

Ardian Hyseni, Ľubomír Pallaj, Július Šimčák, Kristián Glajc, René Viliam Lupták, Jaroslav Petráš, Kristián Eliáš

Spracovanie veľkých dát v elektroenergetike

Práca sa zameriava na analýzu reálnych údajov z elektroenergetiky a ich porovnanie s Benfordovým zákonom prvých číslíc. Cieľom je overiť mieru zhody dát z inteligentných elektromerov s týmto zákonom a posúdiť vplyv veľkosti vzorky na výsledky. Zhoda bola hodnotená pomocou Chi-kvadrát testu a priemernej odchýlky. Výsledky ukázali, že väčšie vzorky lepšie zodpovedajú Benfordovmu rozdeleniu, zatiaľ čo menšie sú náchylnejšie na odchýlky. Zákon sa potvrdil ako užitočný nástroj na kontrolu kvality dát v energetike.

Kľúčové slová: Benfordov zákon, veľké dáta, elektroenergetika, prvá číslica, Chi-kvadrát test, dátová analýza

The thesis focuses on the analysis of real data from the power industry and their comparison with Benford's Law of first digits. The aim is to verify the degree of conformity of smart meter data with this law and to assess the impact of sample size on the results. Conformity was evaluated using the Chi-square test and average deviation. The results showed that larger samples correspond better to Benford's distribution, while smaller samples are more prone to deviations. The law has proven to be a useful tool for data quality control in the energy sector.

Keywords: Benford's Law, Big Data, Power Engineering, First Digit, Chi-square Test, Data Analysis

I. ÚVOD

V súčasnosti, keď množstvo dostupných dát neustále narastá, sa analýza veľkých dát (Big Data) stáva nevyhnutným nástrojom v mnohých oblastiach, vrátane elektroenergetiky. Dáta získavané z inteligentných elektromerov, meracích prístrojov a systémov diaľkového odberu predstavujú významný zdroj informácií, ktoré môžu prispieť k optimalizácii prevádzky distribučných sietí, včasnej detekcii porúch, presnejšej predikcii spotreby a k zvýšeniu efektivity celého energetického systému.

Aby však tieto dáta priniesli spoľahlivé výsledky, je potrebné nielen ich technické spracovanie, ale aj dôkladné overenie ich štatistickej správnosti a konzistencie. Jednou z jednoduchých, no veľmi účinných metód na posúdenie „prirodzenosti“ číselných údajov je Benfordov zákon. Tento zákon určuje pravdepodobnostné rozdelenie prvej číslice v reálnych, nezmanipulovaných dátach, pričom výrazné odchýlky od očakávaného rozloženia môžu signalizovať možné manipulácie, chyby merania alebo iné anomálie.

Predkladaná bakalárska práca sa sústreďuje na analýzu reálnych dát z elektroenergetickej distribučnej siete s cieľom overiť ich súlad s Benfordovým rozdelením. Vybrané dátové sady sú podrobené rôznym numerickým zásahom, predovšetkým úpravám formou násobenia vybraných hodnôt, aby sa posúdil vplyv týchto zmien na mieru zhody so zákonom. Zároveň sa porovnávajú výsledky medzi kompletnými a zmenšenými vzorkami dát, čím sa skúma, ako veľkosť dátovej sady ovplyvňuje stabilitu výsledkov.

Hlavným cieľom práce je zistiť, do akej miery je možné Benfordov zákon uplatniť na dáta z oblasti distribúcie elektrickej energie a či môže slúžiť ako nástroj na ich verifikáciu alebo predbežnú kontrolu správnosti meraných hodnôt.

V praktickej časti boli spracované reálne dátové sady poskytnuté Technickou univerzitou v Košiciach, pochádzajúce zo systému inteligentného merania. Tieto údaje boli upravované prostredníctvom numerických zásahov najmä násobením vybraných častí dát určitými koeficientmi aby sa sledovali zmeny v zhode s Benfordovým rozložením. Výsledky boli následne vyhodnotené pomocou štatistických metód, ako sú Chi-kvadrát test a výpočet priemernej

odchýlky, pričom sa bral do úvahy aj vplyv veľkosti vzorky na stabilitu a spoľahlivosť výsledkov.

