

Peter Frák, Michal Kolcun

Spôľahlivosť v distribučných sústavách

Predložený príspevok sa zaoberá problematikou spoľahlivosti v elektroenergetike so zameraním na oblasť empirickej spoľahlivosti. Hlavným zámerom je analyzovať poruchy evidované v databázach reálnej distribučnej sústavy nie tak z hľadiska fyzikálneho, ako z hľadiska štatistického. Na základe dostupných údajov o poruchách a veku dotknutých zariadení je možné použitím vhodného pravdepodobnostného modelu popísať matematické závislosti pravdepodobnosti porúch na veku. Ďalším dôležitým charakteristickým údajom zariadení v distribučnej sústave je ich technický stav, a analogicky je možné definovať funkčné závislosti porúch na ich stave. Výskum bol zameraný najmä na vzdušné vedenia vysokého napätia.

Kľúčové slová: spoľahlivosť, distribučná sústava, porucha, vaňová krivka

I. ÚVOD

Spôľahlivosť ako jedna zo základných podmienok prevádzky elektrizačnej sústavy predstavovala významný parameter hodnotenia jej fungovania v každej etape vývoja. Elektrina sa stala objektom voľného trhu a teda predstavuje tovar, od ktorého spotrebiteľ požaduje určitý stupeň kvality a spoľahlivosti. Úloha analýzy spoľahlivosti by nemala byť riešená len pri vývoji a navrhovaní častí elektrizačnej sústavy, ale aj počas jej prevádzkovania s cieľom zabezpečiť jej maximálne možnú úroveň so zachovaním efektívneho vynaloženia nákladov na jej požadované zabezpečenie [2].

Prvým legislatívnym úkonom, kde regulovaným subjektom na Slovensku boli predpísané definície a úrovne štandardov kvality, bolo vydanie vyhlášky č.315/2008 Úradom pre reguláciu sieťových odvetví. Vo vyhláške sú uvedené tiež ukazovatele spoľahlivosti dodávky elektriny, ktoré sa v roku 2011 stanú pre prevádzkovateľov prenosovej alebo distribučných sústav záväzné.

Spôľahlivosť systému alebo konkrétnych zariadení má stochastický charakter, čo má vplyv na realizáciu a hodnotenie výsledkov spoľahlivostných výpočtov.

II. EMPIRICKÝ PRÍSTUP RIEŠENIA SPOĽAHLIVOSTI

Jedným z hlavných prínosov tohto príspevku je praktický výpočet parametrov Weibullovoho rozdelenia, ktorý vychádza z analýzy štatistik poruchovosti. Tento postup je založený na empirickom prístupe riešenia spoľahlivosti a je možné uplatniť v takom prípade, ak je dostupná dostatočne rozsiahla databáza údajov o poruchách. Zameral som sa predovšetkým na vzdušné vedenia vysokého napätia a to z nasledovných dvoch hlavných dôvodov:

- evidencia porúch spoločností prevádzkujúcich elektrizačnú sústavu je, z pohľadu jej kredibility, najviac zameraná na udalosti na VN a VVN úrovniach (VVN porúch je však počas roka zanedbateľné množstvo z hľadiska štatistického);
- informácie o veku zariadení boli dostupné najmä pre tento typ zariadení;
- vzdušné vedenia vysokého napätia majú v distribučných sústavách najväčší vplyv na globálne ukazovatele spoľahlivosti. Porucha na vedení VN má za následok výpadku množstva odberateľov (na Slovensku to sú hodnoty rádovo v tisícoch odberateľov/poruchu) alebo odoberaného výkonu (rádovo MW/poruchu) [1].

III. ZÁVISLOSŤ VZNIKU PORÚCH NA ČASE

V prvom kroku bolo potrebné špecifikovať poruchy, ktoré budú analyzované, keďže je ich možné deliť z viacerých hľadísk. Zameral som sa na tieto poruchy: neplánované udalosti, ktorých dôsledkom bolo prerušenie dodávky elektriny na viac ako 3 minúty. Tento ukazovateľ je odporúčaný medzinárodnou organizáciou UNIPED a zároveň je štandardom kvality dodávky elektriny podľa vyhlášky. Ďalej bol postup analýzy realizovaný tak, že ku každej poruche bol priradený údaj o veku zariadenia, na ktorom porucha vznikla.

