

HODNOTENIE ÚČINNOSTI REGULÁCIE NAPÄTIA

J. Altus¹, M. Rapšík²

¹ Katedra výkonových elektrotechnických systémov, Elektrotechnická fakulta, ŽU v Žiline,
 Univerzitná 1, 010 01 Žilina, Slovensko

² Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a.s.,
 Mlynské nivy 59/A, 824 84 Bratislava 26, Slovensko
 E-mail: Juraj.Altus@fel.uniza.sk, rapsik_miroslav@sepsas.sk

Anotácia:

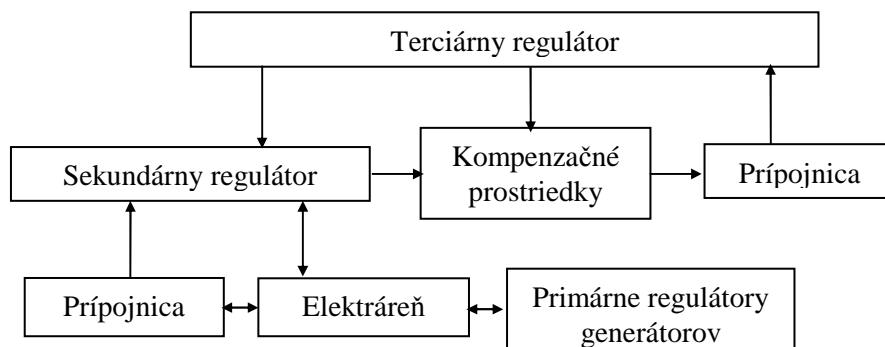
Článok pojednáva o základoch regulácie napätia v pilotných uzloch ES Slovenska. Analyzuje z hľadiska denných, mesačných a ročných priemerov uzlové napätia na úrovni 220 a 400 kV v rozvodniach prenosovej sústavy Slovenska. Na základe vyhodnotenia smerodajnej odchýlky napätia je hodnotená účinnosť regulácie napätia v jednotlivých uzloch. V závere článku sú zhrnuté výsledky analýzy v grafickej forme.

1. ÚVOD

Napätie ako jeden zo základných prevádzkových parametrov chodu elektrizačnej sústavy má na rozdiel od frekvencie lokálny charakter a je ovplyvňované v celom prenosovom reťazci od zdroja až ku spotrebiteľu. Na úrovni prenosovej sústavy sa hodnotí ako parameter súvisiaci so spoľahlivosťou, bezpečnosťou a ekonomikou prevádzky, na strane spotrebiteľa ako kvalitatívny ukazovateľ. Aj **pri veľmi nízkej úrovni napätia** v prenosovej sústave je možné u spotrebiteľov odbočkami transformátorov a kompenzáciou vyregulovať napätie do normálnej úrovne. To znamená, že aj keď u spotrebiteľa je „všetko v poriadku“, môže prenosová sústava pracovať blízko hranice stability napätia a jej rezervy jalového výkonu sú vyčerpané. V tomto prípade aj malá porucha môže viesť k „zrúteniu napätia“ a k rozsiahlej havárii.

Pri veľmi vysokej úrovni napätia v prenosovej sústave môže nastať stav, keď sa už nedá generátormi, odbočkami transformátorov a kompenzáciou znížiť napätie a hrozí prekročenie menovitých hodnôt pripojených elektrických strojov a prístrojov. Táto situácia nastáva najmä vtedy, keď je nižšie zaťaženie elektrizačnej sústavy, ako napr. v letnom období alebo počas sviatkov [3].

