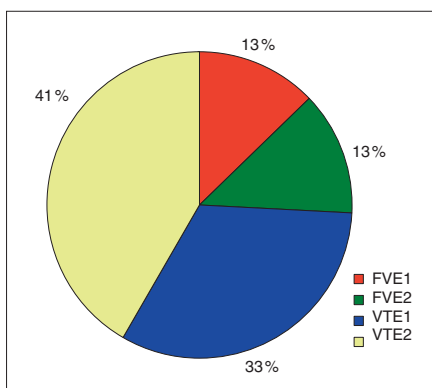


# Ostrovní napájecí systémy využívající OZE (2. část – dokončení)

doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D., VŠB-TUO, FEI, katedra elektroenergetiky,  
Ing. Lukáš Prokop, Ph.D., VŠ-TUO, FEI, katedra elektroenergetiky

Z obr. 13 je zřejmé, že kapacita baterie ve večerních hodinách je přibližně 90 %, což znamená, že zdroje elektrické energie byly schopny během dne dobít baterie. Baterie je z velké části dobíjena v průběhu dne; jelikož v noci je připojena zátěž, je akumulovaná elektrická energie odebrána a navíc nejsou v provozu fotovoltaické panely. V květnu dosahuje kapacita baterie ve večerních hodinách pouze hodnoty okolo 75 %; bylo tomu tak z důvodu zkušebního provozu celého systému, kdy byl provoz jednotlivých zdrojů teprve optimalizován. Napětí fotovol-



Obr. 12. Podíl jednotlivých zdrojů na celkové výrobě hybridního systému pro prosinec – maximum výroby elektřiny z větrných elektráren

taických panelů je úměrně intenzitě slunečního záření, lze proto tuto závislost využít pro ovládání spínání svítidel veřejného osvětlení. Odlišné hodnoty kapacity baterie v ranních hodinách na obr. 13 (červený sloupec) jsou s největší pravděpodobností způsobeny odlišnou oblačností v jednotlivých měsících, jelikož při větší oblačnosti se snižuje intenzita slunečního záření, a tím klesá i napětí na fotovoltaickém panelu. Toto regulátor vyhodnotí jako podnět k připojení zátěže, tedy svítidel veřejného osvětlení. Stejná situace může nastat v ranních hodinách, kdy velká oblačnost způsobí prodloužení doby s nízkým napětím na fotovoltaickém panelu, a tím i prodloužení doby připojení zátěže, tedy delší doby svitu veřejného osvětlení. Tyto nežádoucí stavy je možné eliminovat přednastavením limitní hodnoty napětí pro zapnutí a vypnutí zátěže nebo změnou podmínek pro spínání zátěže. Jako alternativu lze zvolit např. spínání podle pevně nastaveného času.

Zda došlo k výpadkům zdrojů elektrické energie, lze poznat podle snížení kapacity

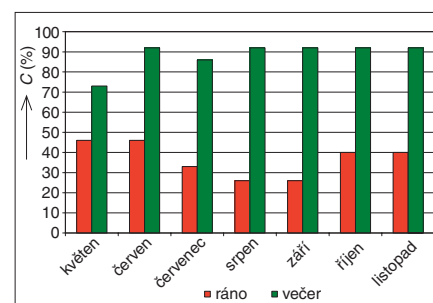
baterie ve večerních hodinách (zelený sloupec). Stejně by se projevil i nedostatek slunečního záření v kombinaci s malými hodnotami rychlostí větru. Vzhledem k tomu, jak je dimenzována kapacita akumulátorové baterie, je hybridní ostrovní napájecí systém schopen fungovat po určitou dobu i bez dobíjení akumulátorových baterií. Délka této doby závisí na několika kritériích; příkladem může být venkovní teplota. V zimě jsou na fungování akumulátorových baterií kladeny daleko větší požadavky než během provozu v letních měsících, lze proto předpokládat, že v zimě bude doba provozu systému bez dobíjení kratší než v létě. Přes toto negativní působení některých faktorů je předpokládána doba provozu systému bez dobíjení akumulátorových baterií asi tři dny, což by mělo poskytnout dostatek času k obnově provozu zdrojů, a tím i k opětovnému dobíjení baterií. Stejně tak je třeba mít na paměti, že vybíjení baterie pod určitou úroveň je nežádoucí a negativně ovlivňuje počet nabíjecích cyklů, potažmo životnost baterie.