Na matematický popis funkčných závislostí som použil Weibullovo rozdelenie, keďže je najvhodnejším typom rozdelenia popisujúceho starnutie zariadení – „vaňová krivka“. Cieľom bolo nájsť vhodné parametre β a η Weibullovoho rozdelenia. Výsledná funkcia hustoty pravdepodobnosti vzniku poruchy a funkcia intenzity poruchy (hazard function) majú nasledovný tvar:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (2)$$

kde:

β – parameter tvaru, ktorý ovplyvňuje tvar funkcie hustoty pravdepodobnosti $f(t)$;

η – parameter merítka, ktorý má vplyv na časovú os a teda nemá vplyv na tvar funkcie, jeho veľkosť ovplyvňuje jej rozťahnutie [2].

IV. APROXIMÁCIA ZÁVISLOSTI PRAVDEPODOBNOTI PORÚCH NA ČASE POMOCOU LINEÁRNEJ FUNKCIE

Lineárnu regresnú funkciu je možné popísať nasledovne:

$$y = a + x \cdot b \quad (3)$$

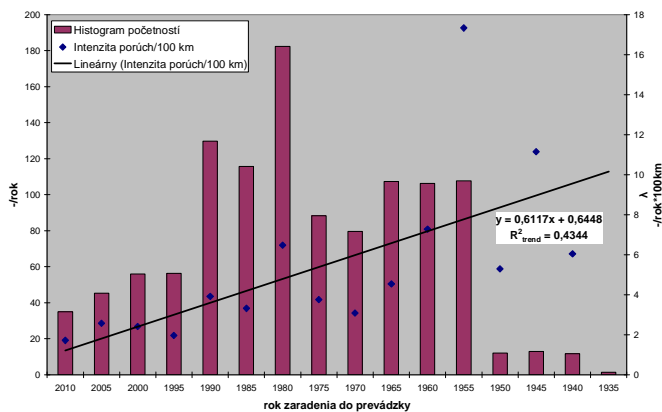
Použitím premenných teórie spoľahlivosti je možné napísať

$$\lambda(t) = a + t \cdot b \quad (4)$$

Z predchádzajúceho vzorca je možné vyčítať, že funkcia intenzity porúch $\lambda(t)$ má dve zložky. A to zložku konštantnú a , kedy je intenzita porúch počas sledovanej doby bez zmien a druhú lineárnu zložku $b.t$, ktorá rastie s časom. Postupne dostávame nasledovné:

$$\lambda = a; \quad \eta = \sqrt{(2/b)}. \quad (5)$$

Aplikovaním tejto metódy lineárnej regresie bolo získané grafické znázornenie závislosti vzniku poruchy na veku zariadení na vedeniach vysokého napätia. Na nasledujúcom grafe je možné vidieť histogram výskytu porúch v absolútnom vyjadrení. Relatívne početnosti na jednotku 100 km však znázorňujú zvyšujúci sa počet porúch, keďže táto hodnota vychádzala z údajov o vekovom profile zariadení. Vložením trendovej čiary bolo možné získať parametre lineárnej regresnej krivky a , b a teda i parametre Weibulovho rozdelenia β a η .

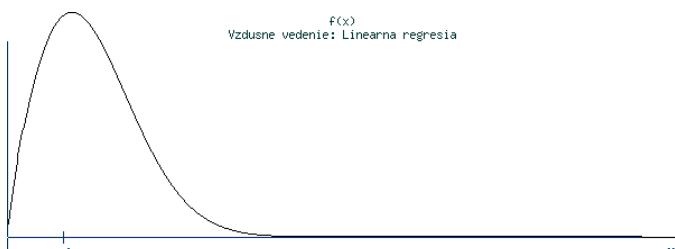


Obr. 1. Empirická závislosť vzniku porúch na veku zariadení VN vedení - lineárna regresia