Regulácia napätia vyžaduje v sústave určitú rezervu jalového výkonu. Jej veľkosť je závislá od rýchlosti zmien jalového zaťaženia, ktoré je ale počas dňa rôzne. V dobe denného maxima prevažujú indukčné spotrebiče a napätie klesá, v noci zasa odporové a napätie vzrastá. Zmena odberu alebo dodávky jalového výkonu úzko súvisí s reguláciou napätia a so stabilitou chodu sústavy. Kvalitne realizovaný a prevádzkovaný systém regulácie napätí a jalových výkonov prináša výhody prevádzkovateľom prenosových zariadení vo forme nižších nákladov na prenos elektrickej energie, na obsluhu zariadení a väčšej bezpečnosti prevádzky. Spotrebiteľom elektrickej energie prináša vyššiu kvalitu dodávanej energie formou kvalitného napätia. Regulácia napätia a jalového výkonu sa realizuje hierarchicky na troch úrovniach: **primárnej, sekundárnej a terciárnej**, (obr. 1). Každá úroveň má inú akčnú rýchlosť (sekundy, minúty, desiatky minút), inú lokalizáciu (generátory, elektrárne, elektrické stanice alebo centrum), iný akčný dosah (generátor, pilotný uzol, celá sústava) a iné ciele (ochrana generátora, riadenie napätia v oblasti, minimalizácia strát). Pre reguláciu jalového výkonu sa využívajú synchronne generátory, regulačné transformátory, statické a dynamické kompenzačné zariadenia [1].



Obr. 1: Principiálna schéma regulácie napätia

2. HODNOTENIE NAPÄTIA

Napätie a jalový výkon sú prevádzkovo navzájom previazané veličiny a ich regulácia je jedna z hodnôt, ktorá je v dispečerskom riadení priebežne sledovaná a hodnotená. Na rozdiel od frekvencie sú to miestne regulované veličiny a na ich reguláciu sa používa viac metód. Na Slovensku sa v rámci prenosovej sústavy uplatňuje sekundárna regulácia napätia, ktorá vychádza z pilotných uzlov, t. j. uzlov, ktoré majú dostatočnú rezervu jalového výkonu. Napäťový charakter ostatných uzlov je potom určovaný napätím v pilotnom uzle. Veľkosť zmeny napätia závisí okrem veľkosti zmeny jalového výkonu tiež od aktuálnej veľkosti citlivostnej konštanty medzi uzlami. Táto konštantu charakterizuje elektrickú vzdialenosť uzlov a je určená topológiou sústavy v danom okamihu.

Pre kontrolu riadenia napätia v elektrizačnej sústave sa stanovujú plánované hodnoty napätia uzlových bodov a potom sa v nich vyhodnocujú skutočné pomery na základe hodinových odpočtov podľa nasledovných kritérií:

- vypočíta sa stredná hodnota napätia pre zvolené obdobie, čo býva spravidla mesiac

$$U_s = \frac{\sum_{k=1}^m U_k \cdot n_k}{\sum_{k=1}^m n_k}, \quad (1)$$

kde je m počet hodnôt napätia,
 n_k početnosť k-tej hodnoty,
 U_k k-tá hodnota napätia.

- určí sa stredná kvadratická odchýlka napätia

$$J = \frac{\sum_{k=1}^m (U_k - U_s)^2}{\sum_{k=1}^m n_k}. \quad (2)$$

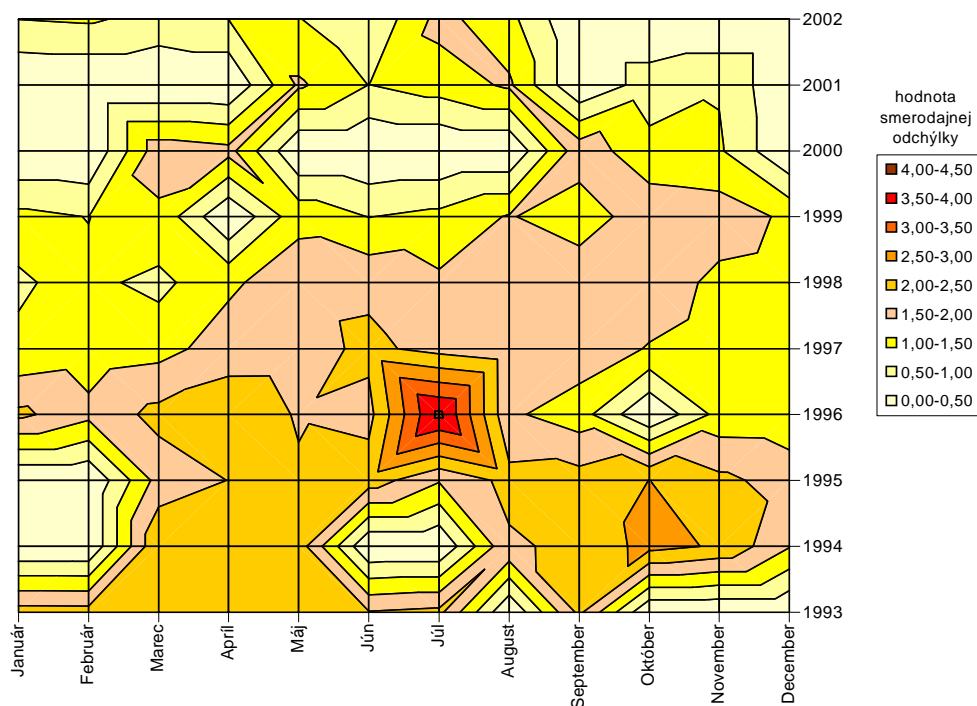
- z predchádzajúcich hodnôt sa vypočíta smerodajná odchýlka napätia

