

Dimenzovanie grid-off hybridného systému

Mikita Miroslav · Elektrotechnika

13.07.2016



Tento článok pojednáva o dimenzovaní hybridného systému obnoviteľných zdrojov, ktorých aplikácie sú vhodné v odľahlých oblastiach, kde pripojenie k distribučnej sieti nie je k dispozícii, alebo pripojenie do siete je vysoko ekonomicky náročné. Podľa veľkosti inštalovaného výkonu každej časti či už fotovoltaickej, veternej a malej vodnej elektrárne môže byť takýto systém použitý pre napájanie malých systémov so spotrebou stovky wattov, ale tiež môže byť použitý na napájanie celej dediny, kde pripojená záťaž má výkon v rádovo až megawattoch. Všetko záleží na inštalovanom výkone jednotlivých zdrojov, typov a veľkosti akumuláčného zariadenia a vybavenia, aby bolo zaručené napájanie ostrovného systému. Tieto systémy závisia do značnej miery od poveternostných podmienok v lokalite inštalácie. Tento článok sa zaoberá malým grid-off systémom slúžiacim na dodávku elektriny pre jediný dom. Tento dom je modelovaný ako rodinný dom s dvoma člennú rodiny. Systém sa skladá z fotovoltaických článkov, veterných turbín, malej vodnej elektrárne a batérií ako zdroja akumulácie. Tento systém je určený na napájanie celej dennej spotreby domu bez výpadkov elektriny.

Úvod

Hybridné systémy využívajúce obnoviteľné zdroje energie boli navrhnuté rôznymi výskumníkmi pre elektrifikáciu v odľahlých oblastiach. V hybridných systémoch energetický dopyt na vzdialenom mieste je pokrývaný pomocou energetického potenciálu miestne dostupných obnoviteľných zdrojov energie. V týchto hybridných systémoch sa využívajú obnoviteľné zdroje energie, ako sú fotovoltaické, veterné, malé vodné elektrárne alebo elektrárne na biomasu a bioplyn na výrobu elektrickej energie. Hybridné systémy majú potenciál spájať výhody, ako je energetická účinnosť a úspory energie, vyplývajúce z kombinácie obnoviteľných zdrojov energie. Hybridné systémy využívajú rôzne obnoviteľné zdroje energie, čím minimalizujú požiadavku na skladovanie energie a zvyšuje sa spoľahlivosť napájania a kvalita výkonu. U samostatných aplikácií, tieto systémy sú vždy podporené úložnými zariadeniami, kvôli zlepšeniu stability a neprerušiteľnosti dodávky z obnoviteľných zdrojov energie ako sú fotovoltaická a veterné.

Riadiaci systém je srdcom hybridného systému a poskytuje informácie a komunikáciu medzi jednotlivými zložkami systému. Riadiaci systém reguluje výkon obnoviteľných zdrojov energie a tiež generuje signály pre plánovanie úložného subsystému a výpis zaťaženia. Chráni úložný systém pred prebíjaním a tým pomáha prevádzkovať úložný

system v predpísaných limitoch. Kedykoľvek je k dispozícii prebytok energie, je poslaný do akumuláčného subsystemu na uloženie prebytočnej energie a ak je akumuláčny systém plne nabitý tak je prebytočný výkon do poslaný do umelého zaťaženia, ktoré môže byť využité pri varení, ohreve vody, pečení atď. Za stavu, keď dopyt prevyšuje výrobu elektriny akumulovaná energia sa používa, aby mohli byť pokryté požiadavky zaťaženia [1], [2].

Niektoré z odľahlých lokalít nemajú dostatočnú dostupnosť obnoviteľných zdrojov energie v takýchto podmienkach je nutné pridať nejaký konvenčný zdroj na báze napríklad dieselu alebo benzínu, spolu s obnoviteľnými zdrojmi energie s cieľom splniť požiadavky na zaťaženie. Dieselaagregát v hybridnom systéme znečisťuje životné prostredie, je teda nevyhnutná analýza úrovne emisií skleníkových plynov a musí byť vykonaná. Tento systém nie je vhodný pre kopcovitý terén v odľahlých oblastiach pre problémy spojené s dopravou pohonných hmôt [3].