II. DÁTA

Každý deň sa na svete vytvorí približne 2,5 kvintilióna bajtov dát, čo je ohromujúci nárast v porovnaní s rokom 2010, keď za celý rok vznikli približne 2 kvintilióny bajtov [1] [2].

Dáta dnes zásadne ovplyvňujú spôsob, akým žijeme, pracujeme a využívame voľný čas. Podniky naprieč rôznymi odvetvami čoraz viac využívajú dátové analýzy na transformáciu svojich procesov zvyšujú flexibilitu, zlepšujú zákaznícku skúsenosť, zavádzajú inovatívne obchodné modely a hľadajú nové zdroje konkurenčnej výhody [3].

Moderná ekonomika je čoraz viac závislá od dát a tento trend sa bude v nasledujúcich rokoch ešte prehĺbovať. Firmy budú zhromažďovať obrovské množstvá informácií o zákazníkoch, aby mohli poskytovať personalizované služby, zatiaľ čo samotní spotrebitelia budú do svojho každodenného života integrovať sociálne siete, cloudové služby, multimediálnu zábavu či personalizované aplikácie v reálnom čase [3].

V dôsledku tejto narastajúcej dátovej závislosti sa globálny objem dát neustále rozširuje. Zatiaľ čo v roku 2019 sa celkový objem tzv. globálnej datasféry odhadoval na približne 45 zettabajtov, podľa predpovedí spoločnosti IDC by mal do roku 2025 vzrásť až na 175 zettabajtov [3].

III. SPRACOVANIE ÚDAJOV

V nasledujúcich podkapitolách je detailne opísaný proces výberu, prípravy a spracovania zdrojových údajov. Prvým krokom je identifikácia takej dátovej sady, ktorá už vo svojej pôvodnej, neupravenej forme najlepšie zodpovedá Benfordovmu zákonu rozdelenia prvých číslíc. Po výbere vhodnej sady sa vytvorí jej zmenšená vzorka s cieľom overiť, či aj menší súbor údajov zachováva charakteristické rozdelenie podľa Benfordovho zákona.

Na oboch variantoch dát pôvodnej aj redukovanej – budú následne aplikované rovnaké numerické zásahy. Tento postup umožní posúdiť, ako veľkosť vzorky ovplyvňuje vplyv týchto úprav na zhodu s Benfordovým rozložením.

Cieľom experimentálnej časti je overiť nasledujúce hypotézy:

- V niektorých dátových sádach sa už prirodzene prejavuje rozdelenie prvých číslíc podľa Benfordovho zákona.
- Numerické zásahy, ako napríklad násobenie časti hodnôt, môžu narušiť pôvodné pravdepodobnostné rozdelenie a tým porušiť platnosť Benfordovho zákona.
- Zmenšenie veľkosti dátovej sady samo o sebe nemusí viesť k strate zhody s Benfordovým rozdelením.
- Cieľovými úpravami v menšej dátovej vzorke je možné vyvolať odchýlky od Benfordovho zákona, čím sa experimentálne preukáže jeho citlivosť na rozsah a manipuláciu s dátami.

3.1. Zdrojové údaje

Všetky pôvodné dáta, hodnoty a dátové súbory použité v tejto práci boli poskytnuté Katedrou elektroenergetiky Fakulty elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach. Celkovo bolo spracovaných 50 dátových súborov pochádzajúcich z rôznych odberných miest distribučnej elektrickej siete. Údaje o spotrebe elektrickej energie pochádzajú z inteligentných elektromerov, pričom zber dát začal 1. januára 2022 o 00:00:00. Hodnoty spotreby sú uvedené vo wattoch [W] a zaznamenávané v 15-minútových intervaloch. Posledný záznam pochádza z 1. apríla 2023 o 00:00:00. Každý dátový súbor obsahuje presne 43 677 meraní a bol dodaný vo formáte Microsoft Excel (.xls), pričom jednotlivé odberné miesta a elektromery sú evidované ako samostatné súbory.