$$\sigma = \sqrt{J}. \quad (3)$$

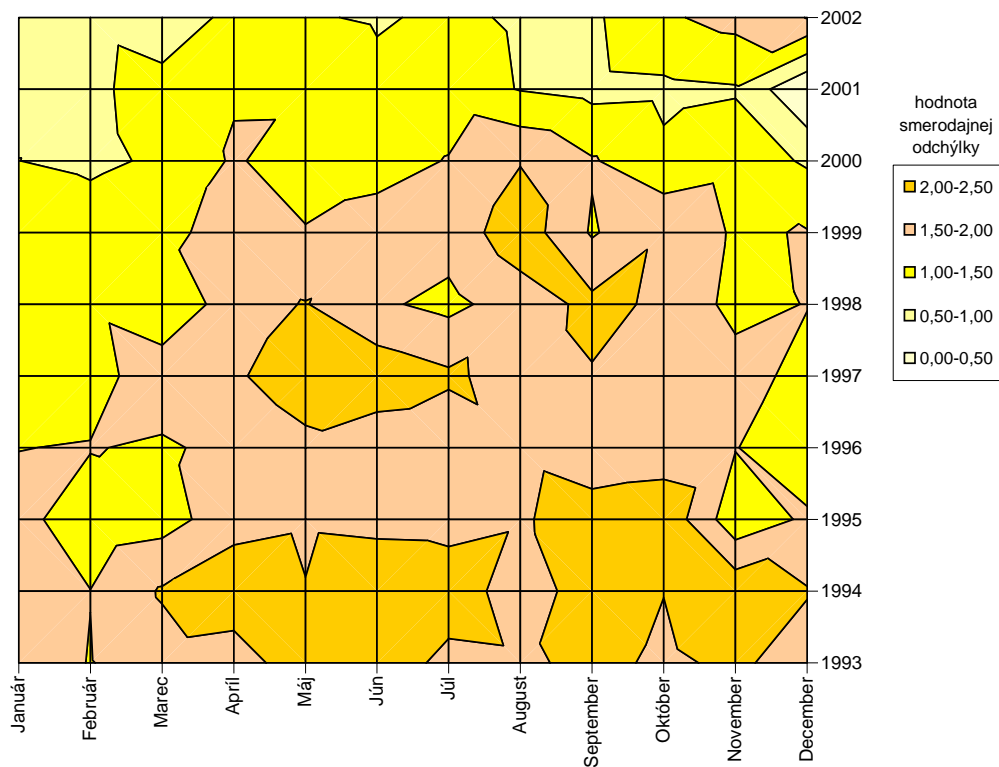
Pre dispečerské riadenie ES Slovenska sú odporúčané hodnoty smerodajnej odchýlky napätia tak, aby skutočné vypočítané hodnoty pre napäťovú hladinu 400 kV boli menšie ako 6 kV a pre napäťovú hladinu 220 kV menšie ako 3 kV [2].

