

# Analýza jalového výkonu v DS a toku jalovej energie medzi DS a PS (3)

Vývoj a trend napätových pomerov v prenosovej sústave (PS) za uplynulé roky poukazujú na zásadný vplyv distribučných sústav (DS), ako aj ich používateľov na meniaci sa tok a rast jalovej energie v elektrizačnej sústave (ES). Zmeny charakteru spotrebičov u používateľov, nárast kabelizácie, rozširovanie sústav s cieľom zabezpečenia vyššej spoľahlivosti dodávok elektrickej energie prinášajú v kontradikcii výzvy na riešenie neúmerného rastu toku jalovej energie z nižších napätových hladín až do PS. Článok analyzuje a prináša pohľad na tok jalového výkonu v DS na jednotlivých napätových hladinách, poukazuje na príčiny jeho vzniku a definuje možnú potrebu kompenzačných zariadení.

## Výrobné elektrické zariadenia v DS

Jednou z technických možností, ako kompenzovať jalový výkon, je využitie výrobných zariadení elektrickej energie pripojených do distribučnej sústavy. Zdroje pripojené do DS pred roka 2008 spravidla nedisponujú exaktne opísanými technickými podmienkami na ich prevádzkovanie z pohľadu DS v zmluve o pripojení, nakoľko tie sa neuzatvárali. Prevažne ide o jednotky kusov teplárenských zdrojov a vodných elektrární časti Vážskej kaskády. Tieto zdroje celkovo spotrebúvajú približne 10 MVar jalového výkonu, i keď niektoré z nich sú prevádzkované v stave prebudenia sumárne do úrovne desiatich MVar. Výrobné zariadenia pripájané od roku 2009, väčšinou s primárnym zdrojom energie obnoviteľného charakteru, disponujú technickými podmienkami stanovenými v zmluve o pripojení v súlade s platnými Technickými podmienkami PDS. Všeobecne možno konštatovať, že pre tieto zdroje sú nastavené podmienky prevádzky s účinníkom  $\cos \varphi = 1 - 0,97$  induktívnym (odber z DS), pričom spravidla sú všetky prevádzkované s účinníkom blízky hodnote jedna. Ak by sme teoreticky uvažovali o využití potenciálu výrobných elektrických zariadení s inštalovaným výkonom nad 100 kW, ktoré sú zaradené do dispečerského riadenia s prenosom dát do systému SCADA, možno na základe výroby činného výkonu odhadnúť, aký veľký regulačný potenciál by bol dosiahnutý pri požiadavke prevádzky s induktívnym účinníkom – plošne pre všetky takého zdroje.

Na obr. 26 je na základe 15-minútových priebežných meraní modrou krivkou zobrazený priebeh svorkovej výroby a dodávky činného výkonu do DS. Pri uvažovaní induktívneho účinníka  $\cos \varphi = 0,97$  je vypočítaný a zelenou krivkou zobrazený teoretický odoberaný jalový výkon z DS. Priemerný takto získaný odsávaný jalový výkon z DS je na úrovni 80 až 90 MVar. Tento potenciál je však pomerne nestabilný, nakoľko výroba je pri niektorých typoch zdrojov pomerne ťažko predikovateľná. Minimá sumárneho výkonu počas roka sú na úrovni 30 MVar, maximá na hodnote 130 MVar.

Vzhľadom na nestabilitu takto získaného regulačného jalového výkonu je otázne, či by pri komplexnom riešení problematiky celkovej

potrebnej kompenzácie DS voči PS na úrovni viac ako 380 MVar bolo vhodné tieto teoretické možnosti zdrojov využiť, ak nimi ich riadiace a regulačné systémy vôbec disponujú (existujúce striedačové systémy, budenia a pod.).