Z bezpečnostných dôvodov, vzhľadom na riziko možného zneužitia zdrojových dát, budú všetky tabuľky, grafy a obrázky, ktoré by mohli identifikovať konkrétne odberné miesto, meracie zariadenie alebo distribučnú spoločnosť, anonymizované. Výsledky, čiastkové analýzy a agregované údaje ako počet záznamov, rozdelenie prvých číslíc, ich frekvencie a porovnanie s Benfordovým rozdelením budú, pokiaľ nie je uvedené inak, prezentované v pôvodnej a nezmenenej podobe.

3.2. Príprava údajov

Keďže pôvodné dáta boli uložené vo formáte Microsoft Excel (.xls), ich štruktúra a rozloženie neumožňovali okamžité použitie na ďalšie analýzy a výpočty. Preto bolo potrebné zo zdrojových súborov extrahovať a upraviť iba tie hodnoty, ktoré boli relevantné pre následné spracovanie a testovanie. Súčasťou prípravnej fázy bolo aj rozhodnutie o výbere softvérového nástroja vhodného pre realizáciu experimentálnej a analytickej časti. Zvažované boli nasledujúce možnosti:

- Microsoft Excel – tabuľkový procesor spoločnosti Microsoft,
- Scilab – open-source softvér pre numerické výpočty vyvíjaný organizáciou INRIA (Francúzsko),
- MATLAB – programové prostredie pre technické a vedecké výpočty od spoločnosti MathWorks.

Po porovnaní funkčných možností, dostupnosti a praktickej vhodnosti bol ako najvhodnejší nástroj zvolený Microsoft Excel, ktorý spĺňal požiadavky práce a poskytoval dostatočnú flexibilitu pri manipulácii s dátami.

Prvým krokom experimentu bolo identifikovať dátovú sadu, ktorá už v pôvodnom (neupravovanom) stave vykazuje rozdelenie hodnôt zodpovedajúce Benfordovmu zákonu. Pre lepšiu prehľadnosť a jednoduchšiu prácu s údajmi boli dáta rozčlenené do samostatných súborov vo formáte Excel (.xml). Dátové sady z nízkonapäťovej siete boli najprv zoskupené do jedného spoločného súboru, pričom po

určení tej, ktorá najviac zodpovedala Benfordovmu rozloženiu, bola táto vyčlenená na samostatnú analýzu a ďalšie spracovanie.

Každý analyzovaný súbor obsahoval tri základné stĺpce:

- **Timestamp** – čas merania,
- **Value** – nameraná hodnota výkonu vo wattoch [W],
- **Prvá číslica** – prvá nenulová číslica z hodnoty *Value*.

Na určenie prvej číslice bola použitá vstavaná funkcia Excelu =LEFT(). Na základe týchto údajov bola vytvorená súhrnná tabuľka obsahujúca:

- početnosť výskytu jednotlivých prvých číslíc,
- očakávané početnosti podľa Benfordovho zákona,
- percentuálne podiely skutočných a teoretických hodnôt,
- rozdiely medzi nimi v percentuálnom vyjadrení.

Tabuľka bola doplnená o celkový počet analyzovaných údajov, výsledok testu dobrej zhody vypočítaný funkciou =CHISQ.TEST() (Chi-kvadrát test) a priemernú odchýlku v percentách, predstavujúcu aritmetický priemer rozdielov medzi pozorovanými a očakávanými hodnotami.

Z týchto údajov bol automaticky generovaný graf, ktorý vizuálne znázorňuje frekvenciu jednotlivých prvých číslíc a ich porovnanie s teoretickým Benfordovým rozložením. Tento graf umožňuje rýchle a prehľadné vyhodnotenie miery zhody analyzovanej dátovej sady s Benfordovým zákonom.