3. ANALÝZA VÝSLEDKOV

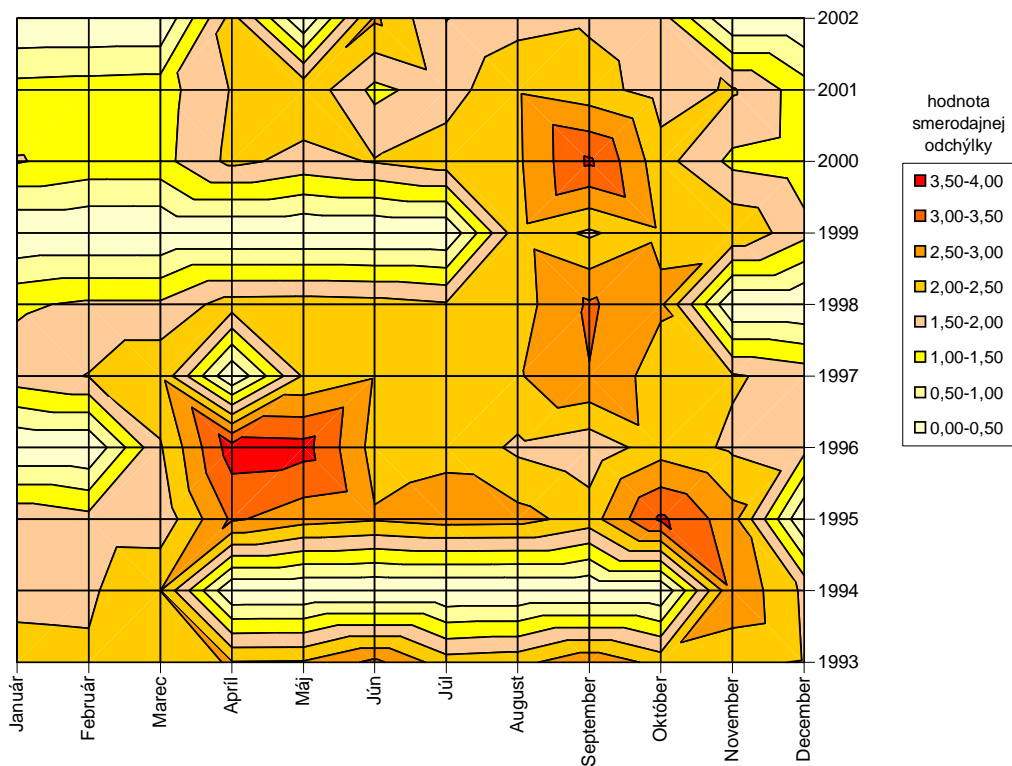
Analyzované boli denné, mesačné a ročné priemery uzlových napätí na úrovni 110, 220 a 400 kV v rozvodniach prenosovej sústavy Slovenska. Databáza obsahovala hodinové odpočty napätia v 89 miestach prenosovej sústavy Slovenska v rokoch 1993 až 2002. V tomto príspevku sú uvedené niektoré výsledky analýz len z uzlových bodov na úrovni 400 kV. Údaje o napätí z jednotlivých bodov prenosovej sústavy boli vyhodnocované podľa vzťahov (1), (2) a (3). Z takto vypočítaných údajov sú prezentované výsledky v grafickej forme v tvare povrchových grafov uvedených na obr.2 až obr. 6.



