeší SUDOP Brno.

Pevná trakční zařízení (strukturální subsystém ENE) tvoří spojovací prvek mezi střídavou třífázovou vysokonapěťovou distribuční elektrickou sítí, ze které odebírají elektrickou energii trakční napájecí stanice, a vozidly (strukturální subsystém RST), kterým předává elektrickou energii prostřednictvím trakčního vedení. A to s cílem bezpečně, spolehlivě a ekonomicky zajistit v požadovaném rozsahu železniční provoz (subsystém OPE).

V rámci práce na studii probíhají jednání řešitele studie (SUDOP Brno) a investora (SŽDC SSV) jakož i GŘ SŽDC s distributory elektrické energie (E.ON a ČEZ) a se společností EGU, která provádí výpočty distribučních a přenosových sítí. Cílem těchto jednání je dohodnout takové technické řešení napájení elektrických drah, aby byly splněny zákonné a předpisové požadavky na kvalitu odběru elektrické energie (zákon ukládá odběrateli elektřiny povinnost použít dostupné prostředky k dosažení kvalitního odběru, zpracovat pro jednotlivá připojovaná zařízení studie připojitelnosti a umožnit distributorovi provádět měření kvality odběru) a zároveň aby byly vytvořeny podmínky pro náležitě výkonné a spolehlivé napájení, pro plnohodnotnou rekuperaci a pro docílení výhodné ceny elektřiny.

Ve stejném duchu mají řešitel studie (SUDOP Brno) a investor (SŽDC SSV) i GŘ SŽDC zájem projednat s dopravci technické řešení elektrického napájení trakčního vedení tak, aby po všech stránkách vyhovovalo v průběhu své životnosti (30 let) požadavkům železničního provozu, tedy v horizontu let 2020 až 2050.

2. Požadavky na subsystém ENE z pohledu subsystémů RST a OPE

S ohledem na požadavky zákona o dráhách č.266/1994 Sb. a další relevantní dokumenty (zejména TSI ENE, TSI LOC&PAS, ČSN EN 50 388), jakožto i dosavadní zkušenosti a poznatky definoval řešitel požadavky na elektrické napájení vozidel z trakčního vedení 25 kV 50 Hz následovně:

- a) zajistit kvalitu napětí – napětí na sběrači by za normálních provozních podmínek nemělo klesat pod 90 % jmenovité hodnoty (pod 22,5 kV), aby na vozidlech nedocházelo k aktivaci omezení vozidly odebíraného proudu podle TSI LOC&PAS a ČSN 50 388, tedy aby byly vytvořeny podmínky pro dodržení jízdním řádem stanovených jízdních dob,
- b) zajistit (za normálních podmínek) spojité napájení vozidel z trakčního vedení bez vypínání proudu či stahování sběrače a to ani v místě trakčních napájecích stanic či spínacích stanic,
- c) zajistit požadavek TSI na plnohodnotnou rekuperaci (díky vytváření územně rozsáhlých napájených oblastí předávat rekuperovanou energii prioritně navzájem mezi vozidly, případné přebytky předávat do 3 AC distribuční sítě),
- d) zajistit vlakům dostatečný výkon (na velkých sklonech 2 lokomotivy po 6,4 MW),
- e) umožnit provozování a nekonfliktní napájení moderních vozidel se vstupními čtyřkvadrantovými měniči,
- f) umožnit provozování a nekonfliktní napájení provozování starších vozidel s diodovými usměrňovači (do doby jejich dožití), tedy kompenzovat jejich jalový a neharmonický proud (nezatěžovat jím odběr z distribuční soustavy)
- g) zajistit stabilní napájení (systém dimenzovat tak, aby pracoval bez výpadků),
- h) vytvořit podmínky pro docílení výhodné ceny elektřiny (díky vytváření územně rozsáhlých napájených oblastí vytvářet podmínky vyrovnaný odběr z distribuční sítě

s příznivě nízkým poměrem maximálního a středního odebíraného výkonu, tedy s nízkou platbou za rezervovaný maximální výkon),

- i) vytvořit podmínky pro minimalizaci ztrát v trakčním vedení (dvoustranné napájení, příčné a podélné spínání ve spínacích stanicích uprostřed mezi trakčními napájecími stanicemi),
- j) zajistit provozuschopnost při námraze i ledovce bez poškozování sběrače rozmrazováním trakčního vedení,
- k) zajistit vysokou spolehlivost napájení, minimalizovat četnost napěťových výluk – uplatnit princip N – 1 (napájení umožňuje neomezený provoz vlakové dopravy i při výpadku jedné komponenty TNS nebo DS),
- l) neomezovat za normálních podmínek následná mezidobí, daná traťovými poměry (subsystém INS) a zabezpečovacím zařízením (subsystém CCS) kratším elektrickým následným mezidobím. Avšak při nenormálních situacích využívat princip automatického prodlužování jízdních dob a tím i odstupu vlaků v důsledku poklesu napětí v trakčním vedení na sběrači vozidla (s využitím funkce automatického omezování proudu při poklesu napětí pod 90 % jmenovité hodnoty podle TSI LOC&PAS a ČSN EN 50 388),
- m) zajistit podmínky pro racionální pokračování elektrizace i na dosud neelektrizované tratě a to tím, že trakční napájecí stanice na hlavních tratích umožní svojí výkonností jakožto i schopností paralelní spolupráce při napájení sítě trakčního vedení, elektrizaci odbočných tratí s minimální potřebou budování dalších trakčních napájecích stanic.

Na základě provedených výpočtů dopravního provozu a po analýze energetických poměrů dospěl řešitel studie k výsledku, že pro naplnění těchto požadavků při současném splnění požadavků distributorů elektrické energie (zejména požadavků na symetrii zatěžování všech tří fází při odběru výkonu, na symetrii využívání všech tří fází při navracení výkonu v průběhu rekuperačního brzdění, na eliminaci jalového výkonu a na odstranění vyšších harmonických složek, jakožto i požadavku na rovnoměrnost odběru výkonu bez velkých špiček) je jediným možným řešením odklon od dosud používaných trakčních napájecích stanic s dvojicí jednofázových transformátorů zapojených do V a přechod na použití trakčních napájecích stanic s dvojstupňovými polovodičovými měniči (3 AC/DC plus DC/1AC), které umožňují použít princip jednotné stabilizované a synchronizované fáze. To též odpovídá současným trendům v zahraničí. Výhodou je též jejich schopnost posloužit (za úplaty) ke kompenzaci jalového výkonu v distribuční síti.

3. Kvalita napájení

SŽDC má prioritní zájem na zajištění kvalitního napájení vozidel a to zejména v souvislosti s příchodem nových moderních vozidel, která vyžadují:

- vyšší výkon,
- spojité napájení (na obnovené napájení reagují až po delší časové prodlevě),
- spojitý a úplný a odběr rekuperované energie,
- nevelké poklesy napětí v trakčním vedení (při poklesu napětí pod 22,5 kV radikálně snižují výkon) což může vést k nedodržení jízdního řádu,
- pevná trakční zařízení bez pasivních filtrů (možnost rezonančních jevů).

Po příchodu elektrických jednotek řady 680 (Pendolino) provedlo SŽCD na podnět ČD zásadní kroky k eliminaci míst nespojitého napájení na systému 3 kV tak, aby tyto jednotky a další vozidla mohly nepřerušovaně vyvíjet tažnou sílu, napájet pomocné sítě a vyžít aktivní naklápění. Podobné kroky byla snaha učinit i na systému 25 kV. Zde však mohly být s ohledem na požadavek distribuční sítě zatěžovat všechny tři fáze (a z toho plyne rozdělení trakčního vedení na krátké úseky postupně napájené z různých fází) tyto kroky provedeny jen v omezeném rozsahu (zůstala povinnost vypínání proudu u trakčních napájecích stanic a u spínacích stanic, které jsou v základním stavu rozepnuty. SŽDC však má negativní zkušenost s nerespektováním návěstí pro elektrický provoz ze strany strojvedoucích s důsledkem poškození pevných trakčních zařízení.

Z těchto a dalších důvodů SŽDC aktivně sleduje a aplikuje nové technické možnosti v oblasti napájení trakčního vedení (viz též ověřování automaticky spínaného neutrálního pole ve spínací stanici Popice). Měničové napájecí stanice nepochybně představují technicky velmi dokonalé řešení s řadou předností. V neposlední řadě má SŽDC zájem na optimální tvorbě a dodržování jízdního řádu – je o to, aby odborem jízdního řádu vypočtené jízdní doby (pro podmínky spojitého napájení trakčních vozidel napětím o nominální hodnotě) byly co nekratší a v praxi dosažitelné, neboť rezerva mezi vypočtenou a stanovenou jízdní dobou je velmi malá a nelze ji vyčerpat či dokonce překročit vlivem přerušovaného či nízkého napětí. Zároveň je však SŽDC odpovědná za hospodárné využívání investičních prostředků a proto potřebuje mít jistotu, že dopravci všech výhod nového systému (vysoká výkonnost, spojité napájení, rekuperační brzdění, ...) náležitě využijí. Seznam výhledových vozidel bude diskutován na dalším jednání se SŽDC.

4. Osobní doprava

Dominantním dopravcem ve vyšetřované oblasti jsou ČD, které zajišťují v dotyčné oblasti:

- dálkovou (nadregionální) dopravu v závazku veřejné služby na základě objednávky státu (MD ČR),
- regionální dopravu v závazku veřejné služby na základě objednávky krajů (Jihomoravský, Olomoucký, Zlínský).