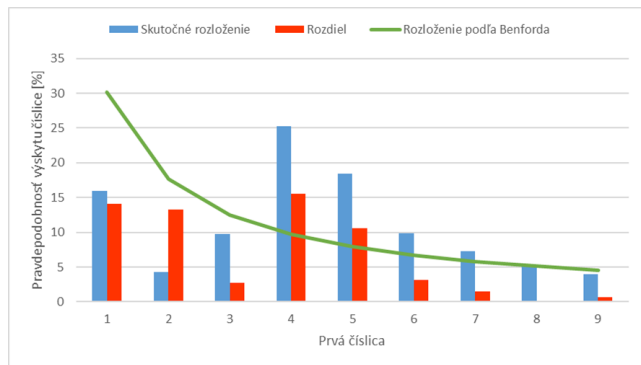
3.3. Výber reprezentatívnej vzorky pre overenie Benfordovho zákona

Na začiatku verifikačných experimentov bolo potrebné určiť tie dátové sady, ktoré vo svojej pôvodnej, neupravenej podobe najlepšie zodpovedajú Benfordovmu zákonu rozdelenia prvých číslíc. Na posúdenie miery zhody medzi teoretickými hodnotami podľa Benfordovho rozloženia a reálnymi údajmi z jednotlivých datasetov bol použitý Chi-kvadrát test zhody, doplnený o výpočet priemerného rozdielu a vizuálne vyhodnotenie grafických závislostí.

Za optimálnu dátovú sadu sa považovala taká, pri ktorej výsledok Chi-kvadrát testu zhody sa blížil k hodnote 1,0 a priemerný rozdiel medzi očakávanými a pozorovanými početnosťami bol čo najbližší k 0,0. Po dôkladnej analýze všetkých 50 dostupných dátových súborov sa ukázalo, že uvedené kritériá najlepšie spĺňala dátová sada A.

TABUĽKA I
Výsledky sady dát s malou zhodou podľa Benfordovho zákona

Prvá číslica	Skutočná početnosť	Očakávaná BZ početnosť	Skutočná početnosť [%]	Očakávaná BZ početnosť [%]	Rozdiel [%]
1	6986	13148	15,995	30,103	14,108
2	1889	7691	4,325	17,609	13,284
3	4256	5457	9,744	12,494	2,750
4	11010	4233	25,208	9,691	15,517
5	8062	3458	18,459	7,918	10,541
6	4299	2924	9,843	6,695	3,148
7	3176	2533	7,272	5,799	1,473
8	2277	2234	5,213	5,115	0,098
9	1721	1999	3,94	4,576	0,636



Obr. 1 Grafická vizualizácia výsledkov z Tab. 1

Na Obr. 1 sú znázornené výsledky z Tab. 1 pre analyzovanú dátovú sadu obsahujúcu 43 676 záznamov v jej pôvodnej, neupravenej podobe. Rozdiely (červené stĺpce) medzi reálnymi pozorovanými hodnotami (modré stĺpce) a teoretickými hodnotami podľa Benfordovho rozloženia (zelená krivka) sú zreteľné a nemožno ich považovať za zanedbateľné. Najväčšia odchýlka bola zaznamenaná pri prvej číslici 4, kde dosiahla hodnotu 15,517 %, zatiaľ čo najmenší rozdiel sa vyskytol pri číslici 8 s hodnotou len 0,098 %. Priemerná odchýlka celej sady predstavovala 6,839 %.

Hodnota Chí-kvadrát testu ($1,117 \times 10^{-9}$) bola veľmi nízka, čo v kombinácii s grafickým porovnaním jasne potvrdzuje výraznú nezhodu medzi empirickými a teoretickými hodnotami. Na základe týchto výsledkov možno konštatovať, že uvedená dátová sada nie je vhodná na ďalšie spracovanie ani experimentálne overenie.