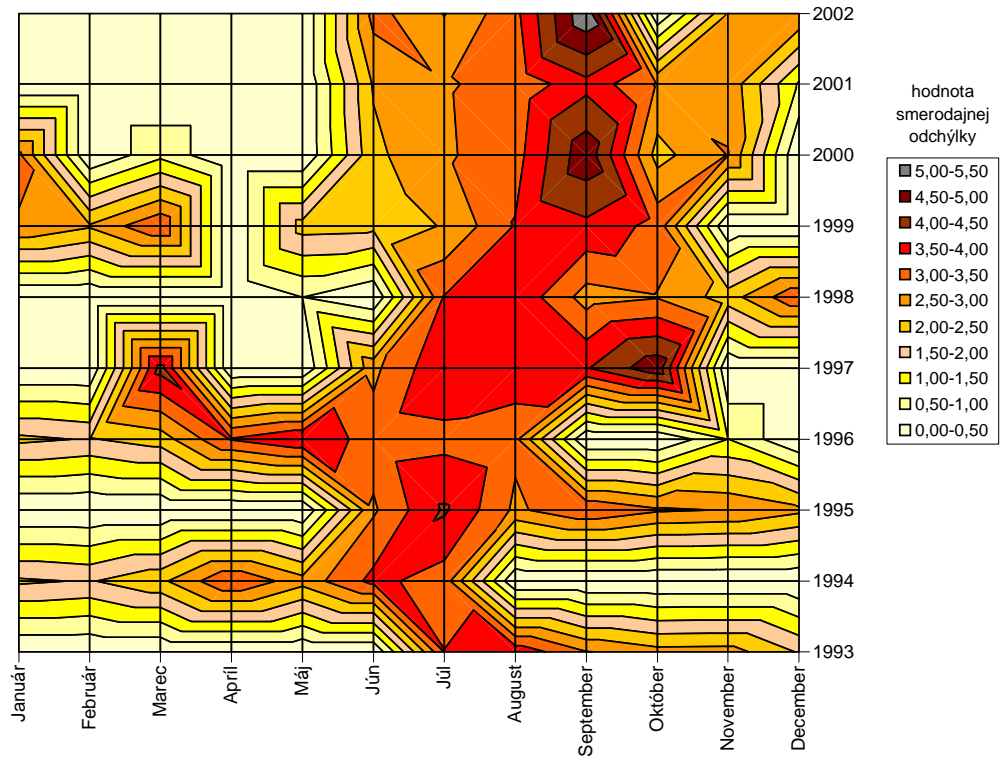
Obr.2: Smerodajná odchýlka napätia v rozvodni BOŠACA



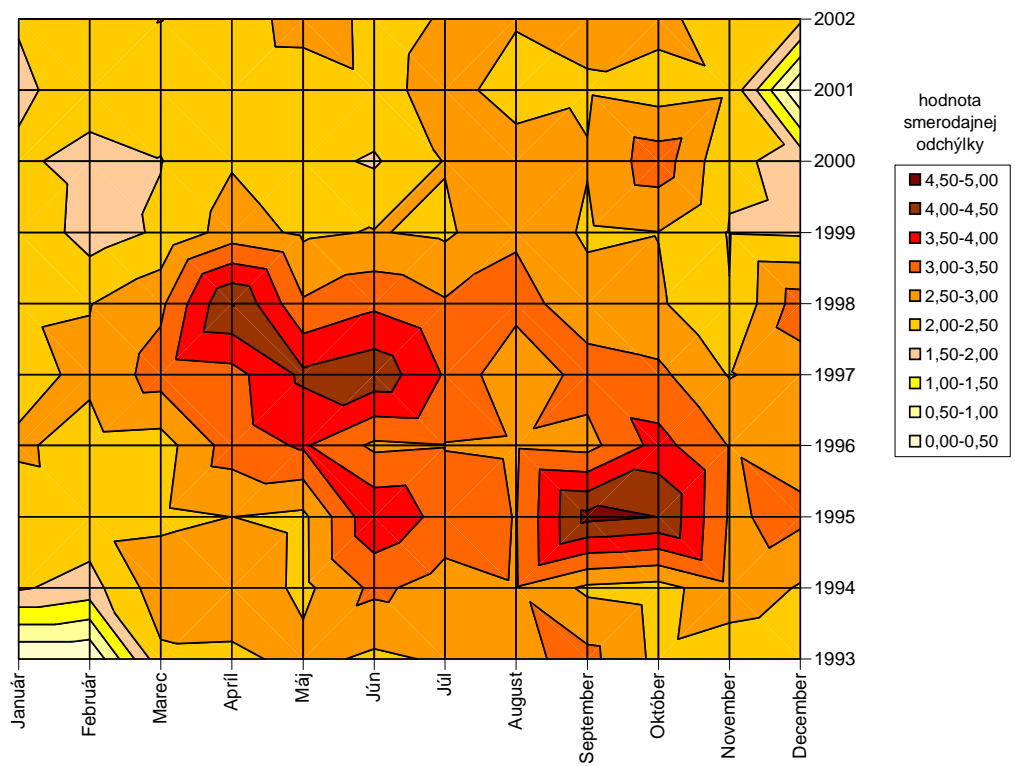
Obr.3: Smerodajná odchýlka napätia v rozvodni Križovany