## Iné zdroje jalového výkonu v DS

Pri analýze vzniku jalového výkonu v distribučnej sústave boli identifikované ešte dve kategórie zariadení:

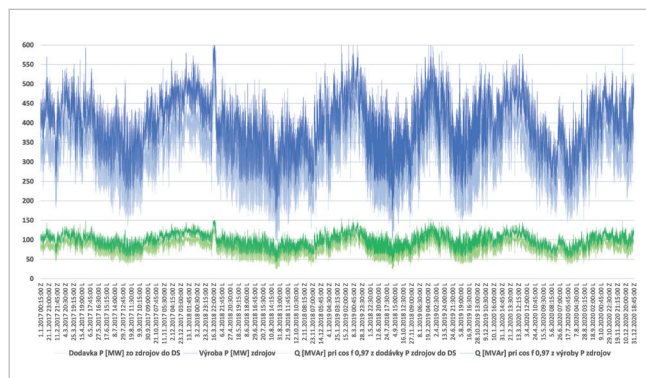
- Väzobné vysieláče hromadného diaľkového ovládania (HDO) na ovládanie prepínania taríf odberu u zákazníkov. Tieto vysieláče sú v závislosti od lokality trvalo pripojené do napätových hladín 110 kV alebo 22 kV. Celkový takto generovaný objem jalového výkonu je na úrovni 30 MVar. Tieto vysieláče by mali byť postupne eliminované a nahradené inou rádiovou technológiou do roku 2023.
- Prirodzeným spotrebičom jalového výkonu sú distribučné transformátory VN/NN, ktoré sú historicky kompenzované pripojením zodpovedajúcej kapacitnej batérie v závislosti od výkonu transformátora. Táto kompenzácia technicky vychádzala z predpokladu induktívnych záťaží na strane NN odberateľov. V rámci analýz bol identifikovaný celkový sumárny výkon týchto kapacitných batérií na úrovni cca 38 MVar. Prijaté opatrenie zavádza ďalšie nenasadzovanie tejto kompenzácie a najmä plošné odpájanie v rámci pravidelnej preventívnej údržby na trafostaniciach s cieľom eliminácie do roku 2024.

## Možnosti kompenzácie jalového výkonu

Vzhľadom na trend rastu jalového výkonu bude pravdepodobne potrebné aj na úrovni distribučných sústav reálne riešiť kompenzáciu jalového výkonu. Z technického pohľadu je zrejmé, že kompenzácia by mala byť čo najbližšie k miestu vzniku jalového výkonu tak, aby neboli nadmerne zaťažované vedenia a transformátory týmto tokom energie.

Problematika nasadenia a prevádzky kompenzačných tlmiviek jalového výkonu v distribučných sústavách je však nová. Reálne skúsenosti prakticky, ani vo svete, neexistujú. Sú jednotky inštalácií v priemysle, prípadne realizácie u používateľov DS v rámci pripájania výrobných zariadení, keď sú trvalo kompenzované káblové vedenia, pomocou ktorých sú zdroje pripojené. Ide prakticky o tlmivky s výkonom do 5 MVar. Najbližšie, z pohľadu DS, sú inštalácie tlmiviek s pripojením do terciárnych vinutí transformátorov 400/110 kV, avšak opäť z pohľadu pomerov v DS ide o inú problematiku prevádzky.

Kompenzačné tlmivky možno z hľadiska ich vyhotovenia rozdeliť na suché a olejové. Suché tlmivky sa vyrábajú ako jednofázové jednotky určené prevažne pre napätovú úroveň 110 kV. Kompenzačný výkon sa pohybuje v rozsahu 10 až 40 MVar (možno uvažovať aj s väčším výkonom do 100 MVar). Výkon nie je možné ladiť plynulo. Celkový záber pozemku pri usporiadaní do trojuholníka je



Obr. 26 Priebeh výroby činného výkonu a teoretický výpočet jalového výkonu zdrojov nad 100 kW

cca 12 x 12 m s výškou presahujúcou 8 m. Straty sú na úrovni 8 kW/MVAr. Z uvedeného základného opisu je zrejmé, že aplikácia takých tlmiviek je možná najmä vo vonkajších 110 kV rozvodniach s klasickou technológiou. Medzi základné výhody oproti olejovým tlmivkám, okrem ceny a teoretickej bezúdržbovosti prevádzky, patrí skutočnosť, že nie je potrebné riešiť olejovú nádržku, a zároveň to, že inštalácia môže byť priestorovo modúlárnejšia. Nevýhodami sú chránenie priestoru okolo tlmiviek z pohľadu elektromagnetickej kompatibility, s tým súvisiaca zložitejšia uzemňovacia sústava, základové diely, výrazne vyššia hlučnosť a horšie chladenie.