3.4. Výber/vytvorenie redukovanej reprezentatívnej sady dát

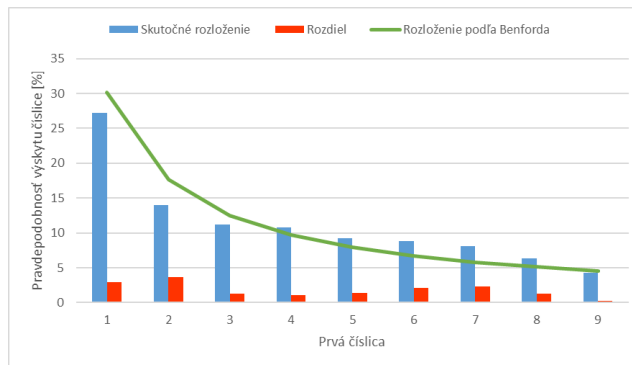
Nasledujúcim krokom bolo vytvoriť alebo vybrať z reprezentatívnych dátových súborov také zmenšené podmnožiny údajov, ktoré by aj po redukcii rozsahu čo najvernejšie zachovali rozdelenie prvých číslic podľa Benfordovho zákona.

Z pôvodne vybranej reprezentatívnej dátovej sady A boli metódou náhodného výberu vytvorené vzorky obsahujúce 10 %, 1 % a 0,1 % pôvodných záznamov. Tieto redukované dátové sady boli následne analyzované pomocou Chí-kvadrát testu zhody, doplneného o výpočet priemerného rozdielu medzi empirickými a teoretickými početnosťami, ako aj o vizuálne posúdenie grafických výsledkov. Na základe týchto analýz boli vybrané vzorky, ktoré si aj po zmenšení objemu dát zachovali najvyššiu úroveň zhody s Benfordovým rozdelením.

3.4.1. 10 % vzorka z dátovej sady A

TABUĽKA II
Výsledky 10 % vzorky z dátovej sady A

Prvá číslica	Skutočná početnosť	Očakávaná BZ početnosť	Skutočná početnosť [%]	Očakávaná BZ početnosť [%]	Rozdiel [%]
1	1187	1315	27,181	30,103	2,922
2	609	769	13,946	17,609	3,663
3	489	546	11,198	12,494	1,296
4	472	423	10,808	9,691	1,117
5	404	346	9,251	7,918	1,333
6	383	292	8,770	6,695	2,075
7	354	253	8,106	5,799	2,307
8	278	223	6,366	5,115	1,251
9	188	200	4,305	4,576	0,271



Obr. 2 Grafická vizualizácia výsledkov z Tab. 2

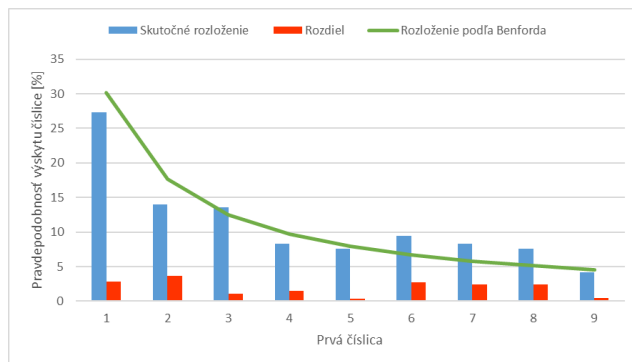
Z pôvodnej dátovej sady A bola metódou náhodného výberu vytvorená vzorka obsahujúca 10 % údajov, teda celkovo 4 367 hodnôt. Táto zmenšená vzorka bola následne analyzovaná z hľadiska rozdelenia prvých číslic a porovnaná s teoretickými hodnotami podľa Benfordovho zákona.

Analýza početnosti jednotlivých číslic ukázala len minimálne odchýlky od očakávaného rozdelenia. Priemerná absolútna odchýlka dosiahla 1,804 %, zatiaľ čo hodnota Chí-kvadrát testu predstavovala 0,9056. Táto hodnota je takmer identická s výsledkom získaným pre celú (100 %) dátovú sadu, čo potvrdzuje, že zníženie rozsahu dát na jednu desatinu nemalo výrazný vplyv na súlad s Benfordovým rozdelením.