1. Architektúry hybridných obnoviteľných systémov

Všeobecne platí, že hybridný energetický systém by mohol byť zložený podobne ako ukazuje Obr. 1. Tento druh energetických systémov sa nazýva "hybrid", pretože obsahujú viac ako jeden zdroj energie za účelom pokrytia definovanej elektrickej záťaže, obyčajne AC záťaže, avšak môže tiež dodávať aj jednosmernú záťaž alebo obe v rovnaký čas. Zdroje energie môže byť alternatívne (t.j. obnoviteľné zdroje), rovnako ako konvenčné (t.j. elektrická sieť alebo diesel generátor), alebo záložné zdroje z uskladnenej energie (t.j. batériové polia alebo palivové články), týmto spôsobom, nedostatočnosť niektorých zdrojov energie je doplnená o energiu uloženú v batériách alebo palivových článkoch. Pre ilustráciu aj napriek nepredvídateľnej dostupnosti niektorých alternatívnych zdrojov energie (ako je slnečná a veterná energia) tieto zdroje zvyčajne prezentujú komplementárne vzory a tým sa dopĺňajú.

Hybridné energetické systémy môžu fungovať buď v spolupráci so sieťou (grid-on), kde je hlavnou prioritou systému je uspokojiť domáci dopyt po energii a príležitostne dodávať do siete akýkoľvek prebytok energie, alebo ako samostatný systém pre výrobu energie nezávisle na rozvodnej sieti v odľahlých oblastiach (grid-off). Pri hybridných energetických systémoch sú najčastejšími zdrojmi fotovoltická či veterná energia vo väčšina prípadov je však potrebný pomocný zdroj energie (napr. pôvodom z batérií, palivových článkov, alebo z rozvodnej siete), z vyššie uvedeného vyplýva, že cieľom je prekonať nedostupnosť týchto energií v určitom čase. Niekedy, v závislosti od dostupnosti zdroja energie, je potrebné nájsť rovnováhu inými slovami, riadiaca jednotka rozhoduje, ktorý zdroj energie bude dodávať elektrickú záťaž v danom čase [4], [5].



Obr. 1 Všeobecná architektúra hybridného systému [4]

2. Simulačný program homer

Homer je simulačný program vyvinutý U.S. National Renewable Energy Laboratory (NREL) na pomoc pri plánovaní a projektovaní obnoviteľných microsietí na báze obnoviteľných zdrojov energie. Homer simuluje fyzické správanie dodávok elektrickej energie do systému a jeho životný cyklus náklady na neho, čo je súčet investičných a prevádzkových nákladov po dobu životnosti celého systému. Možnosti, ako napríklad distribuované výrobné jednotky (DG), samostatné systémy, grid-off a systémov zásobovania grid-on na odľahlých oblastiach a ďalšie možnosti dizajnu, môžu tiež byť hodnotené pomocou softvéru Homer. Homer je navrhnutý tak, aby bol schopný prekonať výzvy analýzy a návrhu microsietí, vyplývajúce z veľkého počtu možností dizajnu a neistôt v kľúčových parametroch, ako je rast záťaže a budúcich cien pohonných hmôt. Simulácia, optimalizácia a citlivostná analýza sú tri hlavné úlohy vykonávané v programe Homer [6].

2.1 Simulácia v programe Homer

V oblasti simulácie v programe Homer sa stanoví technická realizovateľnosť a náklady na životný cyklus hybridnej microsiete pre každú hodinu roka. Okrem toho je konfigurácia microsiete a jej prevádzkové stratégie jednotlivých zložiek dodávky testovaná a skúma sa ako tieto komponenty pracujú v danom nastavení v priebehu času. Táto simulačná schopnosť programu Homer je výhodná na priblíženie dlhodobej prevádzky microsiete. Optimalizácia a citlivostná analýza v programe Homer závisí práve na týchto jeho simulačných schopnostiach [7].