Výsledkům zobrazeným na obr. 13 odpovídají i výsledky na obr. 14, kde jsou ukázány hodnoty maximálního a minimálního napětí na baterii. Na obr. 14 je potvrzeno, že akumulátorové baterie jsou v běžném provozním stavu bez napětových výkyvů a při připojování zátěží klesá napětí pod jmenovitou hodnotu 12 V pouze minimálně.

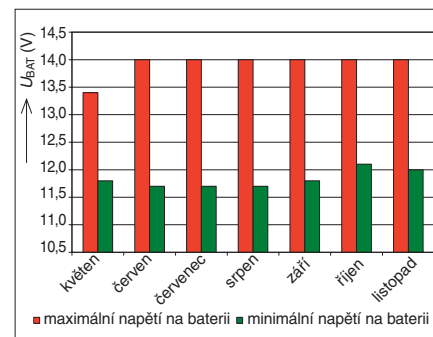
Květen byl tedy z hlediska provozu celého systému abnormální, jelikož probíhal testovací provoz. Minimální velikost napětí na baterii souvisí s délkou doby, kdy je připojena k bateriím zátěž, tzn. s délkou svitu veřejného osvětlení. Čím déle svítí veřejné osvětlení, tím menších minimálních hodnot napětí akumulátorové baterie je dosaženo. Hodnoty maxima napětí na baterii, jak je vidět z obr. 14, jsou kromě května konstantní a činí 14,0 V. Hodnota 14,0 V je v regulátoru nastavena jako maximální tak, aby akumulátorové baterie nebyly přebíjeny. Když napětí na akumulátorové baterii dosáhne limitní hodnoty 14,0 V, jsou zdroje od baterie odpojeny. Přebíjení hrozí zejména v letním období, kdy je intenzita slunečního záření dlouho velká a zároveň doba připojení zátěže a odběru elektrické energie je krátká.

Stejným kritériem pro hodnocení provozu a ověření správného návrhu zdrojů je analýza energetické bilance celého hybridního ostrovního napájecího systému. Z energetické bilance systému na obr. 15, který ukazuje

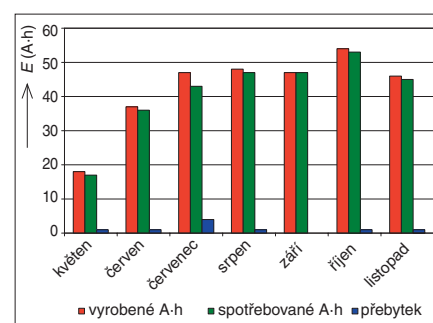
průměrnou denní výrobu, spotřebu a přebytek v každém z monitorovaných měsíců, je patrné, že výkon všech použitých zdrojů postačuje k pokrytí spotřeby zátěže a v některých měsících je dosahováno i přebytku elektrické energie. Množství spotřebované elektrické



Obr. 13. Stav akumulátorové baterie



Obr. 14. Napětí na baterii

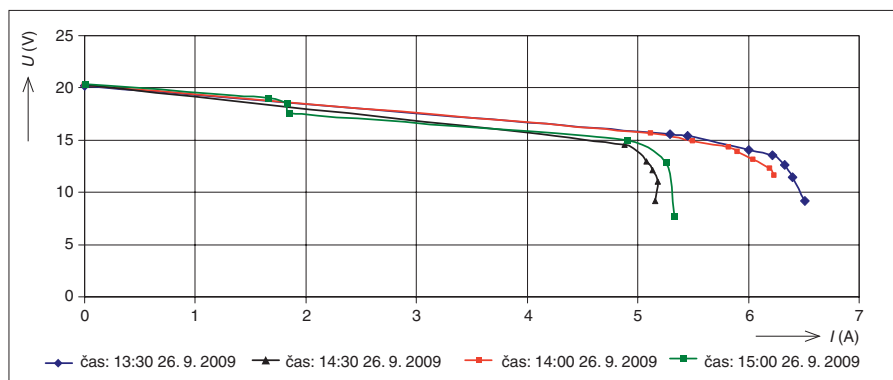


Obr. 15. Energetická bilance systému

ké energie je možné řídit nastavením regulátoru v několika režimech, což provozovateli umožňuje flexibilně reagovat na dostupnost jednotlivých zdrojů, a jelikož jsou využity obnovitelné zdroje s nepravidelnou dodávkou elektrické energie, je toto podstatná vlastnost regulátoru. Disponibilita jednotlivých zdro-