Jak ČD, tak zejména objednatelé (stát a kraje) jsou ze zákona povinni účelně hospodařit, tedy usilovat se o minimalizaci plateb za energii. Proto investují do nákupu moderních

vozidel s rekuperační brzdou a mají zájem na jejím maximálním využívání, tedy i na vytvoření odpovídajících podmínek ze strany SŽDC.

Prioritou ČD je péče o cestujícího, proto jsou veškerá nová vozidla i některá modernizovaná vozidla vybavována klimatizací. Její funkce je nepříznivě narušována nespojitým napájením trakčního vedení (střídání fází). Situace je nepříznivá již v současnosti (poloviční vzdálenost mezi AC trakčními napájecími stanicemi cca 22 km, doba jízdy při rychlosti 100 km/h respektive 160 km/h mezi místy vypnutí proudu je 13 minut respektive 8 minut). Po zvýšení rychlosti na 200 km/h se doba jízdy mezi místy vypnutí proudu zkrátí na 6,6 minuty. Při rekonstrukci stávajících stejnosměrných stanic na střídavé (poloviční vzdálenost mezi trakčními napájecími stanicemi bude cca 12 km) se při rychlosti na 160 km/h se doba jízdy mezi místy vypnutí proudu zkrátí na 4,5 minuty. Vypínání proudu v tak krátkých intervalech je jak z hlediska funkčnosti vozidel a dodržení jízdního řádu, tak i z hlediska výkonu funkce strojvedoucího zcela neúnosné. Proto se dopravce jednoznačně kloní k nové technologii zajišťující spojitě a kvalitní napájení včetně neomezeného rekuperačního brzdění, které kromě podstatných úspor energie též umožňuje snížit náklady na údržbu mechanických brzd vozidel a hlučnost vlakové dopravy.

Z hlediska jednotlivých tratí je situace následující

Trat' Brno - Přerov

a) současnost:

R: lokomotiva 362 (3 MW, 140 km/h, diodové usměrňovače, bez rekuperace)

Os: lokomotiv 363 (3 MW, 120 km/h, diodové usměrňovače, bez rekuperace) - velmi slabý provoz z důvodu nedostatečné kapacity železniční dopravní cesty,

b) po modernizaci

Další výhledové záměry nemohou ČD aktuálně bez bližší znalosti problematiky, časových harmonogramů a věcných požadavků na vozidla a s ohledem na probíhající diskuze s objednateli v dálkové a regionální dopravě týkající se dopravních konceptů a požadavků na vozidla zatím ani potvrdit, ani vyvrátit.

Trat' Brno - Břeclav

a) současnost:

Ex: lokomotiva 6, 4 MW, 200 km/h, 4Q měniče, rekuperace,

R: nízkopodlažní elektrická jednotka 4Q měniče, rekuperace

Os: mix lokomotiv 242 (3 MW, 110 km/h, diodové usměrňovače, bez rekuperace) a vysokopodlažní elektrická jednotka tyristorové měniče, rekuperace a nízkopodlažní elektrická jednotka 4Q měniče, rekuperace

b) po modernizaci

Další výhledové záměry nemohou ČD aktuálně bez bližší znalosti problematiky, časových harmonogramů a věcných požadavků na vozidla a s ohledem na probíhající diskuze s objednateli v dálkové a regionální dopravě týkající se dopravních konceptů a požadavků na vozidla zatím ani potvrdit, ani vyvrátit.

Trat' Břeclav - Přerov

a) současnost:

Ex: lokomotiva 6, 4 MW, 200 km/h, 4Q měniče, rekuperace,

R: mix nízkopodlažní elektrická jednotka 4Q měniče, rekuperace a lokomotiva 362 (3 MW, 140 km/h, diodové usměrňovače, bez rekuperace)

Os: mix lokomotiv 363 (3 MW, 120 km/h, diodové usměrňovače, bez rekuperace) a nízkopodlažní elektrická jednotka 4Q měniče, rekuperace

b) po modernizaci

Další výhledové záměry nemohou ČD aktuálně bez bližší znalosti problematiky, časových harmonogramů a věcných požadavků na vozidla a s ohledem na probíhající diskuze s objednateli v dálkové a regionální dopravě týkající se dopravních konceptů a požadavků na vozidla zatím ani potvrdit, ani vyvrátit.

Tratě Brno – Veselé nad Moravou, Kojetín – Hulín – Valašské Meziříčí, Otrokovice – Vizovice, Staré Město u Uherského Hradiště – Luhačovice / Bojkovice / Veselí nad Moravou

a) současnost:

R: vozidla nezávislé trakce

Os: vozidla nezávislé trakce

b) po modernizaci

Další výhledové záměry nemohou ČD aktuálně bez bližší znalosti problematiky, časových harmonogramů a věcných požadavků na vozidla a s ohledem na probíhající diskuze s objednateli v dálkové a regionální dopravě týkající se dopravních konceptů a požadavků na vozidla zatím ani potvrdit, ani vyvrátit.

Kromě ČD operují v dané oblasti další tři dopravci:

Regiojet: lokomotiva km/h, 4Q měniče, rekuperace plus starší elektrické lokomotivy (po přepnutí na 25 kV skončí),

Leoexpres: elektrické jednotky 3 kV (po přepnutí na 25 kV nebude 6, 4 MW, 200 km/h možné),

Arriva: starší dieselové jednotky (neperspektivní).

5. Nákladní doprava

V současnosti je čilá nákladní doprava jen na tratích Brno – Břeclav a Přerov – Břeclav.

Zajišťují ji dopravci registrovaní v ČR a sdružení v organizaci Žesnad (dominantní pozici má ČD Cargo) a zahraniční dopravci (ponejvíce z Německa, Rakouska, Polska a Slovenska).

Nákladní dopravci sdružení v Žesnad se hlásí k naplnění cílů usnesení vlády ČR č. 978/2015 Národní plán snižování emisí, které ukládá resortu dopravy úkol převést do roku 2030 ze silnice na železnici 30 % přepravních výkonů nákladní dopravy v ČR. S tímto cílem též mimo jiné investují do nákupu nových vysoce výkonných interoperabilních elektrických lokomotiv (cca 6 MW, 4 Q měniče, rekuperační brzda). K tomu potřebují součinnost se SŽDC, v oblasti subsystému ENE jde o náležitou výkonnost a kvalitu elektrického napájení na již elektrizovaných tratích a rozšiřování elektrizace na dosud neelektrizované tratě.

Ing. Tyle (ŽESNAD.CZ) zmínil, že na základě ve studii „Koncepce přechodu na jednotnou napájecí soustavu ...“ uvedených faktů se ŽESNAD.CZ usnesl na níže uvedených třech tezích, které spolu s navrženým harmonogramem přepínání zaslal v únoru 2017 na generálního ředitele SŽDC s požadavkem uplatňování:

- 1. ŽESNAD.CZ požaduje posílení výkonnosti napájení v trakčním vedení na současných tratích elektrizovaných stejnosměrnou soustavou a snížení ztrát v trakčním vedení, a to postupným přechodem na střídavou soustavu 25 kV 50 Hz, smysluplnou a provázanou etapizací.*
- 2. ŽESNAD.CZ nesouhlasí s prostou (bezkonceptní) obnovou stejnosměrných měniren, aniž dojde ke zlepšení napájení a snížení ztrát na celých příslušných úsecích, a která by měla za důsledek odložení řešení problémů napájení o desítky let.*
- 3. ŽESNAD.CZ podmiňuje dokončení procesu přepínání buď rokem 2040, případně dříve, a sice po skončení životnosti a vyřazení posledních stejnosměrných lokomotiv. Jasně datum ukončení přepínání umožní dopravcům plánovat pořizování levnějších dvoufrekvenčních lokomotiv (15 kV 16,7 Hz / 25 kV 50 Hz) než dosud tří- / čtyř- systémových využívaných v relacích SRN – ČR – Rakousko / Slovensko – Maďarsko.*

ŽESNAD.CZ podporuje u trati Nedakonice – Říkovice přechod na soustavu AC 25 kV 50 Hz k roku 2021.

Popsané 2 varianty technologie napájení (aktivní balancér a statický měnič) představují pro železniční nákladní dopravce oproti stávající technologii napájení v soustavě AC 25 kV 50 Hz významné provozní i ekonomické přínosy, a to v/ve:

- 1) Eliminaci častého vypínání proudu – u starších lokomotiv je náročné na soustředění strojvedoucího, u moderních lokomotiv navíc dlouhá doba restartu (cca. 45 s) znamená propad rychlosti*
- 2) Vyšší efektivitě rekuperace – optimální využití veškeré rekuperované energie v železničním provozu = úspory odběru dražší energie od distributorů. Tzn. čím větší oblast stejné fáze, tím větší pravděpodobnost zužitkování rekuperované energie.*
- 3) Snížení odběrových špiček – při nižších rezervovaných příkonech by měla být distribuční sazba energie nižší*

Zásadním faktorem pro převedení nákladní dopravy ze silnic na železnici je cena za přepravu, neboť ta je pro řadu přepravců rozhodujícím kritériem. Proto je pro nákladní dopravce velmi důležité snížit spotřebu elektrické energie (rekuperace, nízké ztráty v pevných trakčních zařízeních, rekuperace), respektive cenu elektrické energie (rovnoměrný a kvalitní odběr bez poplatků za velký rezervovaný příkon či za nekvalitu).

Proto se dopravci jednoznačně kloní k nové technologii zajišťující spojitě a kvalitní napájení včetně neomezeného rekuperačního brzdění, které kromě podstatných úspor energie též umožňuje snížit náklady na údržbu mechanických brzd vozidel a hlučnost vlakové dopravy.

