

Peter Podolinský, Juraj Kurimský

Súvisia priečne straty a zrážky?

Abstrakt. Príspevok sa venuje problematike priečných strát, ktoré vznikajú na vonkajších elektrických vedeniach veľmi vysokého a zvlášť vysokého napätia pri nepriaznivých poveternostných podmienkach, kedy na veľkosť uvedených strát vplyvajú dva hlavné faktory: zvod a vo väčšej miere koróna. Opierajúc sa o analýzu údajov z praxe sú prezentované časové závislosti priečných strát a intenzity zrážok v priebehu rokov 2011 a 2012.

Kľúčové slová: Prenosová sústava; priečne straty; zvod; korónový výboj

Abstract. Paper deals with the issue of transverse losses that appear on the external power lines of very high and ultra-high voltage during adverse weather conditions, when the sizes of losses are affected by two major factors: the leak and the corona. Relying on data from the practice it provides time-related transverse losses and intensity of rainfall as recorded during the years 2011 and 2012. **(Are there relations between the transverse losses and the rain?)**

Keywords: Transmission system; transverse losses; conductance; corona discharge

ÚVOD

Celosvetovo rastúci dopyt po elektrickej energii čoraz viac upevňuje pozíciu elektroenergetiky v skupine strategických odvetví. V 21. storočí viac ako kedykoľvek predtým je pre oblasť elektroenergetiky typický trend zvyšovania výroby a spotreby elektrickej energie. Súčasný charakter výroby elektrickej energie je postavený na menšom množstve výrobných jednotiek veľkých výkonov, čo sa prejavuje predovšetkým na raste prenosu elektrickej energie z miest výroby do oblastí spotreby. Riešenie tohto problému by bolo možné výstavbou nových prenosových liniek a elektrických staníc. Pri tomto postupe však vznikajú problémy týkajúce sa území potrebných pre výstavbu, či už z ekologického hľadiska alebo vlastníckych pomerov zasiahnutých oblastí. Riešenie týchto komplikácií pri aktuálnom trende, však znamená nadmerný rast zaťaženia prenosovej sústavy, s čím úzko súvisí aspekt strát v prenose elektrickej energie.

Prenosová sústava predstavuje špecifický a veľmi dôležitý subsystém každej elektrizačnej sústavy. Prevádzkovateľ prenosovej sústavy a jeho činnosti sú definované Smernicou Európskeho parlamentu a Rady 2009/72/ES [1]. Zákon č. 251/2012 Z. z. o energetike [2] a o zmene a doplnení niektorých zákonov transponuje ustanovenia právnych noriem EÚ do legislatívy Slovenskej republiky a určuje práva a povinnosti prevádzkovateľa prenosovej sústavy v SR, ako aj ďalších účastníkov trhu s elektrinou [3].

Prenosová sústava (PS) a distribučné sústavy (DS) predstavujú jedny zo základných subsystémov ES. Subjekty, ktoré ich prevádzkujú, sú v zmysle Zákona o energetike [2] prevádzkovateľom prenosovej sústavy (PPS) a prevádzkovateľom distribučnej sústavy (PDS). Keďže tieto subjekty sú prirodzeným monopolom, teda nemajú konkurenciu, sú predmetom regulácie zo strany regulačných úradov a musia mať definované pravidlá svojej pôsobnosti zabezpečujúce ich transparentný a nediskriminujúci postup. [4]

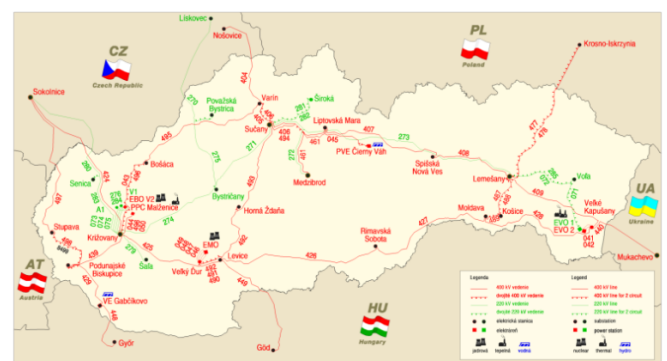
V rámci územia Slovenskej republiky je prevádzkovateľom prenosovej sústavy spoločnosť Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a. s. (SEPS, a. s.). PS SR je súčasťou prepojených elektrizačných sústav na európskom kontinente, ktorých prevádzkovatelia sú združení v ENTSO-E. Pre SEPS, a. s. z členstva

v združení ENTSO-E vyplývajú požiadavky, ktoré spočívajú v plnení štandardov, pravidiel a dohôd schválených na medzinárodnej úrovni v rámci prepojených elektrizačných sústav. [4]