jů elektrické energie závisí na meteorologických podmínkách dané lokality a denní době. Pro větrné elektrárny je směrodatná rychlost a směr větru a pro fotovoltaické panely jde především o intenzitu slunečního záření, teplotu, ale také rychlost větru a mnoho dalších kritérií, která mají vliv na provoz fotovoltaického panelu.

Množství spotřebované elektrické energie na obr. 15 je pro každý měsíc odlišné a je závislé na intenzitě slunečního záření, potažmo na napětí na panelu, podle kterého je spínána zátěž.



Obr. 16. Voltampérová charakteristika fotovoltaické elektrárny

## 6. Analýza účinnosti systému

Účinnost přeměny elektrické energie větrné elektrárny je možné zvýšit optimalizací větrného motoru, optimalizací systému řízení či výběrem vhodné lokality a stanovením optimální výšky umístění větrného motoru. Co se týče fotovoltaické elektrárny, je účinnost přeměny závislá především na použité technice, orientaci fotovoltaického panelu a rovněž na volbě vhodné lokality.

V případě fotovoltaických a větrných elektráren nejsou výstupní úroveň a tvar napětí využitelné pro přímé napájení spotřebičů, proto je nutné použít několik dodatečných konverzních zařízení pro úpravu výstupního napětí podle požadavků zátěže. V případě hybridního zdroje elektrické energie, který sdružuje dva technologicky odlišné obnovitelné zdroje, je volba vhodných konverzních zařízení velmi problematická. Problematické je především nastavení součinnosti provozu jednotlivých zdrojů s ohledem na specifické podmínky provozu akumulátorových baterií, které vyžadují pomalé nabíjecí a vybíjecí procesy. Volbu vhodných konverzních komponent je nutné prvně přizpůsobit voltampérové (V-A) charakteristice samostatně pracujícího zdroje elektrické energie. U fotovoltaického panelu jde o charakteristické průběhy výstupního napětí panelu při různém zatížení, které se budou měnit taktéž v závislosti na energii slunečního záření. Na obr. 16 je zobrazena ukázka V-A charakteristiky fotovoltaického panelu, který je součástí hybridního zdroje, pro různé denní intervaly. Podle uvedené charakteris-

tiky a dále taktéž podle požadavků na limity nabíjecího a vybíjecího procesu akumulátorové baterie je nutné zvolit regulátor, pomocí něhož je baterie nabíjena.

Při optimalizaci jednotlivých konverzních prvků pro úpravu napětového signálu z generátoru větrné elektrárny je situace mnohem složitější. Výstupní napětí ze synchronního generátoru s permanentními magnety je nutné usměrnit a stabilizovat na hodnotu napětí potřebnou pro nabíjecí proces akumulátorové baterie. K usměrnění výstupního napětového signálu je možné využít neřízený můstkový

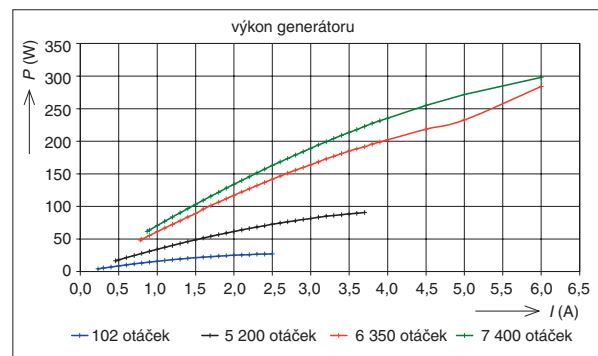
ky je však nutné počítat s deformací napětových i proudových signálů, která je způsobena zpětným vlivem uvedené polovodičové techniky. Příklad okamžitých průběhů sdruženého napětí na výstupu synchronního generátoru, napětí na výstupu z DC/DC měniče a proudu do zátěže je ukázán na obr. 18. Z obr. 18 je zřejmá deformace napětového i proudového signálu vlivem spínací frekvence DC/DC měniče.