Park vozidel používaných v nákladní dopravě je různorodý. Aktuálně však nákladní dopravci investují do nákupu nových vysoce výkonných interoperabilních lokomotiv (výkon cca 6 MW, 4 Q měniče, rekuperační brzda):

Ing. Tyle se rovněž vyjádřil k úsporám energie zejména díky rekuperaci (případně i úspory z důvodu nižšího rezervovaného příkonu na straně distributorů), které by měly být důkladně zapracovány v ekonomické analýze. Přitom se dotazoval, zda na dosavadní technologii střídavé soustavy jsou ztráty energie důsledkem kompenzace nezatíženého trakčního vedení pomocí FKZ.

Řady střídavých nebo vícesystémových lokomotiv uvažovaných pro tuto trať nákladními dopravci:

ČD Cargo – lokomotivy Vectron, modernizované lokomotivy 363.5 s 4Q měniči, do budoucna se nadále počítá s lokomotivami ř. 363 a mohou být ještě provozovány na této trati lokomotivy ř. 230, 240

Ostatní dopravci – moderní vícesystémové lokomotivy

Nezanedbatelný počet lokomotiv však stále ještě tvoří vozidla s technikou diodových usměrňovačů, která odebírají i jalový proud (mají nižší účinnost) a vyšší harmonické složky proudu. Takový charakter proudu nevyhovuje požadavkům DS, jejich provoz vyžaduje filtrační a kompenzační zařízení v trakčních napájecích stanicích.

Též zahraniční dopravci disponují vysoce výkonnými interoperabilními elektrickými lokomotivami (výkon cca 6 MW, 4 Q měniče, rekuperační brzda), schválenými Drážním úřadem ČR pro provoz na železnicích v ČR:

ČD C se spojí se SŽDC (Doc. Doleček) k upřesnění nárůstu počtu nových lokomotiv a EMU vybavených moderními technologiemi (4Q měniče, rekuperační).

Žesnad se spojí se SŽDC (Doc. Doleček) k upřesnění nárůstu počtu nových lokomotiv a EMU vybavených moderními technologiemi (4Q měniče, rekuperační).

6. ETCS

Na všech sledovaných tratích bude v dohledné době budována stacionární část jednotného evropského vlakového zabezpečovače ETCS:

- Brno – Břeclav: hotovo
- Břeclav – Přerov: financování z CEF zajištěno, stavba zahájena,
- Brno – Přerov: je schválena studie proveditelnosti modernizace, ETCS je součástí
- Brno – Veselí nad Moravou včetně Bzenec - Moravský : je schválena studie proveditelnosti modernizace, ETCS je součástí (včetně Bzenec – Moravský Písek),
- Otrokovice – Vizovice: je schválena studie proveditelnosti modernizace, ETCS je součástí

Podle Národního implementačního plánu ERTMS (3. verze, schválená CK MD ČR v září 2017) budou po ukončení migračního období z bezpečnostních důvodů připuštěny na trať vybavené ETCS jen vlaky vedené vozidly vybavenými mobilní částí ETCS. Toto migrační období může být dlouhé nejvýše 5 let od uvedení traťové části ETCS do provozu. Pro trať Brno – Břeclav a Břeclav – Přerov již je stanoveno datum ukončení migračního období a zahájení výhradního provozu vlaky vedenými vozidly vybavenými mobilní částí ETCS a to 1.1.2025.

Zkušenost ukazuje, že zástavba ETCS staršího vozidla je výrazně nákladnější, než do nového vozidla, neboť k zástavbě ETCS jsou nutné úpravy vozidla a jednorázové náklady na projekt, konstrukci, zkoušky a schvalování, jsou rozděleny na malý počet vozidel. Proto se nevyplatí dosazovat ETCS na přestárlá vozidla. Logicky tedy bude konec migračního období ETCS i koncem nasazování přestárlých vozidel na dotyčné trati.

7. České dráhy se obecně ztotožňují s principy uvedenými v návrhu zápisu z jednání dne 19.9.2017. V zásadě podporují rozvoj elektrizace, principiální změnu napájecí trakční soustavy na 25kV 50 Hz, rekuperaci, jakož i zajištění stabilního a dostatečně kvalitního napájení střídavé trakční soustavy 25kV 50Hz uvedené v bodech 2 a 3 návrhu zápisu. Současně je však ze strany ČD toto téma považováno za natolik komplexní, že nepovažují za zcela vhodné se po vstupním jednání zavázat ihned ke splnění všech bodů, které byly navrženy zejména v bodě 4 návrhu zápisu. Obecně platí, že se České dráhy nebrání diskuzi a podpoře rozvoje infrastruktury i na poli elektrizace, zejména tam, kde lze očekávat přínosy pro zajištění provozu jak v závazkové tak případně v komerční dopravě. České dráhy též oceňují, že bylo dané téma konečně aspoň nějakým způsobem formálně ze strany SŽDC prostřednictvím zpracovatele předmětné studie nastíněno a představeno k diskuzi a že se na něm jako jeden z významných uživatelů infrastruktury v ČR mohou aktivně podílet. Současně je ze strany ČD velmi vážně vnímána potřebná součinnost v oblasti nasazení vhodných vozidel v případě zásadní investice do pevných trakčních zařízení na straně SŽDC. Ze strany SŽDC je však nutno zajistit, aby byly dostatečně dopředu a co nejvíce závazně známy projekční záměry v dané oblasti a aby byly případné konkrétní požadavky na optimální vozidla harmonizovány i s požadavky objednatelů tak, aby ten dopravce, který by případně splnil požadavky infrastruktury, nebyl za tuto snahu potrestán neúspěchem ať již při vyjednávání smluv v rámci přímého zadání nebo v rámci nabídkových řízení z důvodů vyšší ceny, která by ze splnění daných podmínek vyplývala. Tento princip se obecně týká i dopravy komerční i dopravy nákladní. S ohledem na formální název porady a na výše uvedené body bychom rádi znali odpověď na následující otázky:

- a) V kterém roce se závazně předpokládá přepnutí úseku Nedakonice – Říkovice na 25kV 50 Hz. K Českým drahám se dostávají z různých zdrojů různé informace o plánované realizaci této stavby (předpokládané zhotovení k JŘ 2019/20 až po další pozdější termíny). Pro České dráhy je z hlediska nutných změn napěťové soustavy vyvolaných investic do hnacích vozidel tato informace velmi zásadní, zejména pro zajištění provozu na lince R18 Praha – Luhačovice.
- b) Jaký je předpokládaný plán a časový horizont přípravy a realizace zkušebního provozu v trojúhelníku Brno – Břeclav – Přerov s ohledem na požadovaná vozidla.

Současně můžeme v části 4 potvrdit pouze aktuální stav vozidlového parku platný pro JŘ 2017/18.

S ohledem na výše uvedené skutečnosti bychom rádi ve spolupráci se SŽDC a zhotovitelem projektu dále podrobněji danou problematiku diskutovali. Teprve na základě podrobného interního posouzení a znalosti požadavků objednatelů budou České dráhy schopné dát závaznější stanovisko.

Závěr

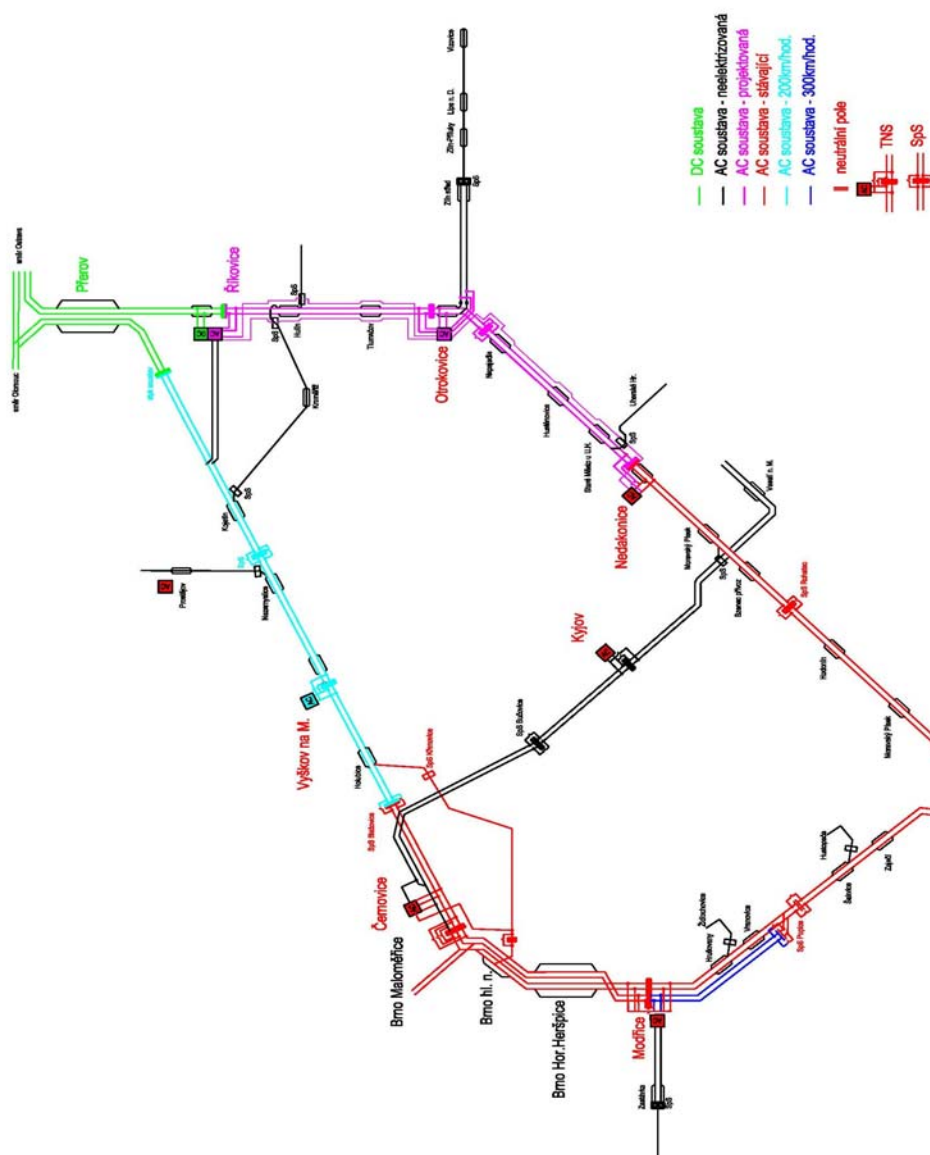
Účastní jednání se shodli na společném cíli zajistit kvalitní a nákladově efektivní napájení vozidel elektrickou energií. Dopravci jednoznačně potvrzují účelnost a potřebnost orientace