TABUĽKA I

Dĺžky vonkajších elektrických vedení pod správou SEPS, a. s. [5]

U (kV)	Dĺžka trasy vedenia (km)				Rozvinutá dĺžka (km)
	jednoduché	dvojité	VSV	celkom	
400	1 301,910	265,132	18,678	1 585,719	1 869,529
220	578,953	143,937	0,000	722,890	866,827
110	0,254	21,093	18,678	40,025	79,796
Spolu	1 881,117	430,162	37,356	2 348, 634	2 816,152



Obr. 1. Mapa prenosovej sústavy Slovenskej republiky [6]

STRATY PRI PRENOSE ELEKTRINY

Straty spôsobené prúdom, ktorý tečie počas prevádzky vedením sa označujú ako tzv. Joulove straty, resp. $R I^2$. Uvedené straty sú úmerné zaťaženiu vedenia a v súčasnej dobe je možné ich presne merať a zároveň predikovať. Takéto straty nazývame pozdĺžnymi stratami.

Druhým typom sú tzv. priečne straty. Za normálnych podmienok ide o jalové straty. Inou skupinou sú priečne straty činné - wattové. Vo všeobecnosti existujú dva faktory, ktoré majú vplyv na veľkosť činných strát, sú to zvod a koróna. Keďže zvod, ktorý sa prejavuje

predovšetkým na izolátoroch, predstavuje veľmi malé percento pričných wattových strát, dôležitým faktorom pre určenie týchto strát ostáva koróna. Straty korónou predstavujú straty, ktoré sú mimoriadne citlivé na poveternostné podmienky.

TABUĽKA I
Veľkosť činných strát v závislosti od počasia [9]

Rozsah	Napätová hladina	Počasia	Straty
jeden izolátorový reťazec	110 kV	slnečné	3-5 W
		dážď	30-50 W
		hmla	30-100 W
celé vedenie	110 kV	slnečné	70-120 W.km ⁻¹
		dážď	700-1200 W.km ⁻¹
		hmla	700-3600 W.km ⁻¹

STRATY KORÓNOU NA VONKAJŠÍCH VEDENIACH

V prípade úplne hladkého a čistého vedenia je hodnota počiatočného napätia koróny U_0 . Po prekročení $0,3U_0$ je možné na zápornom vodiči pozorovať malé svietiace body na drobných nečistotách a nerovnostiach povrchu (hrotová koróna). Pri napätí $0,5$ až $0,6U_0$ vznikajú na väčších nerovnostiach kladného vodiča (poškodenia povrchu, vodné kvapky, mastné škvrny, usadené exhaláty) trsovité výboje s dĺžkou niekoľko centimetrov [7]. Zároveň na zápornom vodiči vznikajú menšie trsovité výboje. Tieto procesy sú sprevádzané charakteristickým praskaním. Uvedený jav sa označuje ako prechodová (strímrová) koróna.

Ak napätie dosiahne veľkosť počiatočného napätia koróny U_0 , vzniká slabo svietiaci obal, ktorý pri zvyšovaní napätia postupne zahŕňuje do seba svietiace body a trsy. Ide o obalovú (lavínovú) korónu.

Straty na vedení dosahujú najnižšiu hodnotu v prípade hrotovej koróny. Pri prechodovej koróne sú hodnoty strát značne väčšie oproti hrotovej koróne. Najväčšie straty sa vyskytujú u obalovej koróny, pozostávajú z dvoch zložiek: z ionizačných strát v trsoch, resp. vo svietiacom obale a zo strát spojených s odchodom iónov z ionizačnej zóny do okolitého priestoru, pričom ionizačné straty značne prevyšujú straty pohybom iónov.