Olejové tlmivky z hľadiska vyhotovenia sú vyrábané buď ako trojfázové, alebo jednofázové jednotky určené pre napätovú úroveň 110 kV aj 22 kV. Vo vyhotovení sa líšia najmä typom jadra: Core form – magneticky tienené (bez magnetických elementov v jadre) alebo s magnetickými elementmi v jadre s medzerami a Shell form – magnetické tienenie okolo vinutia. Tieto rozdiely zásadne ovplyvňujú linearitu reaktancie vo vzťahu k napätiu, následne aj napätie v DS, nulovú zložku impedancie a pod. Kompenzačný výkon sa pohybuje v rozsahu 20 až 40 MVAr pre VVN úroveň a 0,2 až 8 MVAr (možno uvažovať aj s väčším výkonom do 20 MVAr) pre VN úroveň. Realizácia je možná aj s plynulou laditeľnosťou. Celkové rozmery na úrovni VVN sú v zásade podobné ako pri transformátore 110/23 kV cca 5 x 4 x 4,5 m, na úrovni VN 3 x 2,5 x 3,5 m. Straty sú približne 10 kW/MVAr pre VVN a 8 kW/MVAr pre VN. Medzi základné výhody v porovnaní so suchými tlmivkami môžeme zaradiť možnosti regulácie výkonu, menšie nároky na trvalo zabratý priestor, zabezpečenie EMC vďaka nádobe a nižšia hlučnosť. Nevýhodami je najmä potreba olejovej nádržky, nutnosť väčšej príjazdovej cesty, menšia modularita, pravidelná kontrola oleja, čiastkové výboje a pod.

## Záver

Komplexná analýza toku jalového výkonu medzi PS a DS, ako aj v samotnej distribučnej sústave poukázala na výrazný trend rastu jalovej energie v DS v priemere 21 MVAr/rok. Na úrovni VVN a VN je hlavnou príčinou rozvoj, zahusťovanie sústavy a najmä kabeľizácia vedení, ktorá na jednej strane prináša vyššiu spoľahlivosť dodávok elektrickej energie a ľahšiu priechodnosť územím pri výstavbe, na druhej strane však zvyšuje technické a investičné nároky na kompenzáciu jalového výkonu a kapacitného prúdu pri zemných spojeniach. Trend nárastu teoretického jalového výkonu nezaťažených vedení VVN a VN na základe analýzy dát z uplynulých siedmich rokov je na úrovni 5 MVAr/rok.

V sústave NN sa na vzorke dát z obdobia roka od 5/2018 do 6/2019 analyzovali kumulatívne toky výkonu na vytipovaných distribučných trafostaniciach VN/NN s delením na mestský charakter (981 ks) a vidiecky charakter (159 ks). Hrubou aproximáciou získaných záverov na celkový počet cca 8 500 trafostaníc v DS bol zrátaný predpokladaný nárast jalového výkonu v NN sústave na úrovni cca 16,1 MVAr/rok.

Ak zrátame súčet priemerného prírastku nabíjajúcich výkonov vedení VVN a VN s predpokladaným nárastom jalového výkonu v NN sústave ( $5 + 16,1 = 21,1$  MVAr/rok), takto získaná hodnota celkového nárastu za jednotlivé napäťové hladiny korešponduje s reálne zaznamenaným priemerným rastom toku jalového výkonu v distribučnej sústave medzi PS/DS na úrovni 21 MVAr/rok.

Merania tiež jednoznačne poukázali na priamu závislosť generovania jalového výkonu v súvislosti so zaťažením sústavy činným výkonom. Najvýraznejší dosah z tohto pohľadu je v sústave VN, kde je denná zmena jalového výkonu až na úrovni 130 MVAr oproti 30 MVAr vo VVN sústave. V NN sústave sa tento fenomén vyskytuje najmä v mestskom type charakteru odberu.

Možnosti riešenia zamedzenia dodávok celkového jalového výkonu z DS do PS na dnešnej úrovni dosahujúcej 390 MVAr bude výzvou do ďalšieho obdobia. Ako najjednoduchšie čiastkové opatrenia sa javia odstránenie vysilačov HDO a zrušenie kapacitnej kompenzácie na distribučných transformátoroch VN/NN, čo by malo priniesť do konca roka 2025 zníženie jalového výkonu o cca 67 MVAr.