na nové technologie, zajišťující spojité napájení kvalitním napětím a plnohodnotné rekuperační brzdění, která je v souladu s již probíhající a dále pokračující obnovou parku vozidel.

Další dialog o vývoji struktury parku vozidel bude v návaznosti na toto jednání a navázané kontakty probíhat přímo mezi SŽDC a jednotlivými dopravci i Žesnad. Jejich tématem bude zejména koordinace časových plánů na straně modernizace pevných trakčních zařízení a na straně obnovy parku vozidel a ekonomické hodnocení jednotlivých celospolečenských úspor pro analýzu nákladů a výnosů (CBA) dopravních staveb.

V případě potřeby svolá SUDOP BRNO další jednání všech zúčastněných k tomuto tématu.

PŘÍLOHA Č. 1



















NAPÁJENÍ TROJÚHELNÍKU BRNO - PŘEROV - BŘECLAV

PREZENČNÍ LISTINA

Projednání požadavků dopravců na napájení trakčního vedení
akce „Změna trakční soustavy na AC 25kV, 50Hz v úseku Nedakonice - Říkovice“

konané dne: 19.9.2017 na SUDOPu BRNO spol. s r.o., Kounicova 26

Poř. č.	Jméno	organizace	telefon	mail	podpis
1	Vítězslav Šimaček	SUDOP BRNO	606 370 453	vsimacek@sudop-brno.cz	
2	Petr Kodýš	SUDOP BRNO	772 625 120	kodys@sudop-brno.cz	
3	Martin Svoboda	SUDOP BRNO	608 865 211	msvoboda@sudop-brno.cz	
4	Vik Vláčil	SŽDC-SSV	425 996 022	vikvp@sdc.cz	
5	Petr Bošek	SŽDC GR 026	972 235 595	Bosek@sdc.cz	
6	Rudolf Mrena	SŽDC GR 016	972 244 128	mrmena@sdc.cz	
7	Paol Xroska	SŽDC GR 014	972 747 66 725 780 170	Xroska@sdc.cz	
8	Zdeněk Doležal	SŽDC BR 014	725 964 211	dolezal@szdc.cz	
9	Lubor Konárik	SŽDC, SŽÚC BRNO	602 744 751	konarik@szdc.cz	
10	Stanislav Kréta	ČD - ROK BRNO	725 871 661	kréta@gr.cd.cz	
11	Mareta Valířová	ČD GR 010	725 224 943	valirova@gr.cd.cz	
12	Milan Linhart	ČD GR 012/1	724 851 000	LinhartM@gr.cd.cz	
13	Janoslav Týle	ŽESNAD.CZ	602 580 462	janoslav.tyle@centrum.cz	
14	Jan Holobrádek	ČD ČRGO	725 542 693	jan.holobradek@cd.cz	
15	Jiří Pohl	SIEMENS	724 014 931	jiri.pohl@siemens.cz	
16	Milan Zedník	SŽDC, s.o.	601 102 272	zednikm@szdc.cz	
17					
18					

Zápis

z pracovní porady konané dne 10.10.2017 na SUDOP BRNO spol. s r.o., Kounicova 26

Předmětem

je jednání ohledně podmínek připojení TNS do distribuční soustavy z hlediska splnění požadovaných kritérií na odběr el. energie podle současně platné legislativy.

„Změna trakční soustavy na AC 25kV, 50Hz v úseku Nedakonice - Říkovice“

Přítomni

viz. listina přítomných

Všeobecně

Jednání navázalo na předchozí poradu konanou dne 7.9.2017 (viz příslušný zápis). Před jednáním byl účastníkům jednání rozeslán k prostudování a připomínkám draft studie EGU.

1. Shrnutí základních fakt

A) Uspořádání napájeného úseku (viz obr. 1 – přiložen na konci zápisu)

- a) Dělení trakčního vedení u TNS a u SpS přibližně uprostřed mezi TNS
- b) Dělení trakčního vedení u SpS přibližně uprostřed mezi TNS (u TNS trvale sepnuto)
- c) Spojité napájení bez dělení (u TNS i u SpS trvale sepnuto)

TNS ... trakční napájecí stanice 3 AC 110 kV / 1 AC 25 kV

SpS ... spínací stanice

Vzdálenost TNS je u systému 25 kV cca 44 km a u DC systému 3 kV cca 24 km

B) Technologie TNS (viz obr. 2 – přiložen na konci zápisu)

- a) Jeden jednofázový transformátor napájí stejnou fází trakční vedení na obě strany od TNS (zapojení T),
- b) Jeden jednofázový transformátor napájí určitou fází trakční vedení na jednu stranu od TNS, druhý jednofázový transformátor napájí jinou fází trakční vedení na druhou stranu od TNS (zapojení V),
- c) Jeden jednofázový transformátor napájí stejnou fází trakční vedení na obě strany od TNS (zapojení T), na výstupu doplněno FKZ,
- d) Jeden jednofázový transformátor napájí určitou fází trakční vedení na jednu stranu od TNS, druhý jednofázový transformátor napájí jinou fází trakční vedení na druhou stranu od TNS (zapojení V), na výstupu doplněno FKZ,
- e) Jeden třífázový transformátor plus aktivní balancer napájí stejnou fází trakční vedení na obě strany od TNS,
- f) Jeden třífázový transformátor plus aktivní balancer napájí stejnou fází trakční vedení na obě strany od TNS, na výstupu doplněn filtr vyšších harmonických složek proudu,
- g) vstupní třífázový transformátor plus dvojice polovodičových měničů (3 AC/DC a DC/1 AC) a výstupní transformátor napájí stejnou fází trakční vedení na obě strany od TNS.

FKZ ... filtrační kompenzační zařízení (filtrace vyšších harmonických složek proudu, kompenzace jalového výkonu)

C) Provedení vozidel (viz obr. 3 – přiložen na konci zápisu)

- Stará vozidla s technikou diodových (případně tyristorových) usměrňovačů a stejnosměrných trakčních motorů – odebírají jalový výkon a deformační výkon (nesinusový proud),
- Nová vozidla s technikou čtyřkvadrantových měničů a pulsních napěťových střídačů napájejících frekvenčně řízené třífázové střídavé (asynchronní) trakční motory – odebírají jen činný výkon a sinusový proud.

Použitelnost jednotlivých technologií trakčních napájecích stanic pro jednotlivá uspořádání napájeného úseku definuje následující tabulka:

Technologie TNS	dělení i TNS dělení u SpS	dělení jen u SpS	spojité napájení
transformátor T	ne	ano (N)	Ne
transformátor V	ano (N)	ne	Ne
transformátor T + FKZ	ne	ano (S)	Ne
transformátor V + FKZ	ano (S)	ne	Ne
balancer		ano (N)	Ne
balancer + F		ano (S, N)	Ne
dvojice měničů		ano (S, N)	ano (S, N)

Vysvětlivky : S – staré vozidlo, N – nové vozidlo

Vlastnosti jednotlivých uspořádání napájeného úseku:

vlastnost	dělení i TNS dělení u SpS	dělení jen u SpS	spojité napájení
dvoustranné napájení	ne	ne	Ano
délka napájeného úseku	22 km	44 km	∞
délka napájeného úseku býv. DC	12 km	24 km	∞
úbytek napětí na vedení	velký	velký	malý
ztráty ve vedení	velké	velké	malé
poměr $P_{\max}/P_{\text{stř}}$	velký	velký	malý
poměr $P_{\text{navracená}}/P_{\text{odběr}}$	velký	velký	malý

Vlastnosti jednotlivých technologií trakčních napájecích stanic vůči DS:

Technologie TNS	symetrie odběru a navracení	fázový proud	paralelní chod	zatěžování jalovým výkonem	zatěžování deformačním výkonem	možnost výroby VAr
transformátor T	ne	zvýšený	ne	ano (S)	ano (S)	ne
transformátor V	trochu	zvýšený	ne	ano (S)	ano (S)	ne
transformátor T + FKZ	ne	zvýšený	ne	ne	Ne	ne
transformátor V + FKZ	trochu	zvýšený	ne	ne	Ne	ne
balancer	ano	nezvýšený	ne	ne	ano (S)	ano
balancer + F	ano	nezvýšený	ne	ne	Ne	ano
dvojice měničů	ano	nezvýšený	ano	ne	Ne	ano