Straty korónou sa môžu počítať pomocou Peekovho vzťahu, publikovaného napr. v [7]. Pre prípady výpočtu strát pod počiatočným napätím koróny U_0 za pekného počasia sa osvedčil Petersonov vzorec [7]:

$$P = \frac{112f}{(\ln \frac{a}{r})^2} U^2 \Phi_c \cdot 10^{-6} \quad \left(\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right) \quad (1)$$

$$\text{kde} \quad \Phi_c = \left(\frac{U}{U_0} \right)^2 + 2 \ln \frac{U}{U_0} - 1. \quad (2)$$

U_0 pre hladké vodiče je definované vzťahom

$$U_0 = 21,1 \delta^{2/3} m_1 r \ln \frac{a}{r} \quad (\text{kV}) \quad (3)$$

U_0 pre laná vodiče je definované ako

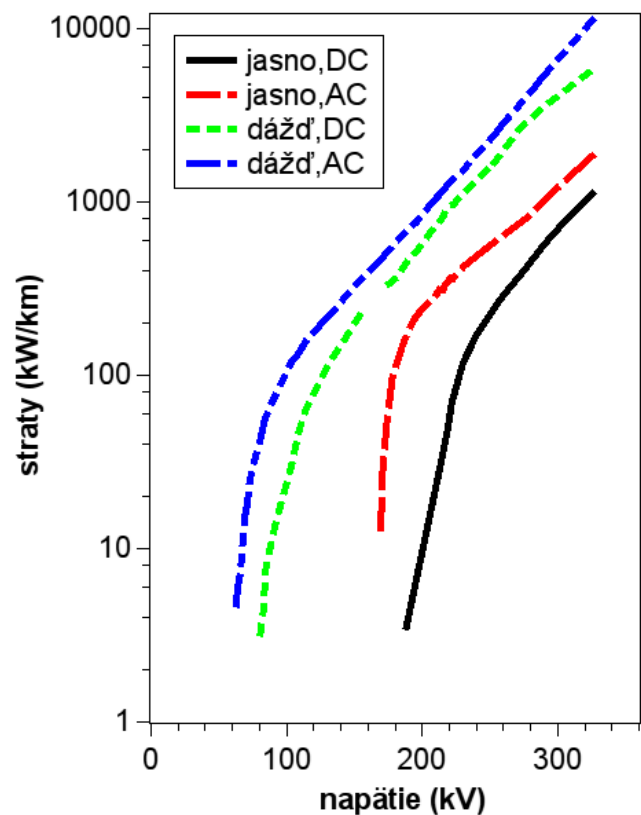
$$U_0 = \frac{21,1 \delta^{2/3} \left[\ln \frac{a}{cr} + \frac{(n-1) \ln 2a}{d-cr} \right]}{\frac{1}{cr} + \frac{n-1}{d-cr}} \quad (4)$$

kde

$$c = 1 - \frac{\sin \left(\frac{\pi}{2} \frac{\pi}{n} \right)}{\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{n}}. \quad (5)$$

Pre vzťahy (1) až (5) platia nasledujúce parametre:

- δ – pomerná hustota vzduchu,
- $m_1 = 1$ pre lesklé, hladké drôty,
- $m_1 = 0,88-0,98$ pre drsné drôty, ktoré boli dlhšiu dobu vystavené atmosférickým vplyvom,
- a – vzdialenosť osí vodičov (cm),
- r – je polomer drôtu, u lan polomer opisanej kružnice (cm),
- d – priemer lana (cm),
- n – počet drôtov v lane.