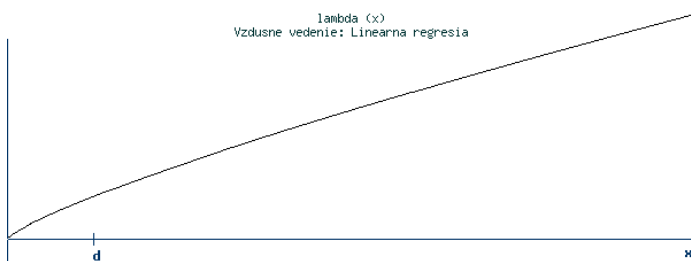
TABUĽKA I

Lineárna regresia		Weibull	
$a = 0,6448$	$b = 0,6117$	$\beta = 2,000$	$\eta = 1,808$

Po získaní parametrov Weibulovho rozdelenia je možné znázorniť funkciu hustoty pravdepodobnosti poruchy $f(t)$ a následne funkciu intenzity porúch $\lambda(t)$.



Obr. 2. Funkcia hustoty pravdepodobnosti pre VN vedenie - lineárna regresia



Obr. 3. Funkcia intenzity porúch pre VN vedenie - lineárna regresia

V. APROXIMÁCIA ZÁVISLOSTI PRAVDEPODOBNOSTI PORÚCH NA ČASE POMOCOU MOCNINOVEJ FUNKCIE

Mocninovú regresnú funkciu je možné uviesť nasledovne:

$$y = a \cdot x^b \quad (6)$$

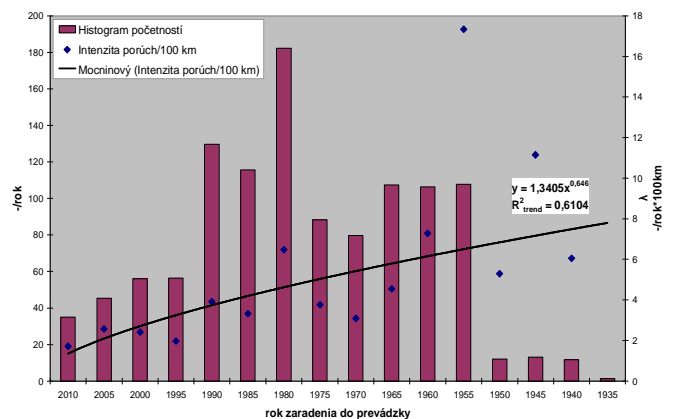
Použitím premenných teórie spoľahlivosti je možné napísať:

$$\lambda(t) = a \cdot t^b \quad (7)$$

Parametre β a η je možné určiť nasledovne:

$$\beta = b + 1; \quad \eta = b + 1 \sqrt{\frac{b+1}{a}} \quad (8)$$

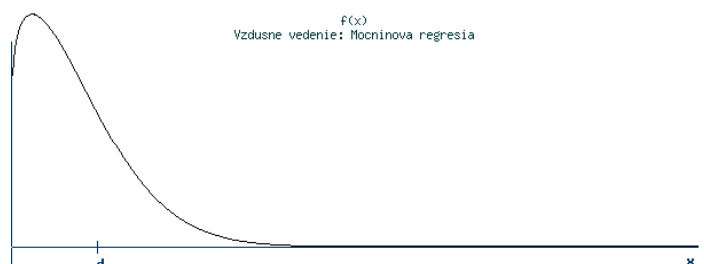
Podobne ako v predchádzajúcej kapitole, aplikovaním metódy mocninovej regresie bolo získané grafické znázornenie závislosti vzniku poruchy na veku zariadení na vedeniach VN.



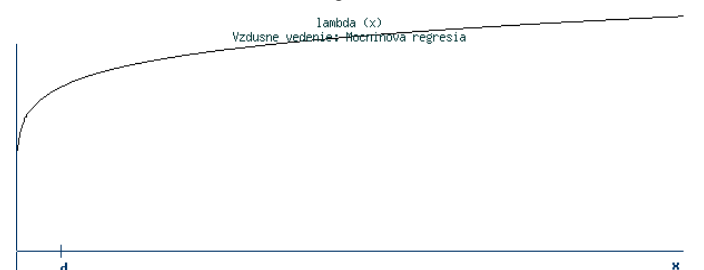
Obr. 4. Empirická závislosť vzniku porúch na veku zariadení VN vedení - mocninová regresia