Vlastnosti jednotlivých technologií trakčních napájecích stanic vůči trakční síti:

Technologie TNS	splnění podmínek DS při napájení starých vozidel	schopnost spolupráce s novými vozidly	možnost řízení amplit. výstup. napětí	možnost řízení úhlu výstup. napětí	možnost přelévání výkonu mezi TNS	režim rozmrazování
transformátor T	ne	ano	ne	ne	Ne	ne
transformátor V	ne	ano	ne	ne	Ne	ne
transformátor I + FKZ	ano	ne (poruchy)	ne	ne	Ne	ne
transformátor V + FKZ	ano	ne (poruchy)	ne	ne	Ne	ne
balancer	ne	ano	ne	ne	Ne	ne
balancer + F	ano	ano	ne	ne	Ne	ne
dvojice měničů	ano	ano	ano	ano	ano	ano

2. Požadavky na napájecí systém

Systém napájení drah vlastní a provozuje SŽDC, avšak má též důležitá rozhraní jak vůči distribuční soustavě (respektive distributorům), tak vůči vozidlům (respektive dopravcům). Existují proto tři kategorie požadavků na systém elektrického napájení drah:

- požadavky vlastníka a provozovatele dráhy (SŽDC), který je zároveň investorem příslušných staveb,
- požadavky distributorů elektrické energie (ČEZ, E.ON, PRE),
- požadavky dopravců (ČD, ČD C, a další tuzemské i zahraniční společnosti).

Ve všech těchto kategoriích se vyskytují jak povinné požadavky, které je bezvýhradně nutno splnit (zákony, normy, funkční či bezpečnostní podmínky, ...) tak i kvalitativní požadavky, které zvyšují užitnou hodnotu systému napájení drah.

2.1. Požadavky SŽDC

- a) zajistit výkonnost elektrického napájení vozidel, potřebnou pro dopravu vlaků podle jízdního řádu a to v nejvyšším rozsahu provozu po dobu plánované životnosti pevných trakčních zařízení (30 let),
- b) zajistit kvalitu elektrického napájení vozidel, potřebnou pro dopravu vlaků podle jízdního řádu a to v nejvyšším rozsahu provozu po dobu plánované životnosti pevných trakčních zařízení (30 let), tedy napětí na sběrači vozidla nad 90 % jmenovité hodnoty, tedy aby na vozidlech nedocházelo k aktivaci zařízení pro snížení trakčního výkonu podle TSI LOC&PAS a ČSN 50 388 a tím k prodlužování jízdním řádem určených jízdních dob,
- c) zajistit spolehlivost elektrického napájení vozidel, potřebnou pro dopravu vlaků podle jízdního řádu a to v nejvyšším rozsahu provozu po dobu plánované životnosti pevných trakčních zařízení (30 let), tedy aby nedocházelo k výpadkům vlivem zásahu ochrany ani na straně DS, ani na straně TNS a SpS,
- d) umožnit provoz vlaku ve sledu umožněných zabezpečovacím zařízením bez jeho omezování zaváděním elektrických následných mezidobí,
- e) umožnit rekuperaci (povinnost uložená v TSI ENE) a zajistit využití vozidly rekuperované brzdové energie, a to prioritně ostatními vozidly,
- f) přes značnou časovou proměnlivost jednotlivými vlaky odebíraného výkonu zajistit při odběru výkonu co nejmenší poměr maximálního výkonu a středního výkonu,
- g) redundancí zajistit neomezenou provozuschopnost při jedné poruše na straně DS (princip N - 1),
- h) redundancí zajistit neomezenou provozuschopnost při jedné poruše na straně TNS (princip N - 1),
- i) zajistit alespoň omezenou provozuschopnost při jedné poruše na straně DS a současně jedné poruše na straně TNS (princip N - 2),

- j) minimalizovat počet míst v trakčním vedení, která jsou sjízdná jen se staženým sběračem či s vypnutým proudem (riziko poškození pevných trakčních zařízení při chybě strojvedoucího,
- k) umožnit paralelní chod TNS s cílem rozložit odebíraný výkon mezi více TNS,
- l) umožnit řízené rozdělení proudu mezi sousední TNS s cílem minimalizovat jejich přetěžování,
- m) umožnit režim rozmrazování (řízený vyrovnávací jalový proud mezi sousedními TNS).

2.2 Požadavky distributorů

Ze strany ČEZ a E.ON je požadováno bezvýhradní plnění požadavků PNE a dalších podmínek připojení. K jednotlivým bodům bylo sděleno:

- a) Symetrické zatížení všech tří fází odebíraným příkonem i symetrické zatížení všech tří fází zpětně dodávaným výkonem. Nesymetrie nesmí (v součtu odebíraného příkonu a zpětně dodávaného výkonu) ve střední hodnotě v klouzavém desetiminutovém okně překročit hodnotu 0,7 % zkratového výkonu DS (vztaženo k minimální hodnotě zkratového výkonu v jakékoliv konfiguraci DS, která se může za provozu DS vyskytnout). Střední desetiminutová nesymetrie odebíraného příkonu a dodávaného výkonu musí být splněna stále nesmí být překročena ani v ojedinělých případech.

K tomu distributoři doplňují:

Ze strany odběratelů je silný tlak na zvýšení kvality dodávané elektřiny (moderní elektronicky řízené spotřebiče se při nesymetrii napětí preventivně odstavují a odběratel následně nárokuje vzniklou škodu na distributorovi).

Hodnota zkratového výkonu DS v místě připojení je ovlivněna zejména zkratovými výkony zdrojů a parametry přenosových a distribučních zařízení. S ohledem na postupný přechod energetiky od centralizovaných zdrojů vysokého výkonu k decentralizovaným zdrojům nižšího výkonu a na obtížnost průchodu nových vysokonapěťových vedení územím, lze do budoucna očekávat v některých předávacích místech i pokles zkratových výkonů DS v místě připojení, což zvyšuje požadavky na symetrii odběru.

- b) Limit odebíraného příkonu

Dosud byla pozornost soustředěna především na 15 minutové střední hodnoty odběru (viz sjednané hodnoty maximálního 15 minutového rezervovaného příkonu). Tento parametr nadále zůstane důležitým, a to zejména pro obchodování s elektřinou. Od velikosti maximálního 15 minutového rezervovaného příkonu se odvozuje jak jednorázový (investiční) poplatek za připojení, respektive za zvýšení příkonu, tak i pravidelný měsíční poplatek za síťové služby (za zajištění dodávky požadovaného příkonu na požadovaném místě a v požadovaném čase).

Nově vedle toho vstupuje do úvahy i maximum okamžité hodnoty odebíraného příkonu, a to především pro zajištění stálého napájení bez výpadků způsobených zásahem nadproudových ochranných zařízení.

S cílem vytvořit podmínky pro stabilitu, rovnoměrné namáhání a spolehlivost distribučních sítí je ze strany distributorů zájem o co nejvyrovnanější odběr příkonu ze strany odběratelů, tedy o co nemensší poměr maximálního a středního výkonu. K tomu

motivují odběratele úměrností platby za síťové služby maximálnímu rezervovanému příkonu.

c) Rekuperace brzdové energie

Pokud je vozidly rekuperovaná brzdová energie vyžita ostatními vozidly, respektive ostatními spotřebiči napájenými z trakčního vedení (tedy v rámci lokální distribuční sítě), jde o vnitřní záležitost odběratele. Distributory zajímají jen zpětné přetoky výkonu z trakčních napájecích stanic do distribuční sítě. Požadavky na předávání výkonu do distribuční sítě je nutno popsat ve studii připojitelnosti.

d) Kvalita odebírané elektrické energie

Je nutno dodržet kvalitu odebírané elektrické energie (účinník, obsah vyšších harmonických) a to i při provozu starších lokomotiv, které tyto parametry nedosahují (odebírají vysoký jalový i deformační výkon),

e) Paralelní chod

Účinným nástrojem k docílení vyrovnaného odběru příkonu (nízký poměr maximálního a středního příkonu) a k absorpci rekuperovaného výkonu v trakční síti s minimálními přetoky výkonu do DS je vytváření rozlehlých napájených úseků paralelním chodem TNS. Ten však nesmí být proveden přímým způsobem, aby nedošlo k vyrovnávacím přetokům výkonu přes trakční vedení v důsledku rozdílu fázových úhlů v různých místech připojení TNS k DS,

f) Flikr

Z důvodu minimalizace flikru je vhodné minimalizovat počet bodů nespojitosti trakčního vedení, při jejichž přejezdu je nutno vypínat proud,

g) HDO

Dodržet pravidla pro nerušený provoz HDO

Měničové TNS jsou tvořeny dvojicí (kaskádou) měničů, navzájem propojených stejnosměrným meziobvodem (vstupní měnič 3 AC/DC plus výstupní měnič DC/1 AC):

- přes stejnosměrný meziobvod je mezi distribuční sítí a trakční sítí přenášen jen činný výkon, nikoliv jalový a deformační výkon (vyšší harmonické složky),
- výstupní měnič generuje jalový výkon a deformační výkon (vyšší harmonické složky) tak, jak odpovídá charakteru spotřebičů připojených k trakční síti,
- není-li dohodnuto jinak, odebírání vstupní měnič z distribuční sítě jen činný výkon (proud je ve fázi s napětím), případný odběr kladného či jalového výkonu podle dispozic distributora je možný,
- jak ukazují zkušenosti ze zahraničí, lze využít výkonové rezervy vstupního měniče ($P_j = (P_{jmen}^2 - P_{čskut}^2)^{0,5}$) a regulovat jím pro distribuční síť jalový výkon.