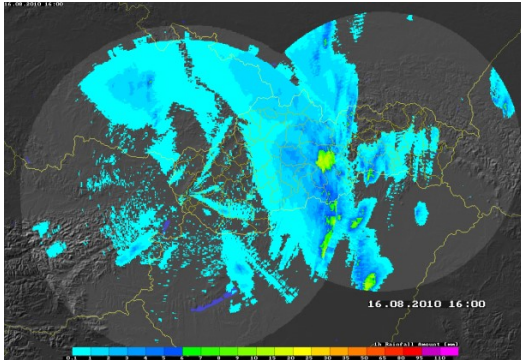
Obr. 2. Straty energie korónou na vodiči s priemerom 25 mm [8]

Nakoľko výsledky meraní strát korónou vykazujú značné odchýlky od vzorcov, ktoré sa nachádzajú v odbornej literatúre, v praxi sa uvedené straty merajú pre jednotlivé typy lan na pokusnom vedení pri rôznych intenzitách poľa na povrchu lan. Takýmto spôsobom získané hodnoty následne slúžia pri výpočte strát v konkrétnych prípadoch.

Straty spôsobené korónou sú ovplyvnené stavom povrchu vodičov a atmosférickými pomermi (napr. tlak, teplota, vlhkosť, dážď, hmla, inovat'). Pri daždi straty rastú s intenzitou dažďa až do určitého maxima. Pôsobenie hmly na straty odpovedá účinkom veľmi slabého dažďa. Vplyv inovati na straty a poruchy je menší, než je tomu u dažďa. Pri jej roztápaní však rastie veľkosť strát a početnosť porúch. Drsnosť povrchu vodiča a prítomnosť mastnoty môžu zvýšiť straty prechodovej koróny niekoľkonásobne.

METODIKA VYHODNOTENIA ZRÁŽOK

Vyhodnotenie zrážok z aktuálnej poveternostnej situácie sa opieralo o údaje sprístupnené Slovenským hydrometeorologickým ústavom, ktoré poskytujú informáciu o zrážkovej činnosti nad územím SR, príklad je na obr. 3.



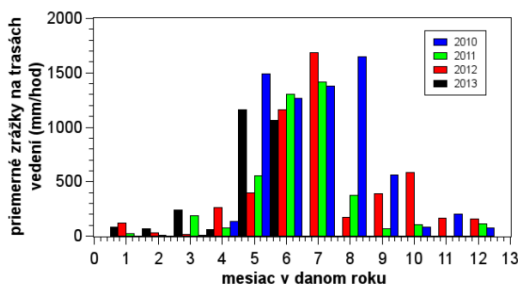
Obr. 3. Snímka zrážkovej činnosti z údajov SHMÚ [9]

Bol vytvorený počítačový program, ktorý spracováva dostupné snímky a vytvára databázu záznamov o zrážkovej činnosti pre všetky úseky vedení prenosovej sústavy na Slovensku.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

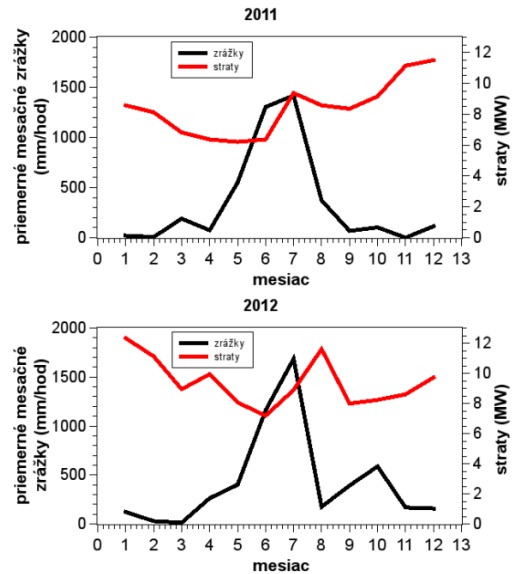
Hlavným parametrom získaným z analýzy počasia je priemerné množstvo zrážok, ktoré boli zaznamenané počas jednotlivých mesiacov, vyjadrené v jednotkách mm/hod. Spracovanie celkových zrážok na úsekoch všetkých vedení na území Slovenskej republiky je na obr. 4. Pre porovnanie výsledkov meraní strát, ktorých údaje boli čerpané z [10] a zrážok sú zostrojené grafické závislosti pre roky 2011 a 2012, obr. 5.

Ako je vidno, zrážky a straty majú samostatný, na prvý pohľad od seba nezávislý charakter. Je potrebné poznamenať, že prezentované údaje predstavujú výsledky spracované pre prenosovú sústavu ako celok a nezohľadňujú skutočnosť, že odpojené vedenia neprispievajú k priečnym stratám. V ďalšom výskume budú údaje rafinované aj s ohľadom na vypínací plán.