Deformace sledovaných veličin při použití polovodičové techniky není však jediným negativním ovlivněním provozu hybridního systému. Každé konverzní zařízení pracuje s určitou účinností, která se promítne do vyhodnocení celkové účinnosti hybridního systému. Celková účinnost systému je vypočítána jako součin jednotlivých účinností komponent systému. V laboratoři VŠB-TU Ostrava byla sledována účinnost hybridního systému pro případ použití různých konverzních zařízení. Analýza byla provedena pro řetězec: synchronní generátor s permanentními magnety – AC/DC měnič – DC/DC měnič – DC/AC měnič – odporová zátěž. Analýza byla provedena pro jmenovité otáčky stroje, tedy  $350 \text{ min}^{-1}$ . Pokud pracuje synchronní generátor přímo do zátěže, jde o ideální variantu provozu s ohledem

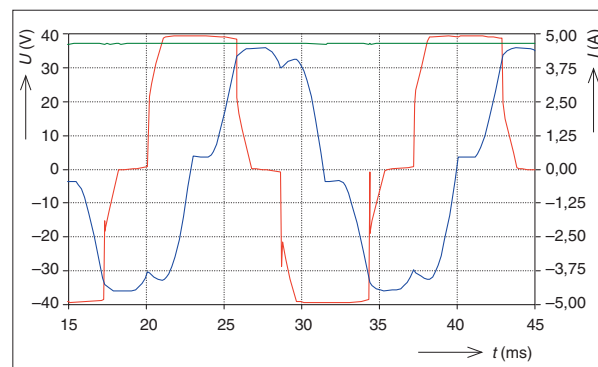
usměrňovač. Takto získaný napětový DC signál je však nutné dále upravit na požadovanou úroveň, a především stabilizovat s ohledem na zatěžovací charakteristiku generátoru s permanentními magnety. Na obr. 17 je zobrazena zmiňovaná charakteristika pro generátor použitý v hybridním systému VŠB-TU Ostrava.

Synchronní generátor s permanentními magnety nemá možnost regulace úrovně napětí, které je přímo úměrné otáčkám generátoru a je vyjádřeno napětím konstantou. Velikost výstupního výkonu na svorkách synchronního generátoru s permanentními magnety je úměrná otáčkám generátoru, přičemž pracovní bod stroje se pohybuje v závislosti na daném zatížení stroje (viz obr. 17). Úměrně velikosti napětí na výstupu ze synchronního generátoru se bude měnit i velikost stejnosměrného signálu na výstupu z usměrňovače.

S ohledem na podmínky nabíjecího procesu akumulátorové baterie je tedy vhodné použít DC/DC měnič, na jehož výstupu je možné nastavit požadovanou stabilizovanou úroveň napětí. Při použití polovodičové techni-



Obr. 17. Zatěžovací charakteristika synchronního generátoru s permanentními magnety



Obr. 18. Okamžitý průběh napětí na výstupu synchronního generátoru s permanentními magnety (V), průběh napětí na výstupu DC/DC konvertoru (V), průběh proudu na výstupu generátoru (A)

na účinnost zařízení, která se pohybuje v rozmezí 67 až 78 %, přičemž maximální účinnost je dosaženo v oblasti jmenovitého zatížení stroje. Kdyby byl na úpravu napětového signálu dále použit AC/DC měnič a DC/DC měnič

Installation of hybrid off-grid systems is useful in places where it is not possible to use an ordinary connection to the distribution network or in places where such a connection would be either expensive or difficult.

The paper describes a hybrid off-grid power system built at the VSB-TUO campus. This system comprises a wind power plant, a photovoltaic system, a battery bank, a control unit and a streetlight as a connected appliance. Hybrid off-grid power systems with small wind power plant and photovoltaic modules can be a good alternative for some electric appliance supplying.

This paper presents the results from the battery bank sizing based on averaged meteorological database, conclusions from the operation of the hybrid power system and results from the analysis of a hybrid system efficiency chain.