Studie připojitelnosti

Za provozu zařízení připojených k DS musí být požadavky PNE 33 3430 – 0 a další podmínky připojení trvale plněny. Tuto skutečnost bude distributor cíleně kontrolovat bezprostředně po uvedení zařízení do provozu a dále v průběhu provozu - viz též

požadavek distributora na zřízení připojovacích míst pro kontrolní měření kvality odběru v jednotlivých TNS. Před připojením či zvýšením výkonu má distributor právo požadovat vypracování a předložení studie připojitelnosti.

2.3. Požadavky dopravců

Požadavky dopravců byly projednány na k tomu svolané samostatné poradě. Pro současnost i dohlednou budoucnost je charakteristické:

- a) perspektivní orientace na aktuálně pořizovaná nová vozidla se vstupními čtyřkvadrantovými měniči, která se vyznačují:
 - vysoký výkon,
 - přibližně sinusový proud (s minimem vyšších harmonických složek),
 - proud ve fázi s napětím,
 - rekuperační brzdění,
 - vyšší citlivost na přerušované napájení (dlouhá doba náběhu výkonu po obnovení napájení),
- b) i v dohledné době budou stále ještě provozována i starší vozidla s diodovými či tyristorovými usměrňovači, která se vyznačují:
 - nižší výkon,
 - neharmonický proud (s obsahem vyšších harmonických složek),
 - proud zpožděn za napětím,
 - zpravidla bez rekuperačního brzdění,
 - nižší citlivost na přerušované napájení (dlouhá doba náběhu výkonu po obnovení napájení).

Všeobecně dopravci vyžadují:

- c) spojitě napájení (minimalizovat místa s nutností vypínat proud či stahovat sběrač) – přerušované napájení zhoršuje dynamiku rozjezdu, znemožňuje rekuperační brzdění, vede k opotřebení a tím i zvýšené poruchovosti a údržbě elektrických přístrojů, odpoutává strojvedoucího od sledování tratě, způsobuje riziko poškození vozidla i trakčního vedení při přehlédnutí či nerespektování návěsti, snižuje pohodlí ve vozech a namáhá klimatizační agregáty,
- d) plnohodnotná rekuperace (nová vozidla jsou standardně vyráběna bez brzdových odporů, absence rekuperace znamená nejen ztráty energie, ale výpadek elektrodynamické brzdy s následkem tepelného namáhání a opotřebení mechanických třecích brzd),
- e) sjízdnost trakčního vedení i při námraze a ledovce. Uhlíkové lišty sběračů proudu jsou pro svůj nízký abrazivní účinek výhodné pro nízké opotřebení trolejového drátu, avšak z hlediska svého opotřebení se však uhlíkové lišty sběračů staly, zejména v zimním období, limitujícím faktorem preventivní údržby vozidel,
- f) nízké náklady na elektřinu, tedy plné využití potenciálu rekuperace (prioritně mezi vozidly) a nízký poměr maximálního ke střednímu výkonu.

3. Připomínky ke zprávě EGU

Byla podrobně prodiskutována zpráva EGU s následujícími postřehy,

- rozlišovat nejvyšší sjednatelný 15 minutový střední výkon a maximální okamžitý výkon – v tabulce 6.2 uvést kromě maximální okamžitý výkon též nejvyšší sjednatelný 15 minutový střední výkon,
- rozlišovat pojem rekuperace a pojem přetoky přebytku rekuperovaného výkonu do DS, průběh čtvrt hodinových hodnot též doplnit průběhem okamžitých hodnot,
- z dosavadních výsledků zřejmé, že tradiční systém jednofázových transformátorů zapojených do V nevyhovuje požadavkům na něj kladeným z více důvodů:
 - o významné překračování nesymetrie 0,7 %,
 - o příliš vysoké maximální příkony vlivem jednostranného napájení,
 - o příliš vysoké odebírané maximální fázové proudy vlivem jednostranného napájení a dále zvýšené nesymetrií,
 - o příliš vysoké přetoky rekuperačních výkonů vlivem jednostranného napájení,
 - o příliš vysoké navracené maximální fázové proudy při rekuperaci vlivem jednostranného napájení a dále zvýšené nesymetrií,
 - o chybějící redundance (nesplnění podmínky $N - 1$),
 - o nespojité napájení - vysoká četnost dělení v trakčním vedení (při zřízení TNS 25 kV na vzdálenost původních TNS 3 kV (24 km) dochází k vypínání proudu po ujetí 12 km, což reprezentuje při rychlosti 160 km/h čas 4,5 min a při rychlosti 200 km/h čas 3,6 min,
 - o starší vozidla potřebují FKZ, avšak jejich kompatibilita s novými vozidly není garantována,
 - o velké úbytky napětí na trakčních transformátorech a jim předřazené vnitřní impedanci DS snižují přenosovou schopnost trakčního vedení (na vlastní trakční vedení zbývá jen malá část dovoleného úbytku napětí).

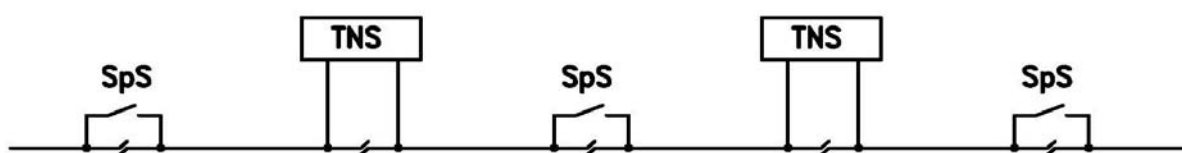
4. Závěr

EGU dopracuje studii podle diskuse a připomínek vznesených na tomto jednání. Tato studie nenahrazuje studie připojitelnosti jednotlivých TNS, je však dobrou výchozí základnou pro jejich kvalitní zpracování a úspěšnou akceptaci.

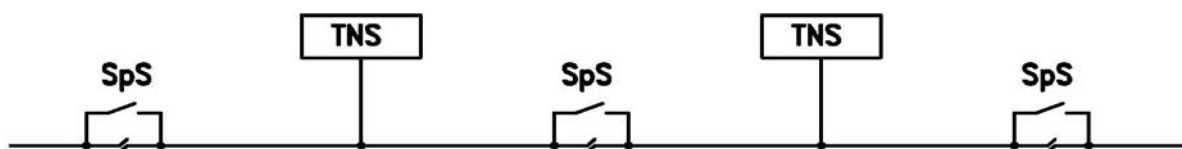
OBRÁZEK 1

Uspořádání napájeného úseku

a) Dělení trakčního vedení u TNS a u SpS



b) Dělení trakčního vedení u SpS

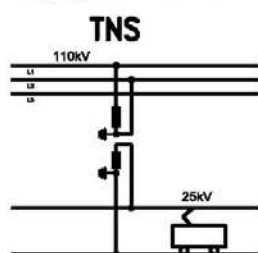


c) Spojité napájení bez dělení

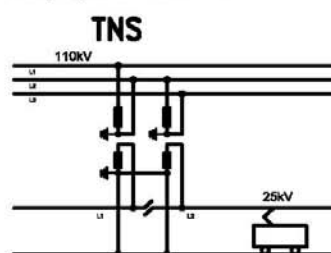


OBRÁZEK 2 Technologie TNS

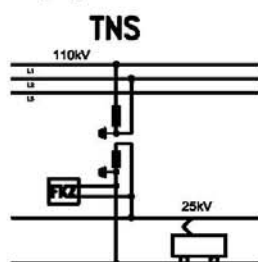
a) Zapojení do "T"



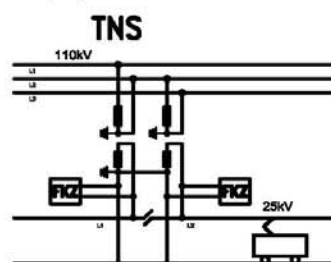
b) Zapojení do "V"