2.2 Velkostná optimalizácia v programe Homer

V časti optimalizácie program Homer zobrazí uskutočniteľné systémy s ich konfiguráciou z vybraného vyhľadávacieho priestoru definovaného užívateľom, zoradené podľa minimálnych nákladov na hybridnú microsiet v závislosti od celkovej čiastky obstarávacích nákladov na systém. Simuláciou sa zistí konfiguráciu systému microsiete a optimalizáciou sa vypočíta a zobrazí optimálna konfigurácia microsiete. Homer nájde optimálnu konfiguráciu microsiete, čo je to, že konfigurácia s minimálnou hodnotou celkových čistých nákladov pre dodržanie obmedzení zadaných

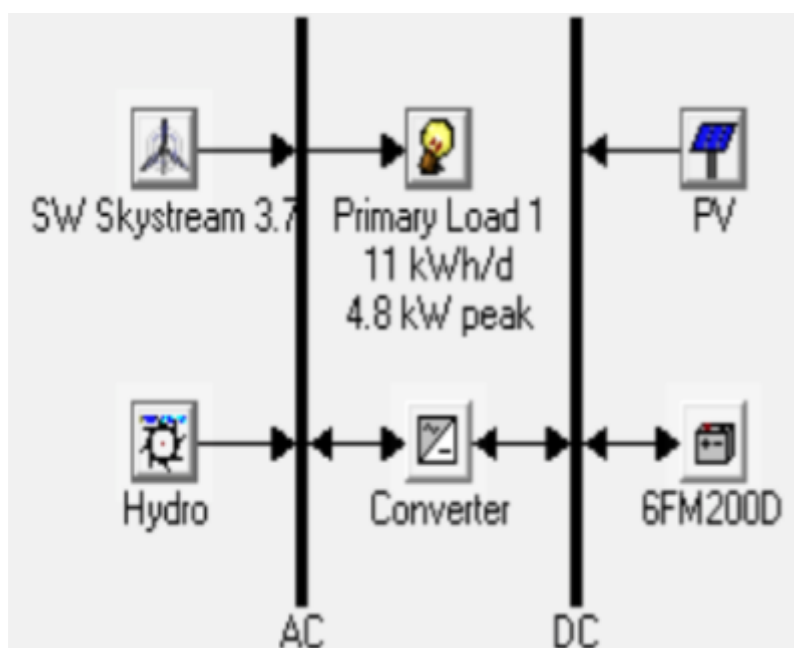
užívateľom [8].

2.3 Citlivostná analýza

V tejto sekcii, užívateľ môže analyzovať účinky zmien parametrov v priebehu času. Homer zistí optimálne hodnoty pre rôzne veľkosti a počty zariadení, ktoré sú dostatočné pre pokrytie spotreby v microsieti a s nimi súvisiace obmedzenia. Premenné citlivostnej analýzy sú premenné, ktoré boli zadané užívateľom a majú rôzne hodnoty. Hlavným cieľom analýzy citlivosti v programe Homer je v prípade, že používateľ si nie je istý, čo je najlepšia hodnota konkrétnej premennej skúsi užívateľ zadávať rôzne hodnoty a analýza citlivosti ukáže, ako sa výsledky správajú v závislosti na týchto hodnotách. Mnoho optimalizácií sa musí vykonať programom Homer, každá s použitím rôznych hodnôt vstupných premenných [9].