TABUĽKA II

Mocninová regresia		Weibull	
$a = 1,345$	$b = 0,646$	$\beta = 1,646$	$\eta = 1,133$



Obr. 5. Funkcia hustoty pravdepodobnosti pre VN vedenie - mocninová regresia



Obr. 6. Funkcia intenzity porúch pre VN vedenie - mocninová regresia

Je možné konštatovať, že použitie lineárnej alebo mocninovej regresie pre popis parametrov Weibullovoho rozdelenia je vhodné, čo bolo overené v oboch prípadoch overené aj citlivostnými analýzami. Pri skúmaní výsledkov je však potrebné konštatovať nasledovné:

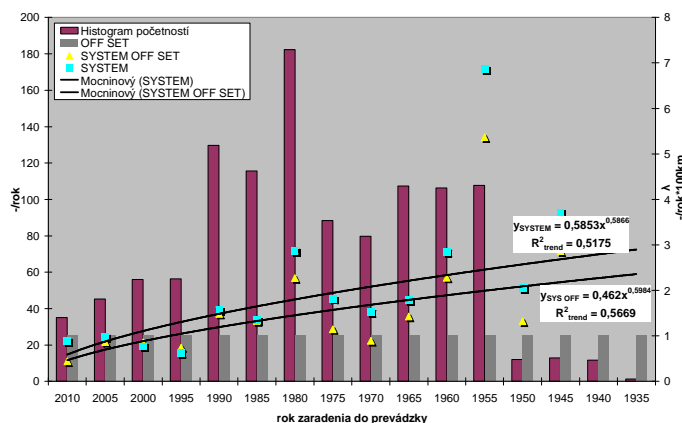
- výsledné parametre Weibullovoho rozdelenia a z toho vyplývajúce funkcie hustoty pravdepodobnosti ako aj intenzity porúch nereflektujú dostatočne presne skutočnosť, keďže stredné hodnoty doby do poruchy sú veľmi nízke (6 resp. 2 roky);

- koeficient vzájomnej korelácie R^2 nevyznačuje hodnoty blízke 1 (pri lineárnej regresii 0,4344, a pri mocninovej regresii 0,6104).

VI. APROXIMÁCIA ZÁVISLOSTI PRAVDEPODOBNOSTI PORÚCH NA ČASE PODĽA PRÍČIN PORÚCH

Je možné predpokladať, že nie všetky poruchy je možné uvažovať závislé na veku poruchového zariadenia. Také poruchy boli vylúčené z pravdepodobnostného modelu a vytvorili skupinu porúch OFFSET. Sú to poruchy spôsobené externými vplyvmi ako zásah cudzích osôb, poruchy u odberateľov, iných sústav, a pod. Je zrejme, že prevádzkovatelia distribučných sústav nemajú dostatočný dosah na ich ovplyvnenie. Na druhej strane bola vytvorená skupina tzv. systémových porúch, ktorých príčina bola u viac ako 99 % porúch uvedená „Dožitie a opotrebovanie“ (skupina SYSTEM). Táto skupina má predstavovať ideálnu skupinu porúch pre matematický model starnutia zariadení. Vytvoril som aj tretiu skupinu porúch, kombináciou predchádzajúcich dvoch, s názvom OFFSET-SYSTEM, ktorej vznik zakladám na hypotéze, že existujú udalosti v elektrizačnej sústave, ktoré zdanlivo vystupujú ako nezávislé na veku zariadenia, v skutočnosti však s vekom súvisia. Ide najmä o poruchy spôsobené počasím (klimatické vplyvy, tiež abnormálne stavy ako sú preťaženia alebo zlyhania ochrán).

Ak použijeme aplikáciu lineárnej a mocninovej regresie len na skupiny porúch SYSTEM a SYSTEM-OFFSET pre každú skupinu porúch zvlášť, dostaneme regresné funkcie a následne parametre Weibullovoho rozdelenia. Poruchy OFFSET sa časom nemenia a sú konštantné.