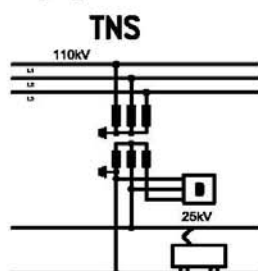
c) Zapojení do "T" s FKZ



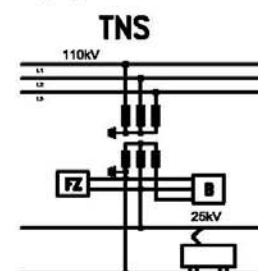
d) Zapojení do "V" s FKZ



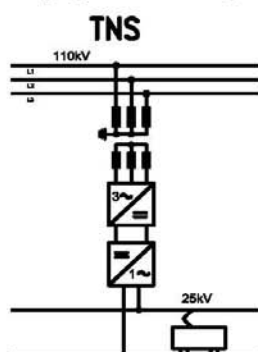
e) Zapojení s balancerem



f) Zapojení s balancerem a filtrem

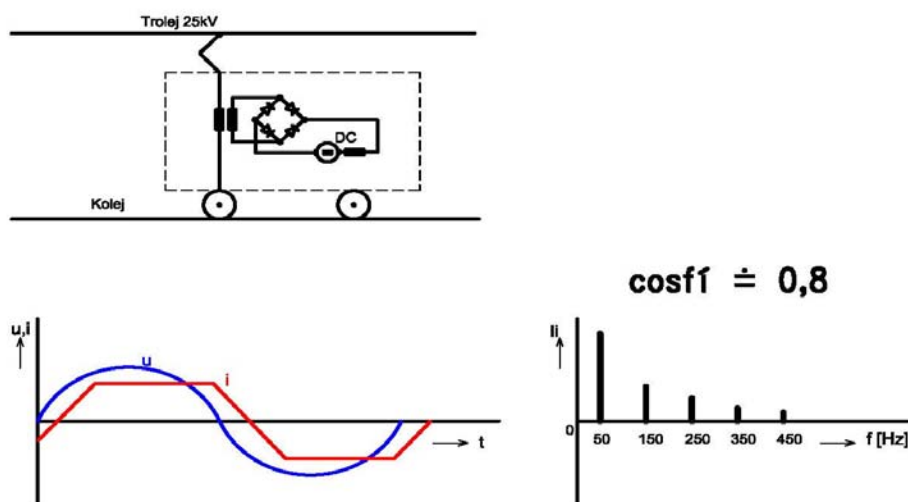


g) Zapojení s dvojicí měničů

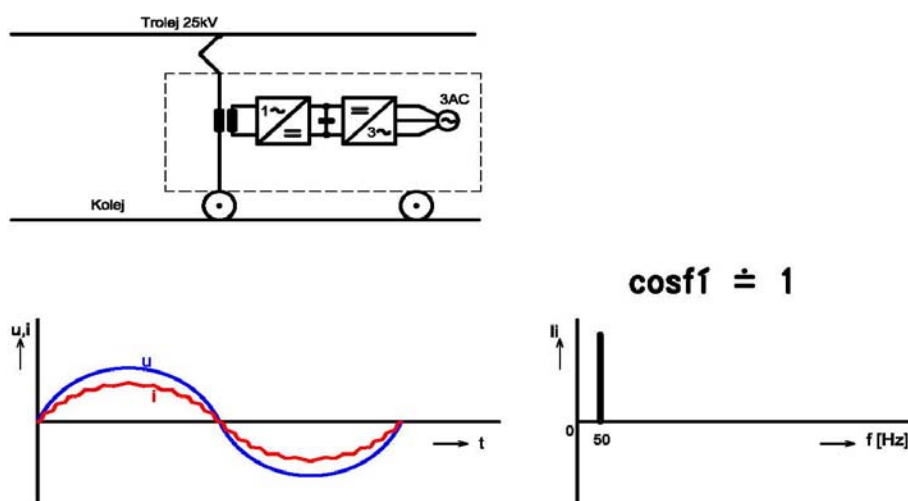


OBRÁZEK 3 Provedení vozidel

a) Staré vozidlo – diodový usměrňovač






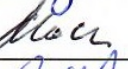
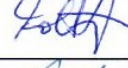




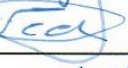
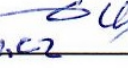


b) Nové vozidlo – vstupní 4Q měnič



PREZENČNÍ LISTINA

Odsouhlasení podmínek připojení TNS do distribuční soustavy
akce „Změna trakční soustavy na AC 25kV, 50Hz v úseku Nedakonice - Říkovice“

konané dne: 10.10.2017 na SUDOPu BRNO spol. s r.o., Kounicova 26

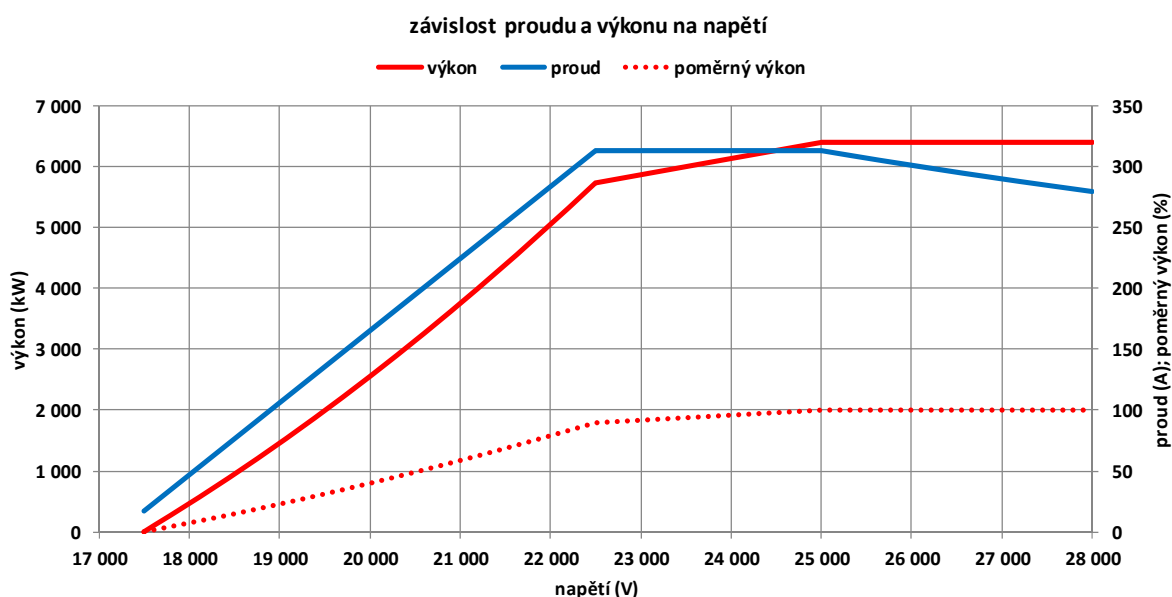
Poř. č.	jméno	organizace	telefon	mail	podpis
1	SIMACEK VITEZSLAV	SUDOP BRNO	606370453	vsimacek@ sudop-brno.cz	
2	JOSEF PODHRADSKÝ	—	730934101	jpodhradsky@ sudop-brno.cz	
3	Milan Kráňky	EGÚ Brno	724551158	milan.kraniky@ egubrno.cz	
4	Petr Modlitzka	EGÚ Brno	602571194	petr.modlitzka@ egubrno.cz	
5	DANIEL FOLTÝN	EON	733670123	daniel.foltyne@ eon.cz	
6	MIROSLAV KOBÁK	E.ON D.	724259348	miroslav.kobak@ eon.cz	
7	Jaromír Hrabý	SZDC GŘ OZ	724353269	Hrabý@szdc.cz	
8	MAREK CERMAN	SZDC SSV	724925500	cerman@szdc.cz	
9	IVO REJZEK	ČEZ d.	724924947	ivo.rejzek@ cez.cz	
10	JAN ŠEDA	ČEZ d.	720739850	jan.seda@ cez.cz	
11	Antonín Dolák	ČEZ Distribuce	606777913	antonindolak@ cedistribuce.cz	
12	Petr Kortýs	SUDOP	722625120	kortys@ sudopbrno.cz	
13	Petr FEDER	ČEZ d.	724853205	petr.feder@ cezdistribuce.cz	
14					
15					
16					
17					
18					

Zápis z porady před odevzdáním TES, 20.10.2017, Olomouc

Verze po připomínkách

Dne 20. 10. 2017 se uskutečnila porada před odevzdáním studie s názvem „Změna trakční soustavy na AC 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice – Říkovice“. Zpracovatelem studie je SUDOP Brno ve spolupráci s EGÚ Brno. Studie řeší napájení trakce v trojúhelníku Brno-Přerov-Břeclav. Prezenční listina je v příloze tohoto dokumentu. Na jednání zaznělo:

1. K problematice zachování napájecího napětí v mezích 0,9 až 1,1x U_n : Při poklesu napětí pod úroveň 0,9 U_n lokomotiva reguluje svůj výkon. Příklad omezování výkonu pro lokomotivu s P_n 6400 kW:



2. Padl dotaz, zda je technicky proveditelný přenos rekuperační energie v TV na vzdálenost 50 a více km (napětí na sběrači při rekuperaci 29 kV)?

Odpověď: Problematika využití rekuperované energie v souvislosti s přenosovou schopností trakčního vedení je složitá. Záleží na mnoha faktorech a v zásadě lze uvažovat s níže uvedenými situacemi

- V ideálním případě, kdy mezi lokomotivou, která rekuperuje a lokomotivou, která odebírá výkon, není žádné neutrální pole ani napájecí stanice, platí stejná přenosová schopnost trakčního vedení jako při napájení z TNS. Přitom zdroj (lokomotiva) má výstupní napětí na pantografu 29 kV. Takto lze přenést výkon 6,4 MW na vzdálenost 65 km, kdy na pantografu druhé lokomotivy bude 22,8 kV.