Obr.4: Smerodajná odchýlka napätia v rozvodni Sučany



Obr.5: Smerodajná odchýlka napätia v rozvodni V. Kapušany



Obr.6: Smerodajná odchýlka napätia v rozvodni Lemešany

Grafy na obrázkoch znázorňujú veľkosť mesačných smerodajných odchýlok napätia v jednotlivých bodoch uzlovej sústavy v rokoch 1993 - 2002. Z uvedených zobrazení a analýz vyplýva, že hodnoty smerodajnej odchýlky napätí sa znižujú postupnými kvalitatívnymi zmenami regulačných možností zdrojov jalových výkonov a zariadení prenosovej sústavy. Na uvedených obrázkoch je to vidieť najmä zo „zjasňovania grafov“ a znižovania počtu farieb. Znamená to zlepšenie kvality regulácie a tým aj kvality dodávanej elektrickej energie spotrebiteľom pre všetky analyzované uzlové body sústavy. Výnimku predstavuje obr. 2, kde je zrejмый vplyv dostatočnej rezervy jalového výkonu a preto je smerodajná odchýlka v sledovaných rokoch takmer nemenná. Z obr. 4. je zrejмый veľký rozsah smerodajnej odchýlky napätia, čo je dané typom použitého regulačného prostriedku v rozvodni Veľké Kapušany – tlmivkou, ktorá sa pripojuje priamo na prípojnice napät'ovej úrovne 400 kV a umožňuje iba skokovú zmenu jalového výkonu 165 Mvar. Napr. v septembri roku 2000 bola vykonávaná revízia tlmivky a preto dosahovali napätia na úrovni 400 kV maximálne hodnoty. Rovnako na veľkosť napätia vplyva absencia transformátora, minimálna prevádzka generátorov v EVO 2 a zahraničné vedenie zaústené do tejto rozvodne.

Spracovanie údajov bolo zamerané na také vyhodnocovanie hodnôt napätia, aby bol zrejмый vplyv regulácie napätia v pilotných uzloch prenosovej sústavy na udržanie vyhovujúcich veľkostí napätia v celej sústave. Je nutné upozorniť na veľké závislosti smerodajnej odchýlky od odstavky regulačných zdrojov a vybraných transformátorov v prenosovej sústave. Ako príklad možno uviesť vypnutie transformátora T401 Lemešany v septembri roku 1995 (obr. 5) a tým odstavenie tlmiviek TL1 a TL2, ktoré sa pripojujú do jeho terciárneho vinutia. Očakávaný prínos regulácie napätia sa prejaví nielen v hospodárnej prevádzke elektrizačnej sústavy, znížení strát, ale predovšetkým v zaistení bezpečnosti prevádzky vrátane dynamickej a statickej stability v elektrizačnej sústave [4].

4. ZHODNOTENIE

Z uvedených analýz vyplýva, že veľkosť smerodajnej odchýlky napätí na Slovensku sa postupne znižuje, čo svedčí nielen o postupných kvalitatívnych zmenách v riadení sústavy, ale aj o nových regulačných možnostiach zdrojov jalových výkonov a zariadení prenosovej sústavy.

5. LITERATÚRA

- [1] Beláň, A., Eleschová, Ž., Janiček, F. *Analýza regulačných schopností generátorov jadrovej elektrárne po výmene budenia*. AT&P Journal 1, 2003. str. 67 – 70
- [2] Griger, V., Gramblička, M., Novák, M., Pokorný M. *Prevádzka, riadenie a kontrola prepojenej elektrizačnej sústavy*. ŽU v Žiline EDIS, Žilina, 2001
- [3] Kolcun, M. a kol. *Riadenie prevádzky elektrizačných sústav*. Mercury – Smékal, Košice, 2001
- [4] Koudela, P., Novák, M. *Regulácia napätia v prenosovej sústave*. časopis EE, ročník 5, číslo 4, 1999, str. 19-20
- [5] Novák, M., Pokorný, M., Koudela, P., Otčenášová, A. *Tertiary voltage control in power systém*, In: Riadenie v energetike 2000, Bratislava, str. 275-280
- [6] Pokorný, M.; Novák, M.; Koudela, P.; Diosi, T. *Facilities for Voltage Control in Power System*, In: Elektroenergetika 2000, Ostrava, str. 117-121