3. Modelovanie hybridného systému

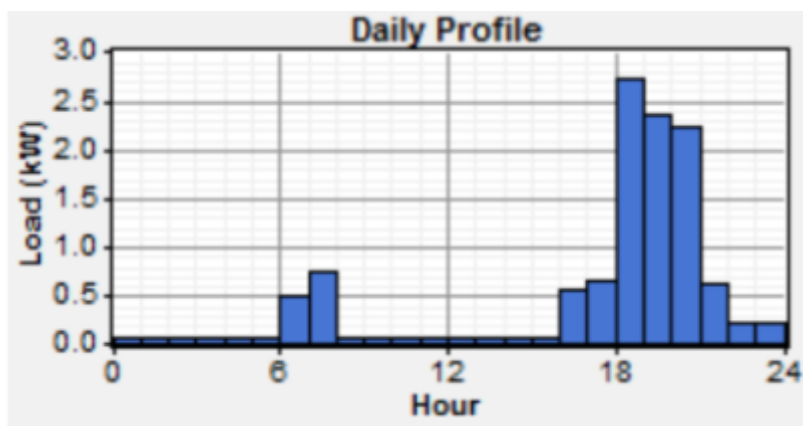
Hybridný grid-off energetický systém sa všeobecne skladá z primárnych obnoviteľných zdrojov, ako sú veterné a fotovoltické elektrárne, ktoré pracujú paralelne spolu s akumulátormi alebo inými úložiskami energie. Obr. 2 znázorňuje usporiadanie skúmaného hybridného systému, ktorý bol použitý ako základ pre simuláciu prípadovej štúdie.



Obr. 2 Implementácia hybridného systému

3.1 Model záťaže

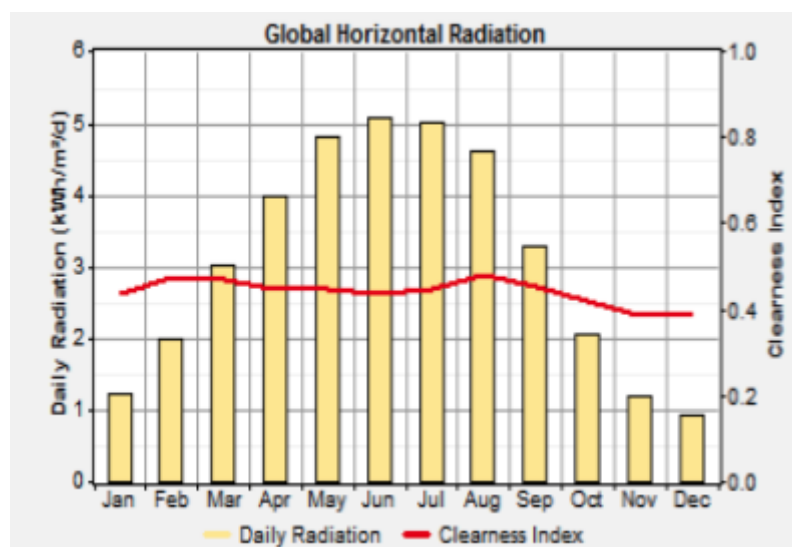
Priemerný dom na Slovensku s 2 obyvateľmi má spotrebu približne 11 kWh / d s príkonom v čase špičky takmer 2,4 kW. Bol použitý súbor údajov o spotrebe energie pre typický dom napojený na sieť v lokalite severovýchodného Slovenska konkrétne v obci Čirč a na základe týchto dát bol navrhnutý denný diagram záťaže. Tento dom má rôzne elektrické zariadenia, ako väčšina domov v tejto oblasti, ako je chladnička, PC, TV, práčka, rýchlovarná kanvica, svetlá, rúra, žehlička, elektrický sporák, rádio, mrazničku a tak ďalej. Typická denná spotreba energie je vyššia vo večerných hodinách, ako to možno vidieť na Obr. 3.