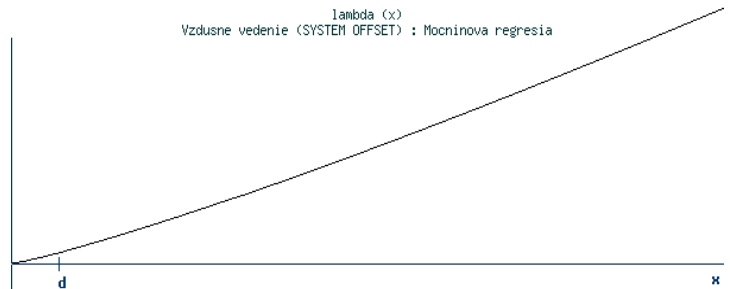


Obr. 7. Empirická závislosť vzniku porúch na veku zariadení VN vedení - mocninná regresia

Z grafu je zrejme, že skupina porúch SYSTEM-OFFSET vykazuje stupeň závislosti na čase, čím sa môj predpoklad potvrdil. Trendová čiara mocninovej regresie vykazuje koeficient vzájomnej korelácie R^2 vyšší ako pri lineárnej regresii u oboch skupinách typov porúch. Funkcia funkcia intenzity porúch $\lambda(t)$ pre mocninnú regresiu je znázornená na nasledujúcich grafoch.



Obr. 8. Funkcia intenzity porúch SYSTEM - mocninná regresia



Obr. 9. Funkcia intenzity porúch SYSTEM/OFFSET - mocninná regresia

VII. APLIKÁCIA SPOLĀHLIVOSTNÉHO MODELU NA REÁLNEJ SÚSTAVE

Majme vymedzenú časť elektrizačnej sústavy pozostávajúcu z vedení vysokého napätia definovanej celkovej dĺžky, pričom je známy vekový profil VN vedení. Táto sústava má v roku 2010 nasledovné parametre a hodnoty ukazovateľov spoľahlivosti:

Celková dĺžka vedení VN	5000 km;
Počet odberných miest	100 000 ks;
CAIDI (priemerné trvanie poruchy)	90 min/odb;
Priem. počet odberných miest/ 1 poruchu	300 odb./poruchu;
Priemerný vek vedení VN	27,2 rokov.

Parametre sú uvažované identické i pre rok 2020, s výnimkou priemerného veku vedení, tzn. rovnaká dĺžka sústavy, počet odberných miest i manažment odstraňovania porúch. Sú uvažované dva scenáre možných stratégií počas nasledujúcich 10 rokov.

1. žiadna výstavba ani obnova existujúcich VN vedení;
2. žiadna výstavba, avšak obnova vedení v rozsahu 50 km ročne (obnova bude prebiehať od najstaršieho zariadenia, náklady na obnovu je možné dopočítat').

Použitý bol matematický model Weibullovoho rozdelenia (mocninná regresia), ktorý som získal aplikovaním na skupiny porúch podľa príčiny ich vzniku. V nasledujúcej tabuľke sú uvedené dopady jednotlivých stratégií na ukazovatele spoľahlivosti SAIDI a SAIFI (tieto sú uvažované ako priemerné hodnoty vyplývajúce z uvažovanej hodnoty CAIDI, na ich presný výpočet by bolo potrebné uvažovať každú poruchu samostatne, čo pre účely tejto práce nie je nutné). V prípade zvolenia Scenáru 1. stúpne počet porúch v roku 2020 cca. o 1/3 pôvodnej úrovne z roku 2010 a globálny ukazovateľ SAIDI sa zvýši na hodnotu 123 min/odb., prejaví sa to ako dôsledok starnutia vedení (keďže je zanedbaná obnova tejto siete). V prípade Scenáru 2. stúpne počet porúch len cca. 8 % pôvodnej úrovne a globálny ukazovateľ SAIDI sa zvýši mierne na 104 min/odb.

TABUĽKA III

Ukazovateľ		Φ SAIFI	Φ SAIDI	Φ vek vedení
		-/odb.	min/odb.	rok
2010		1,07	97	27,2
Scenár 1.	2020	1,37	123	37,2
Scenár 2.	2020	1,16	104	30,6

Použitie tohto matematického modelu má však niekoľko obmedzení, ktoré určitou mierou limitujú jeho použitie v elektroenergetike:

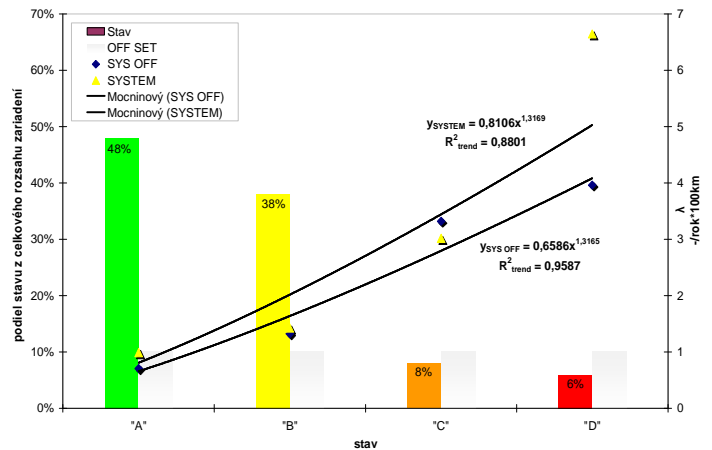
- uplatniť uvedený prístup závislosti vzniku poruchy na čase je možné len na zariadeniach, ktoré nie sú opraviteľné. Hodnotiť strednú dobu do poruchy (mean time to failure) je možné len u zariadení, ktoré sú neopraviteľné. U opraviteľných prvkoch je vhodné sledovať parametre ako stredná doba medzi poruchami (mean time between failure) alebo strednú dobu opravy (mean time to repair);
- získaný matematický model je možné uplatniť len v tom prípade, keď vzdušné vedenia VN bude prevádzkované do poruchy a následne vymenené;
- na vzdušných vedeniach vysokého napätia sa vykonávajú rôzne údržbové opatrenia, zároveň zariadenia vo vzdušných vedeniach sú opravované;
- tento model je vhodné použiť napr. u podzemných kábelových vedeniach, ktoré nie sú vystavené vykonávaniu údržby resp. ich častým opravám.

VIII. EMPIRICKÁ ZÁVISLOSŤ PRAVDEPODOBNOTI VZNIKU PORUCHY NA STAVE

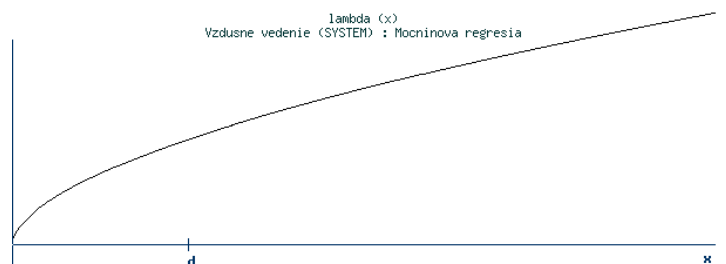
Zariadenie počas svojej životnosti prechádza rôznymi fázami, kedy sa mení s vekom jeho stav a správanie – predpoklad, že spoľahlivosť klesá, pravdepodobnosť poruchy stúpa. Vývoj technológií má dopad aj na rastúci rozmer v oblasti monitorovania stavov a diagnostiky zariadení v elektrizačnej sústave. Sofistikované diagnostické metódy sa v súčasnosti uplatňujú najmä u dôležitých prvkov, ako sú výkonové transformátory, spínacie prvky VVN, ale aj kábelové vedenia. U vzdušných vedení je možné uplatniť napr. termovízne merania, avšak údaje o stave sa získavajú predovšetkým prostredníctvom fyzického zberu údajov počas prehliadok a inšpekcií. Zozbierané údaje z výstupov diagnostických metód a monitorovaní sa majú využiť na získanie všeobecného prehľadu o zariadeniach v sústave, ktorý má podporiť alebo usmerniť navrhovaných činností.

V prvom momente by sme predpokladali, že stav zariadenia je závislý výlučne na jeho veku. V skutočnosti na stav zariadenia vplývajú tiež prevádzkové podmienky, vplyv okolia, spôsob údržby, vystavovanie záťaží, história porúch, a podobne. Tento poznatok ma postupne doviedol k tvrdeniu, že technický stav zariadenia je vo väzbe na spoľahlivosť dôležitejší ako jeho vek (napr. relatívne nové zariadenia vykazujú niekedy horšie ukazovatele poruchovosti ako skôr zavedené prvky).