Pokud nebereme v potaz vliv TNS, platí následující tabulka úbytků napětí v TV mezi rekuperujícím vozidlem (P_{REK}) a vozidlem odebírajícím výkon ($P_{\text{VÝK}}$):

vzdálenost	$P_{\text{REK.}}$	ΔU	$P_{\text{VÝK.}}$
5 km	6 MW	0,5 kV	5,9 MW
10 km	6 MW	1 kV	5,8 MW
20 km	6 MW	2 kV	5,6 MW
30 km	6 MW	3 kV	5,4 MW
40 km	6 MW	4 kV	5,2 MW
50 km	6 MW	4,8 kV	5 MW

vzdálenost	$P_{\text{REK.}}$	ΔU	$P_{\text{VÝK.}}$
5 km	3 MW	0,2 kV	3 MW
10 km	3 MW	0,5 kV	2,9 MW
20 km	3 MW	1 kV	2,9 MW
30 km	3 MW	1,5 kV	2,8 MW
40 km	3 MW	2 kV	2,8 MW
50 km	3 MW	2,4 kV	2,7 MW

- V případě, že je mezi vlaky TNS, se rekuperovaný výkon rozdělí mezi TNS (jednalo by se o dodávku do distribuční sítě) a druhý vlak. Výkon se rozdělí ve stejném poměru jako je poměr impedance trakčního vedení od TNS po druhý vlak k impedanci samotné TNS. Transformátor v TNS má impedanci asi jako 17 km trakčního vedení, takže pokud bude druhý vlak od TNS vzdálen 17 km, měla by se rekuperovaná energie rozdělit mezi TNS a druhý vlak v poměru 1:1.
- V dopravní špičce bude využití rekuperované energie vyšší, protože jsou vlaky k sobě blíže. Také platí, že při spojitém napájení bez neutrálních polí se může rekuperovaná energie dostat i za TNS, a to v poměru, který je uveden výše. Ze srovnání simulovaných variant vyplývá, že při umístění neutrálních polí mezi TNS bude do distribuční sítě dodána energie 14,3 MW/2h. Pokud by u TNS bylo také neutrální pole a TNS by měla v provozu oba transformátory zapojené do „V“, tak by dodaná energie byla ještě vyšší. Když se v simulaci s frekvenčními měniči neutrální pole odstranila, dodaná energie do distribuční sítě klesla na 0,7 MW/2h a došlo tak k výrazné úspoře. Měniče navíc mohou kromě napětí měnit i úhel. Tímto by se mohl značně omezit přetok do nadřazené soustavy. Software řízení měniče umožňuje řízení odběrů při napájení proti sobě. V simulaci se s touto možností zatím nepočítá.

Instalace neutrálních polí do trakčního vedení je nutná pro řešení provozních stavů (výluky napájení, poruchy). Neutrální pole bude v základním provozním režimu překlenuto vypínači.















3. Zazněla připomínka k technologii 2x25 kV – bylo předběžně posouzeno napájení touto technologií – nasazení by nepřineslo výrazné zlepšení kvality napájení z pohledu SŽDC, ani by neřešilo nesymetrii vůči DS
4. Z odevzdané studie musí být zřejmé, jaké podklady vstoupily do dopravního modelu (grafikon, typ souprav, lokomotiv a jejich výkony), odkud byly převzaty a kým z GŘ byly odsouhlaseny. Bude uveden rok, pro který je simulace vytvořena a bude uveden vzorový příklad výpočtu čtvrt hodinového maxima se středním výkonem jednotlivých vlaků. Prokazatelné vstupní údaje jsou klíčové pro respektování výsledků simulací. Zpracovatel uvede, že simulace byly provedeny v dopravním modelu Open-Track a modelu napájení Open-Power-Net.

5. Simulace napájení je řešena pro propustnost tratí dle dnešních konvenčních technologií zabezpečovacích zařízení a ETCS aplikační úrovně L2. Není uvažováno s ETCS L3, pro kterou v současné době neexistuje detekce celistvosti svěšené soupravy. Při uvažování úrovně L3 by příkon potřebný pro napájení mohl být vyšší.
6. Hodnoty výhledově dosahovaných odběrů TNS by bylo pro názornost vhodné porovnat s dnes běžnými hodnotami, aby byl zřejmý procentní nárůst. Při vlastním návrhu měniče bude nutné dbát na optimalizaci instalovaného výkonu vzhledem k jeho využití. Při 30% využívání jmenovitého výkonu měniče by byla nízká jeho výsledná účinnost a nejednalo by se o optimalizované zařízení.
7. SŽE se pokusí sestavit statistiku spotřebované energie v co nejdelším časovém řezu (od roku 2002) pro vybrané oblasti/napájecí stanice. Statistika bude dle možností rozčleněna; např. na hrtkm výkony osobních a nákladních dopravců.
8. Dopravní model SUDOP Brno neřeší dopravní špičku nákladních vlaků, kde by teoreticky bylo možné dosáhnout ještě větších hodnot zatížení. Nákladní vlaky byly doplněny do volných časů špičkového GVD osobní dopravy. Přitom byl v zásadě použit stávající nebo v příslušných studiích proveditelnosti deklarovaný rozsah dopravy. Hmotnosti vlaků jsou ve výpočtech stejné jako u dnes přepravovaných vlaků, pouze se uvažuje s nasazením 6MW lokomotiv.
9. K problematice navyšování nákladních přeprav po železnici (na úkor silniční dopravy) – Od roku 2018 vstoupí v platnost nové cenové ujednání pro dopravce. Mělo by dojít k většímu vyrovnaní poplatků za osobní a za nákladní dopravu; poplatek za nákladní dopravu bude nižší než dosud. Naopak mýtné pro silniční nákladní dopravce poroste, spolu s rozsahem jeho uplatnění v síti.
10. Kritérium N-1 bude ve studii vnímáno tak, že výpadek jednoho napájecího prvku u stávající technologie TNS (se 100% zálohou) je posuzován jako N-1 a výpadek celé TNS jako N-2 (omezení dopravy). U systému TNS s frekvenčním měničem odpovídá stav N-1 výpadku celé TNS, stav N-2 pak výpadku dvou TNS (omezení dopravy). Pokud bude mít TNS dva frekvenční měniče (jeden jako zálohu), tak stav N-1 odpovídá výpadku jednoho frekvenčního měniče v TNS. Samotný měnič má možnost zálohy formou paralelních redundancí výkonových prvků (např. IGBT, IGCT).
11. SUDOP Brno prověří v simulacích výpadek venkovního vedení AC 25 kV z TNS Říkovice k trati 300.
12. V rámci projektu Nedakonice – Říkovice bude nutné vypracovat Studii připojitelnosti dle vyhl. 16/2016 (ze dne 13. ledna 2016 o podmínkách připojení k elektrizační soustavě).
13. Při stávající technologii napájení 1 AC 25 kV, 50 Hz nelze nesymetrii odběru řešit opatřeními na straně distributorů, tj. nelze zvyšovat zkratový výkon sítí. Opatření v sítích 110 kV by byla neúměrně drahá, navíc hlavním faktorem ovlivňujícím velikost zkratového výkonu jsou rozsah a výkony zdrojů, připojených do distribuční a přenosové soustavy. Provozovatelé distribučních soustav nemohou ze své pozice toto ovlivnit.
14. Bylo by vhodné ve studii posoudit rizika napájení pouze s jedním měničem na jednotlivých TNS ve vztahu k dostupnému výkonu v DS u těchto TNS. Z toho by mělo vzejít doporučení, kde osadit jeden měnič a kde dva. (Např. otázka přenesení potřebného výkonu z Černovic až do Říkovic při výpadku jediného měniče TNS Vyškov).
15. Měnič jedné TNS omezí výkonovou špičku ve spolupráci se sousedními TNS, které dodají výkon úměrný omezenému. Tento způsob řízení povede k rovnoměrnějšímu poměru mezi P_{max} a rezervovaným příkonem.
16. Rozsah údržby a servisní náklady na technologii frekvenčních měničů řeší generální projektant s potenciálními dodavateli. Detailní cenové rozborů budou řešeny v rámci zpracování projektu stavby. Lze předpokládat, že roční provozní náklady budou spojené s čištěním, chlazením, testy, atd. – cca v rozsahu 1-2 dny s ohledem na životní cyklus deklarovaný výrobcem.

17. Výsledky studie budou vyhodnoceny mj. multikriteriálním hodnocením pro napájení stávající technologií, balancéry a měniči, případně varianta měnič a trakční transformátor.
18. Ve zprávě bude porovnán výkon, který může v řešených napájecích bodech SŽDC odebírat nesymetricky s ohledem na dodržení maximální úrovně nesymetrie 0,7 % a výkon, který vychází z dopravního modelu.
19. Zpráva bude odevzdána 30. 10. 2017. Výsledky zazní v prezentaci pro představitele GŘ SŽDC.

V Olomouci 1. 11. 2017

Vladimír Vik
Marek Cerman

JMÉNO, PŘÍJMENÍ	ORGANIZACE	E-MAIL	MOBIL	PODPIS
MAREK ČERMAN	SŽDC SSV	cerman@szdc.cz	724 925 500	
MARTIN ŠVOBOP	SUDOP BRNO	MSVobop@sudop-brno.cz	608 865 217	
VITĚSLAV ŠIMÁČEK	SUDOP BRNO	vsimacek@studop-brno.cz	606 370 453	
Jan Lářecký	—	jlanecky@studop-brno.cz	603 720 822	
Petr Koutný	—	koutny@studop-brno.cz	672 625 120	
Miroslav Bocák	SŽDC SSV	bocak@szdc.cz	606 780 184	
Petr NOHEJL	SŽDC, s.o. SEF OŘOLC	nohejl@szdc.cz	602 708 494	
JIRÍ PODHRADSKÝ	SUDOP BRNO	jpodhradsky@studop-brno.cz	730 334 101	
RADOSLAV DOLÁK	—	R.DOLAK@SUDOP-BRNO.CZ	972 675 051	
LUKÁŠ ŽITKA	SDČL s.o. OŘOLC	zitka@sdcl.cz	724 484 989	
LOUTĚCH KUCHAR	SŽDC SSV	kucharlw@szdc.cz	702 164 084	
FRANTIŠEK ŠTOURAC	SŽDC SSV	STOURAC@SZDC.CZ	724 932 312	
PAVEL ŽITKA	GŽ SŽDC OZČ	zitka@szdc.cz	925 780 176	
Jeromír Hrubý	GŽ OZČ	Hruby@szdc.cz	724 353 269	
Vladimír VIK	SŽDC - SSV	viku@szdc.cz	925 996 022	