Obr. 3 Denný profil záťaže v simulovanom dome

3.2 Dáta intenzity slnečného žiarenia

Mesačné hodnoty intenzity slnečného žiarenia v lokalite obce Čirč sú získané z databázy NASA pre zemepisné súradnice, $49^{\circ} 16'$ severnej šírky a $20^{\circ} 55'$ východnej dĺžky. Homer na základe týchto údajov dokáže simulovať hodnoty slnečného žiarenia pre každú z 8760 hodín v roku pomocou využitia Grahamovho algoritmu. Tento algoritmus vytvára realistické hodinové údaje, ktoré je ľahké používať, pretože vyžadujú iba zemepisné súradnice a mesačné priemery intenzity slnečného žiarenia. Tieto dáta zobrazujú realistické údaje zo deň za dňom a hodinu za hodinou. Ak sa jednu hodinu je zamračené, je pomerne vysoká pravdepodobnosť, že ďalšia hodina bude tiež zamračená. Rovnako tak po zamračenom dni, je pravdepodobné, že bude nasledovať ďalší deň pri zatiahnutej oblohe. Syntetické dáta sú vytvorené z určitými štatistickými vlastnosťami, ktoré odrážajú globálne priemery. Takže dáta vytvorené pre určitú lokalitu dokážu dokonale kopírovať vlastnosti skutočného solárneho zdroja. Testy ukazujú, že syntetické solárne údaje majú prakticky rovnaké výsledky simulácie ako pri simulovaní z reálnymi dátami. Mesačné priemerné hodnoty intenzity slnečného žiarenia sú uvedené na Obr. 4 [10].

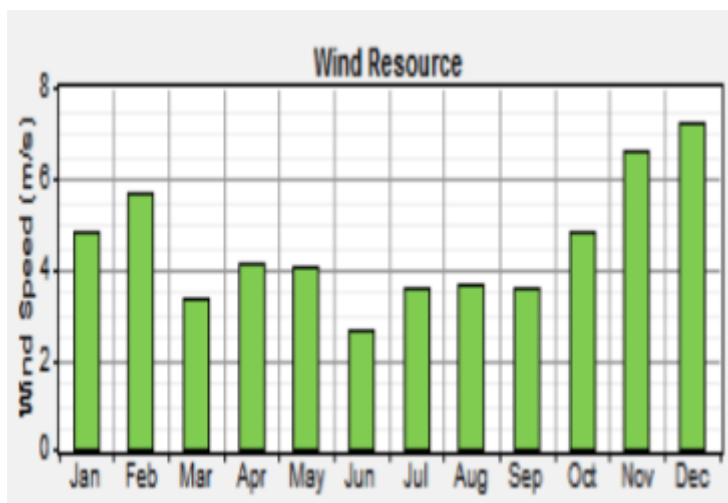


Obr. 4 Mesačné priemery intenzity slnečného žiarenia

3.3 Dáta o rýchlosti vetra

Mesačné údaje o priemerných rýchlostiach vetra boli zhotovené na základe priemeru rýchlostí za posledných desať rokov, ktoré boli získané z NASA. Ročná priemerná

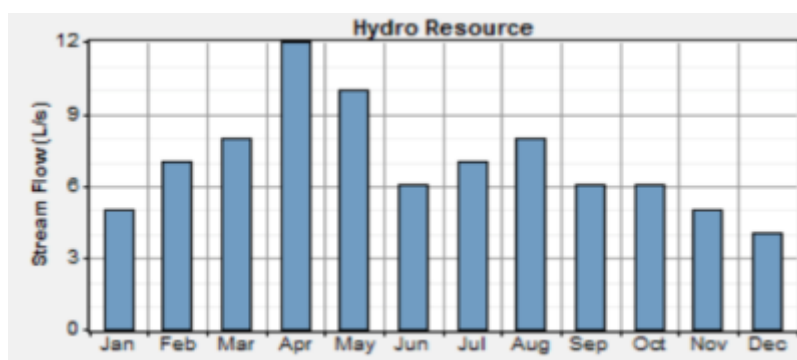
rýchlosť vetra v danom mieste, je 3,5 m vo výške 20 m. Je tiež pozorovaná pravdepodobnosť rýchlost vetra a priemerná mesačná rýchlosť počas každého mesiaca v roku , čo je možné vidieť na Obr. 5 [10].