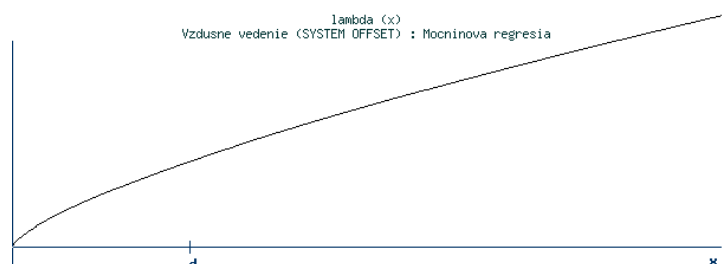
Postup analýzy bol realizovaný tak, že ku každej poruche bol priradený zozbieraný údaj o stave zariadenia, na ktorom porucha vznikla. Stav zariadení bol uskutočnený v zmysle metodiky štyroch stavov (stav spoľahlivej prevádzky, stav zhoršenej prevádzky, stav nespoľahlivej prevádzky, stav rizikovej prevádzky). Na matematický popis funkčných závislostí som tiež použil Weibullovo rozdelenie s cieľom nájsť vhodnú regresnú krivku, ktorá zodpovedá funkcii intenzity porúch Weibullovoho rozdelenia $\lambda_{(STAV)}$.



Obr. 10. Empirická závislosť vzniku porúch na stave zariadení VN vedení - mocninová regresia



Obr. 11. Funkcia intenzity porúch SYSTEM - mocninová regresia



Obr. 12. Funkcia intenzity porúch SYSTEM/OFFSET - mocninová regresia

Porovnaním prístupu skúmania porúch ako celku a prístupom delenia typov porúch podľa príčin ich vzniku som, podobne ako pri skúmaní závislosti porúch na čase, dospel k záveru, že druhý prístup lepšie popisuje proces starnutia a teda prechodu z jedného stavu do druhého. V tomto prípade, na základe hodnôt výsledných parametrov rozdelenia je praktickejšia mocninová regresia. Výsledné analytické funkcie je možné aplikovať na odhad pravdepodobnosti vzniku porúch v závislosti na technickom stave zariadení elektrizačnej sústavy.

ZÁVER

Predložený príspevok predstavuje oblasť výskumu v oblasti spoľahlivosti na základe princípov empirickej spoľahlivosti. Pre tento typ spoľahlivosti z hľadiska vstupných údajov je potrebné disponovať údajmi o prevádzkovaní a udalostiach na jednotlivých prvkoch. Uvedené údaje je možné následne analyzovať s účelom tvorby spoľahlivostného modelu pre jednotlivé prvky elektrizačnej sústavy – ide o prvkovú spoľahlivosť, ktorá agregovane vytvára spoľahlivosť elektrizačnej sústavy ako systému.

Prevádzkovatelia sústav patriacich do sieťových odvetví si uvedomujú nastupujúce možnosti a užitočnosti moderných prístupov v danom podnikaní, ktoré umocňuje aj značný rozvoj v oblasti informačných technológií. Rozhodnutia o smerovaní nákladov a očakávané dopady týchto rozhodnutí by mali byť podporené exaktnými a transparentnými výpočtami. V súčasnosti sa prevádzkovatelia distribučných sústav začínajú intenzívnejšie zaoberať otázkami technickej životnosti zariadení v elektrizačnej sústave, ich správaním a predovšetkým dopadmi na financie v strednodobom alebo dlhodobom horizonte. Elektrizačná sústava bola historicky budovaná najmä v polovici 20. storočia, z čoho je zrejme jej starnutie a vyplývajúce rastúce požiadavky na obnovu viacerých jej prvkov, ako aj partikulárny podiel na úrovni aktuálnych spoľahlivostných ukazovateľov v našom regióne.

Príspevok rieši vytvorenie matematického modelu, keď pre skúmaný element distribučnej sústavy je vytvorený model pravdepodobnosti závislosti vzniku poruchy na veku zariadenia s použitím Weibullovoho rozdelenia. Pre tvorbu takého modelu a výsledné definovanie spoľahlivostnej krivky intenzity porúch (hazard function) bolo potrebné priradiť každej poruche na príslušnom zariadení informáciu o veku zariadenia.