Kompenzácia využitím zariadení na výrobu elektrickej energie je nedostatočná a najmä nestabilná. Teoretický prínos v čase uvažovania nasadenia výroby s účinníkom  $\cos \varphi = 0,97$  by bol iba na úrovni 30 MVAr z okamžitého vyrábaného výkonu. Medzi ďalšie opatrenia môžeme zaradiť rozšírenie dodržiavania pásma účinníka u vybraných zákazníkov, zvýšenie tarify za dodávku jalového výkonu do DS a pod. Tieto opatrenia však nebudú dostatočné, nakoľko najväčší problém toku jalového výkonu z DS do PS je práve v čase minimálneho zaťaženia používateľmi DS.

Ako analýza ukázala, požiadavky v aktuálne platných sieťových predpisoch sú technicky diskutabilné a nie vhodne nastavené. Obdobne vplyv na napätie, resp. vznik nadpätia v PS, čo bol jeden z primárnych podnetov na riešenie problematiky toku jalového výkonu z DS do PS, nie vždy súvisí so zmenami toku jalového výkonu medzi PS a DS. Odpovede na vhodné riešenie kompenzácie v ES SR by mala priniesť spoločná štúdia, ktorej výstupom by malo byť nastavenie spôsobu vyhodnocovania pretoku jalového výkonu a stanovenie komplexných technických riešení kompenzácie v ES SR vrátane ekonomicky vhodného modelu v súlade s novou regulačnou politikou, ako aj konkrétnymi zmenami v primárnej, sekundárnej aj terciárnej legislatíve.

V prípade riešenia kompenzácie jalového výkonu na úrovni DS je ako najreálnejšia možnosť centrálna kompenzácia v staniách PS/DS. Technicky ide o riešenie suchými, resp. olejovými tlmivkami do úrovne približne 2 x 40 MVAr. V prípade ďalšej potreby kompenzácie na rozvodniach VVN/VN sa javí ako vhodné riešenie použitie olejových tlmiviek do úrovne približne 2 x 8 MVAr. Vzhľadom na fakt, že reálne skúsenosti s prevádzkou kompenzačných tlmiviek v DS neexistujú, bude nevyhnutné zvolenie správneho dizajnu a dôsledná testovacia prevádzka pred inštaláciou prípadného celoplošného nasadenia. Okrem otvorených technicko-prevádzkových otázok bude náročné vyriešiť aj iné súvisiace požiadavky týkajúce sa napr. hlučnosti a priestorových nárokov, nakoľko existujúce vyhotovenie rozvodní neuvažuje s inštalovaním takejto technológie; v mnohých prípadoch neexistujú priestorové možnosti rozšírenia samotnej elektrickej stanice, pričom viaceré sú situované v blízkosti obytných zón.

## Literatúra

- [1] Nariadenie komisie (EU) 2016/1388 zo 17. augusta 2016, ktorým sa stanovuje sieťový predpis pre pripojenie odberateľov do elektrizačnej sústavy
- [2] Technické podmienky PPS, príloha N4, Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a. s.
- [3] Koniček, Michal: Analýza toku jalového výkonu na VN/NN TR.

Koniec seriálu.



### Ing. Miroslav Jalec

V roku 2004 ukončil štúdium na Fakulte elektrotechniky a informatiky STU v Bratislave, odbor výroba a rozvod elektrickej energie. V rokoch 2002 – 2006 pracoval ako projektant NN a VN zariadení. Od roku 2006 je vedúcim rozvoja distribučnej sústavy v spoločnosti Západoslovenská distribučná, a. s. Podieľa sa na riadení rozvoja VVN a VN sústavy, metodík, legislatívy, pripájania priemyselných odberateľov, pripájania a merania výrobných zariadení elektrickej energie, ako aj nasadzovania nových technických riešení najmä v oblasti VN sústavy.

### Ing. Miroslav Jalec

Západoslovenská distribučná, a. s.  
miroslav.jalec@zsdisk.sk