Obr. 5 Profil rýchlostí vetra v lokalite

3.4 Dáta prietokov vody

Mesačné priemery prietokov na simulovanom vodnom zdroji je možné vidieť na Obr. 6.



Obr. 6 Profil prietokov na vodnom zdroji

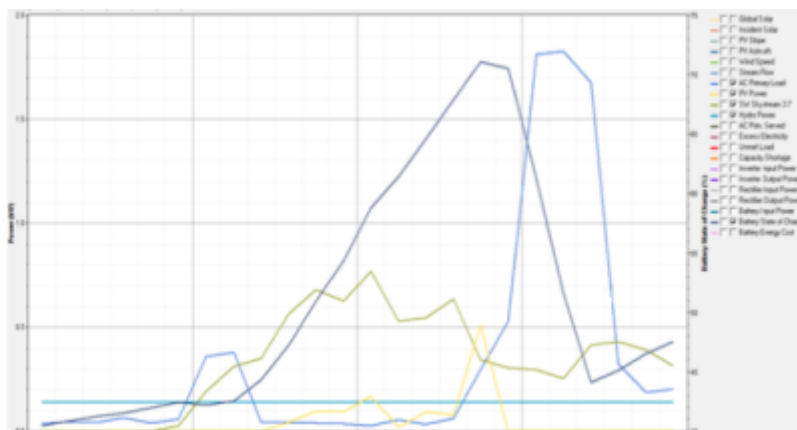
4. Výsledky simulácie hybridného systému

Po namodelovaní a nastavení systémových komponentov môže byť spustená simulácia hybridného energetického systému. Optimalizačný model sa používa na simuláciu systému. Veľké množstvo možností je k dispozícii pre rôzne veľkosti použitých komponentov, počty komponentov, ktoré majú byť pridané do systému, takisto aj nákladové funkcie komponentov použitých v systéme. Pomocou optimalizačných funkcií algoritmov na analýza citlivosti sa vyhodnocujú možnosti konfigurácií hybridných systémov. Obrázok 7. ukazuje optimálne dimenzovanie zdrojov hybridného systému, ktoré je založené na simulácii. Tento systém poskytuje dostatok elektrickej energie zaťaženie celého simulovaného domu. Tento hybridný grid-off systém sa skladá z poľa fotovoltických článkov s veľkosťou 3kW, veternej turbíny SW SKYSTREAM 3,7, vodnej turbíny s výkonom 0,14 kW, 8 batérií Vision 6FM200D a striedača s veľkosťou 3kW.

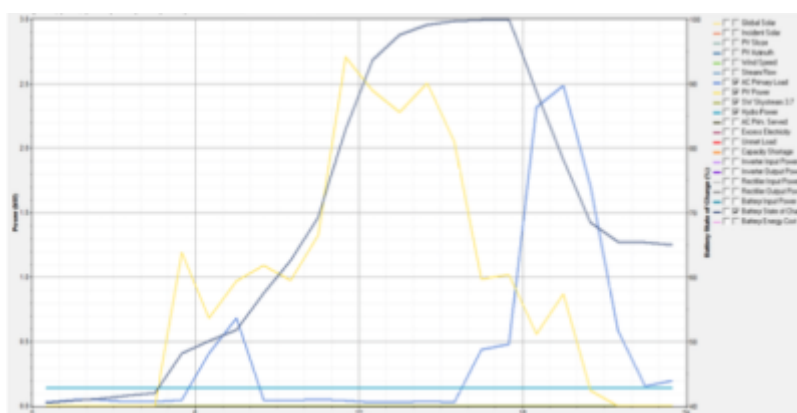
	PV (kW)	S3.7	Hydro (kW)	6FM200D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	3	1	0.140	8	3.0	\$ 12,970	156	\$ 14,964	0.301	1.00