Ďalším prínosom tejto práce je zavedenie tzv. „stavového“ spoľahlivostného modelu. Dôležitejším údajom ako vek zariadenia sa javí jeho technický stav, ktorý vytvára priestor na tvorbu uvedeného spoľahlivostného modelu. Za týmto účelom bolo potrebné vypracovať metodiku hodnotenia a interpretácie stavu jednotlivých zariadení, ako aj definícií samotných stavov zariadení, ich vlastností a vzťahov medzi jednotlivými stavmi. V oblasti hodnotenia technického stavu zariadení distribučnej sústavy je vhodná aplikácia niektorej z metód multikriteriálnej analýzy.

Cieľom takýchto prístupov k spoľahlivosti prvkov elektrizačnej sústavy je podpora pri prijímaní rozhodnutí v spoločnosti, transparentnosť, podpora pre špecifické otázky v sústave, sofistikované dlhodobé plánovanie a vytvorenie globálneho pohľadu

na elektroenergetický systém. Tieto prístupy majú za následok vznik komplexného dynamického simulačného modelu, ktorý vyžaduje množstvo údajov o zariadeniach a dostatočne argumentačne podložené a prepracované matematické interpretácie jednotlivých javov akými sú poruchovosť, údržba, technická životnosť a pod.

Aj keď účelom takého prístupu je kvantifikovať priebeh spoľahlivostnej „vaňovej krivky“ pre konkrétne zariadenia distribučnej sústavy, je zrejme, že presne odhadnúť budúce absolútne hodnoty ukazovateľov spoľahlivosti a porúch ako stochastického javu je zvlášť ambicióznou úlohou. Úspech použitia tohto prístupu je možné vyhodnotiť ako dostatočný už vtedy, keď aplikácie funkčných závislostí pravdepodobnosti poruchy na čase resp. stave zariadení budú viesť k určitým trendom vývoja spoľahlivosti v distribučných sústavách ovplyvnené zvoleným typom investičnej stratégie príslušných prevádzkovateľov distribučných sústav.

POĎAKOVANIE

Článok bol vypracovaný v rámci projektu VEGA - Vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva SR a Slovenskej akadémie vied č. 1/0166/10 a Agentúry na podporu výskumu a vývoja prostredníctvom finančnej podpory č. APVV-0385-07.

LITERATÚRA

- [1] Frák, Peter: Spoľahlivosť v distribučných sústavách. Dizertačná práca. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2010. 99 s.
- [2] Tůma, J., Rusek, S., Martínek, Z., Chemišinec, I., Goňo, R. : Spolehlivost v elektroenergetice, CONTE s.r.o., ČVUT Praha, 2006.
- [3] Vyhláška 315/2008 Úradu pre reguláciu sieťových odvetví, 2008.
- [4] Brown, R. : Aging distribution infrastructure at Pacific gas and electric, Pacific and Electric Company, San Francisco, str. 3-18, 2005.
- [5] Gaul A., Nilges J., Nockmann E., Thurlby R. : Strategic investment planning, CIRED Torino, 2005
- [6] Rusnák, J., Beňa, L., Rusek, S., Goňo, R.: Optimalizácia napätia v sieti 110 kV. In: ELEN 2008 : odborná konferencia : Masarykova kolej, Praha 6 - Dejvice, 2.-3. září 2008. - Praha : ČVUT, 2008. - 1 elektronický optický disk (CD-ROM). - ISBN 978-80-254-2293-9. - P. 1-4.
- [7] Hlubeň, D.: Electric energy losses calculation and classification in distribution networks. In: 6th PhD Student Conference and Scientific and Technical Competition of Students of Faculty of Electrical Engineering and Informatics Technical University of Košice : Proceedings from conference and competition : Košice, 17.5.2006. - Košice : Elfa, 2006. - ISBN 80-8086-035-1. - S. 47-48.

ADRESY AUTOROV

Peter Frák, Východoslovenská distribučná, a. s., Asset management/Dispečing, Stratégia a rozvoj sietí, Staničné námestie 1, Košice, SK 042 10, Slovak Republic, frak_peter@vse.sk
 Michal Kolcun, Technická univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovak Republic, michal.kolcun@tuke.sk