3.4.2. 1 % vzorka z dátovej sady A

TABUĽKA III
Výsledky 1 % vzorky z dátovej sady A

Prvá číslica	Skutočná početnosť	Očakávaná BZ početnosť	Skutočná početnosť [%]	Očakávaná BZ početnosť [%]	Rozdiel [%]
1	119	131	27,294	30,103	2,809
2	61	77	13,991	17,609	3,618
3	59	54	13,532	12,494	1,038
4	36	42	8,257	9,691	1,434
5	33	35	7,569	7,918	0,349
6	41	29	9,404	6,695	2,709
7	36	25	8,257	5,799	2,458
8	33	22	7,569	5,115	2,454
9	18	20	4,128	4,576	0,448



Obr. 3 Grafická vizualizácia výsledkov z Tab. 3

Z pôvodnej dátovej sady A bola následne vytvorená 1 % náhodná vzorka, obsahujúca 436 záznamov. Výsledky analýzy ukázali mierne zvýšenie priemernej odchýlky, ktorá dosiahla 1,924 %. Hoci ide o o niečo vyššiu hodnotu v porovnaní s 10 % vzorkou, stále sa nachádza v rozsahu akceptovateľnej tolerancie pre posúdenie zhody s Benfordovým rozdelením.

Hodnota Chí-kvadrát testu zhody v tomto prípade dosiahla 0,7913, čo predstavuje mierny pokles oproti väčším vzorkám, avšak stále

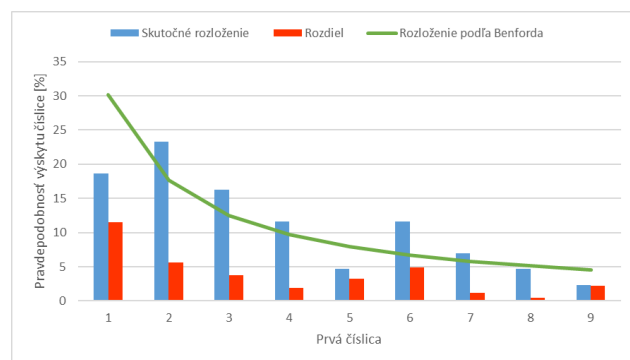
poukazuje na dobrú koreláciu medzi empirickými a teoretickými hodnotami.

Z výsledkov možno usúdiť, že aj 1 % výber z pôvodných dát zachováva charakteristické pravdepodobnostné rozdelenie podľa Benfordovho zákona. Vplyv náhodnosti výberu sa síce prejavil výraznejšie, no jeho efekt zostáva v prípustných medziach pre ďalšie analýzy a experimentálne úpravy.

3.4.3. 0,1 % vzorka z dátovej sady A

TABUĽKA IV
Výsledky 0,1 % vzorky z dátovej sady A

Prvá číslica	Skutočná početnosť	Očakávaná BZ početnosť	Skutočná početnosť [%]	Očakávaná BZ početnosť [%]	Rozdiel [%]
1	8	13	18,605	30,103	11,498
2	10	8	23,256	17,609	5,647
3	7	5	16,279	12,494	3,785
4	5	4	11,628	9,691	1,937
5	2	3	4,651	7,918	3,267
6	5	3	11,628	6,695	4,933
7	3	2	6,977	5,799	1,178
8	2	2	4,651	5,115	0,464
9	1	2	2,326	4,576	2,250



Obr. 4 Grafická vizualizácia výsledkov z Tab. 4

Pri 0,1 % vzorke, ktorá obsahovala len 43 náhodne vybraných hodnôt, sa už výrazne prejavili limity štatistickej reprezentatívnosti pri overovaní zhody s Benfordovým zákonom. Priemerná odchýlka sa v tomto prípade zvýšila na 3,884 %, pričom aj grafické vyhodnotenie poukazuje na zreteľnejšie rozdiely medzi pozorovanými a teoreticky očakávanými početnosťami prvých čísel (Obr. 4).

Hodnota Chí-kvadrát testu dosiahla iba 0,0790, čo signalizuje nízku úroveň zhody s Benfordovým rozdelením. Tento výsledok možno pripísať predovšetkým malému rozsahu dátovej vzorky, pri ktorom aj nepatrné odchýlky v počte výskytov jednotlivých čísel môžu mať výrazný dopad na výsledok testu. Zároveň sa zvyšuje pravdepodobnosť náhodných odchýlok, ktoré v takto malej vzorke ešte viac znižujú spoľahlivosť štatistického vyhodnotenia.