Obr. 7 Dimenzovanie hybridného systému

Obr. 8 a Obr. 9 ukazujú denné bilančné charakteristiky v typickom zimnom a letnom dni dní. Charakteristiky zobrazujú stav nabitia batérií, výrobu z fotovoltického poľa, veternej turbíny a malej vodnej elektrárne a tiež krivku spotreby. Ako je vidieť systém pokrýva celú spotrebu modelovaného domu, keď výroba je vyššia než spotreba batérie fungujú ako úložisko prebytočnej elektrickej energie, a keď je spotreba vyššia ako výroba batérie dodáva potrebné množstvo elektrickej energie.



Obr. 8 Bilančná charakteristika výkonov pre deň 15. december



Obr. 9 Bilančná charakteristika výkonov pre deň 18. júl

5. Záver

Navrhovaný a modelovaný hybridný systém dokáže plne pokryť dennú spotrebu modelovaného domu. Systém sa skladá z 3 kW veľkého FV poľa, veternej turbíny Whisper 100 s menovitým výkonom 0,9 kW, súboru batérií, ktorý sa skladá z 15 batérií Vision 6FM200D a striedača s veľkosťou 3kW. Hybridné systémy sú vhodným spôsobom, ako pokryť spotrebu elektriny domov v oblastiach, kde sú dobré klimatické podmienky. Výber optimálnej veľkosti prvkov hybridných systémov je dôležitý z ekonomického pohľadu, pretože tieto systémy sú drahé a práve dimenzovanie prvkov hybridného systému môže znížiť množstvo peňazí potrebných k nákupu takéhoto systému. Hybridné systémy sú riešením pre dodávku elektriny v odľahlých oblastiach, kde vybudovanie siete je drahé, alebo nepravdepodobné. V posledných dňoch ceny takýchto systémov sú stále nižšie a tieto zariadenia sú stále dostupnejšie.

Zoznam použitej literatúry

1. P. Nema, R.K. Nema, S. Rangnekar, "A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: a review," *Renew Sust Energy Rev*, vol. 13 (8) (2009), pp. 2096-3103
2. Bernal-Agustín, J. L., & Dufo-López, R. (2009). "Simulation and optimization of stand-alone hybrid renewable energy systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13(8), pp. 2111-2118..
3. Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., & Yang, H. (2010). "Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar-wind power generation systems," in *Applied Energy*, 87(2), pp. 380-389..
4. Luna-Rubio, R., Trejo-Perea, M., Vargas-Vázquez, D., & Ríos-Moreno, G. J. (2012). "Optimal sizing of renewable hybrids energy systems: A review of methodologies," in *Solar Energy*, vol. 86(4), pp. 1077-1088.
5. ASHOK, S. "Optimised model for community-based hybrid energy system," in. *Renewable energy*, 2007, vol. 32.7: pp. 1155-1164.
6. LAMBERT, Tom; GILMAN, Paul; LILIENTHAL, Peter. "Micropower system modeling with HOMER," in. *Integration of alternative sources of energy*, 2006, 1.1: pp. 379-385.
7. HAFEZ, Omar; BHATTACHARYA, Kankar. "Optimal planning and design of a renewable energy based supply system for microgrids," in. *Renewable Energy*, 2012, vol. 45: pp. 7-15.
8. FULZELE, J. B.; DUTT, Subroto. "Optimum planning of hybrid renewable energy system using HOMER," in. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 2011, 2.1: pp. 68-74,
9. Gavanidou ES, Bakirtzis AG, Dokopoulos PS. "A probabilistic method for the evaluation of the performance and reliability of wind-diesel energy systems," *IEEE Trans Energy Convers* 1993;8:197-206.
10. NASA, "Surface meteorology and Solar Energy".[Online].
<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Spoluautormi článku sú Dr. h.c. prof. Ing. Michal Kolcun, PhD., a Ing. Michal ŠPES, Katedra elektroenergetiky, FEI TUKE, Slovenská republika