Obr. 4. Vyhodnotenie zrážkovej činnosti podľa meteorologických snímok SHMÚ

Vývoj priečných strát v rokoch 2011 a 2012 má podobný charakter. V priemere dosahovali priečne straty najvyššie hodnoty v zimných mesiacoch (január, február, november, december). V období od marca do júna boli zaznamenané najnižšie priečne straty. V priebehu leta (júl, august) a jesene (september, október) veľkosť priečných strát narastá v porovnaní s predošlými mesiacmi.



Obr. 5. Priemerná hodnota priečných strát v rokoch 2011 a 2012

ZÁVER

Závislosť strát od zrážok, získaná popisovanou metodikou, je nejednoznačná. Vplyv zrážok na priečne straty sa nedá vyjadriť jednoduchou rovnicou. Pri analýze príčin a veľkosti priečných strát je potrebné uvažovať ďalšie vplyvy, napr. relatívnu vlhkosť a teplotu ovzdušia.

POĎAKOVANIE

P.P. ďakuje Slovenskému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutie údajov potrebných pre túto štúdiu, menovite Mgr. Mariánovi Juraškovi a Ing. Jozefovi Uličnému. Ďalej poďakovanie patrí doc. Ing. Karolovi Kluchovi, PhD., VUJE, a. s. v Košiciach, za poskytnuté konzultácie.

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci projektu VEGA č. 1/0487/12.

„Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj, pre projekt: Univerzitný vedecký park TECHNICOM pre inovačné aplikácie s podporou znalostných technológií, kód ITMS: 26220220182, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“



LITERATÚRA

- [1] Úradný vestník Európskej únie: Smernica Európskeho parlamentu a Rady 2009/72/ES o spoločných pravidlách pre vnútorný trh s elektrinou [online]. [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:211:0055:0093:sk:PDF>>.
- [2] Zákon č. 251/2012 Z. z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov [online]. [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <<http://www.najpravo.sk/zakony/vypis-zakonov/251-2012-z-z-zakon-o-energetike-a-o-zmene-a-doplneni-niektor-yeh-zakonov.html>>.

- [3] SEPS, a. s., *Prevádzkový poriadok prevádzkovateľa prenosovej sústavy Slovenská elektrizačná prenosová sústava, a. s.* [online]. [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <http://www.sepsas.sk/seps/Dokumenty/PrevPoriadok/2013/12/PP_SEPS_as_0048_2013_E-PP.pdf>.
- [4] SEPS, a. s., *Technické podmienky/ Dokument A/ Všeobecné ustanovenia* [online]. [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <http://www.sepsas.sk/seps/Dokumenty/TechnickePodmienky/2013/10/28/TP-A_2013.pdf>.
- [5] SEPS, a. s., *Základné údaje prenosovej sústavy* [online]. [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <<http://www.sepsas.sk/seps/TechnickeUdaje.asp?kod=16>>.
- [6] M. Straka, *Mapa Prenosovej sústavy Slovenskej republiky* [online]. [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <http://www.sepsas.sk/seps/images/schemasiete/PS_SR_2013_12_31.png>.
- [7] A. Veverka, *Technika vysokých napätí. 2. vydanie.* Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1978. 296 s. Typové číslo L26-C3-111-41f/58397.
- [8] I. Kolcunová, *Technika vysokých napätí 6 / Korónový výboj (prednášky)* [online]. [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <<http://web.tuke.sk/fei-kee/web/index.php?pg=technika-vysokych-napaeti-2&hl=sk>>.
- [9] SHMÚ.sk - *Meteo / Počasie / Hydrológia / Kvalita ovzdušia.* [citované 2014-04-09]. Dostupné na internete: <http://www.shmu.sk>
- [10] P. Podolinský, *Vplyv poveternostnej situácie na priečne straty v prenose elektrickej energie.* Diplomová práca. Technická univerzita v Košiciach. 2014.

ADRESY AUTOROV

Peter Podolinský, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika
 Juraj Kurimský, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, juraj.kurimsky@tuke.sk