IV. ZÁVER

Na základe vykonaných analýz možno konštatovať, že cieľ práce overiť správanie reálnych dátových sád z oblasti elektroenergetiky vo vzťahu k Benfordovmu zákonu bol úspešne splnený.

V úvodnej fáze praktickej časti bola identifikovaná dátová sada, ktorá už vo svojej pôvodnej podobe vykazovala veľmi dobrú zhodu s teoretickým Benfordovým rozdelením. Následne bola z tejto sady vytvorená zmenšená 1 % vzorka, pričom sa ukázalo, že aj takto malý výber údajov si zachováva uspokojivú mieru zhody s Benfordovým zákonom, hoci s mierne vyššou priemernou odchýlkou a nižšou hodnotou Chí-kvadrát testu v porovnaní s pôvodnou dátovou sadou.

Výsledky experimentov potvrdili, že Benfordov zákon možno efektívne aplikovať aj na dáta z oblasti distribúcie elektrickej energie, pričom správne reflektuje štatistické charakteristiky reálnych meraní z inteligentných elektromerov. Zároveň sa preukázalo, že veľkosť dátovej vzorky má významný vplyv na stabilitu výsledkov – väčšie súbory poskytujú spoľahlivejšie a konzistentnejšie hodnotenia zhody.

Práca zároveň potvrdzuje, že Benfordov zákon predstavuje jednoduchý, rýchly a nenáročný nástroj na kontrolu konzistencie, kvality a prirodzenosti číselných údajov v elektroenergetických systémoch. Môže byť využitý ako doplnkový mechanizmus na detekciu odchýlok alebo nezrovnalostí v dátach, a to najmä pri predbežnom overovaní správnosti meraných hodnôt.

Vytvorené tabuľky a vizualizácie poskytujú prehľadný základ pre ďalšie výskumné aktivity, pričom do budúcnosti možno uvažovať o rozšírení tejto metódy o pokročilé analytické prístupy, ako napríklad štatistické modelovanie alebo metódy strojového učenia, ktoré by umožnili automatizované hodnotenie veľkých dátových súborov v energetike.

LITERATÚRA

- [1] Statista, "Volume of data/information created, captured, copied, and consumed worldwide from 2010 to 2023, with forecasts from 2024 to 2028." Statista, [online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/>. [Accessed: Oct. 22, 2025].
- [2] B. Marr, "How Much Data Do We Create Every Day? The Mind-Blowing Stats Everyone Should Read," *Forbes*, Dec. 10, 2021. [online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/05/21/how-much-data-do-we-create-every-day-the-mind-blowing-stats-everyone-should-read/#82510a60ba99>. [Accessed: Oct. 22, 2025].
- [3] D. Reinsel, J. Gantz, and J. Rydning, *The Digitization of the World: From Edge to Core*. USA: IDC, 2020. [online]. Available: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/dataage-idc-report-final.pdf>. [Accessed: Oct. 22, 2025].
- [4] J. Petráš et al., "Detecting Benford's Law Effectiveness Threshold Differences According to Affecting Operation," *Axioms*, 2025. [online]. Available: <https://doi.org/10.3390/axioms14040273>. [Accessed: Oct. 22, 2025].

ADRESY AUTOROV

Ardian Hyseni, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, ardian.hyseni@tuke.sk
 Ľubomír Pallaj, Technická Univerzita Košice, elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, lubomir.pallaj@tuke.sk
 Július Šimčák, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, julius.simcak@tuke.sk
 Kristián Glajc, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, kristian.glajc@tuke.sk
 René Viliam Lupták, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, rene.viliam.luptak@studnet.tuke.sk
 Jaroslav Petráš, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, jaroslav.petras@tuke.sk
 Kristián Eliáš, Technická Univerzita Košice, Katedra elektroenergetiky, Mäsiarska 74, Košice, SK 04210, Slovenská Republika, kristian.elias@tuke.sk