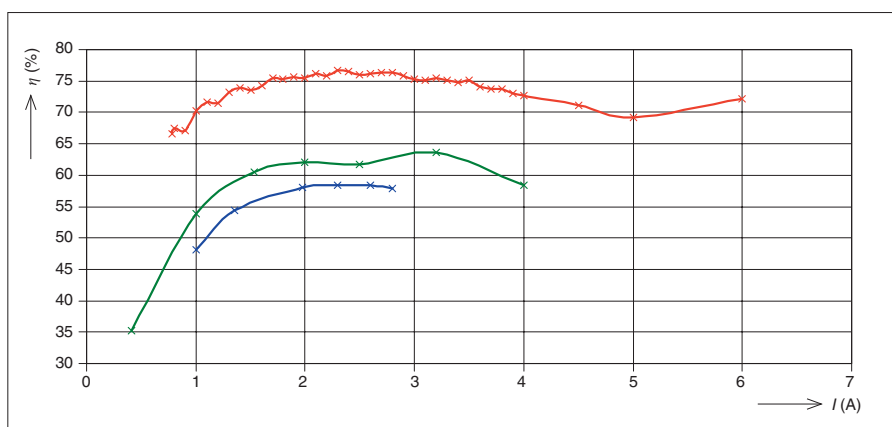
pro stabilizaci napětí, účinnost systému klesne na hodnotu 64 %. Další snížení účinnosti na hodnotu 57 % pro jmenovitou zátěž nastane při zařazení střídače. Výsledky zmíněné analýzy účinnosti hybridního systému jsou graficky prezentovány na obr. 19.

## 7. Závěr

V době, kdy je kladen stále větší důraz na energetickou nezávislost, dostává se do popředí využití tzv. hybridních ostrovních systémů, které kombinují spolupráci dvou na sobě vzájemně nezávislých příkladně obnovitelných zdrojů elektrické energie. S využitím hybridních systémů je možné napájet odlehle oblasti, pro které by bylo vybudování veřejné přípojky k distribuční soustavě nákladné, nebo lze napájet odběrná místa, kde je nutné zajistit nezávislost na distribuční soustavě. Při volbě jednotlivých komponent hybridního systému je nutné zvážit mnoho kritérií tak, aby celková účinnost byla co největší.

systému je tedy nutné nejprve vycházet z dimenzování kapacity akumulčního zařízení na daný odběr, pokračovat ve volbě vhodného zdroje elektrické energie s ohledem na klimatické podmínky dané lokality a zvážit výběr vhodných konverzních zařízení ve výkonovém řetězci hybridního systému.

Pro správný návrh a dimenzování jednotlivých komponent ostrovního napájecího systému využívajícího obnovitelné zdroje s nestabilní dodávkou elektrické energie je třeba získat databázi komplexních meteorologických údajů. Pro větrné a fotovoltaické elektrárny jde zejména o rychlosti větru a intenzitu slunečního záření, v ideálním případě roční vzorek údajů. Jestliže tyto informace nejsou k dispozici, je možné využít obecné meteorologické databáze obsahující průměrné hodnoty rychlostí větru a intenzit slunečního záření pro jednotlivé oblasti. Využitím těchto průměrných hodnot však při návrhu jednotlivých komponent vznikají poměrně značné chyby. Provoz sledovaného hybridního systému ale ukázal, že je mož-



Obr. 19. Analýza účinnosti hybridního systému, samostatný chod generátoru, chod generátoru + AC/DC + DC/DC + DC/AC, chod generátoru + AC/DC + DC/DC + DC/AC

V rámci příspěvku je představen hybridní systém, který byl vybudován na VŠB-TU Ostrava za podpory výzkumného záměru MSM 6198910007 a podpory projektu ČEZ Zelená energie. Hybridní systém využívá spolupráci dvou nejrozšířenějších obnovitelných zdrojů elektrické energie, a to spolupráci větrné a fotovoltaické elektrárny.

Z výsledků uvedených v příspěvku vyplývá náročnost výběru jednotlivých komponent systému, jelikož jde o složitý komplexní systém, kdy do výběru komponent je nutné zahrnout požadavky akumulčního zařízení, dále charakteristiku výstupního výkonu větrné a fotovoltaické elektrárny a rovněž investiční náklady. Při přípravě realizace hybridního

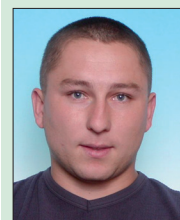
ne i při využití takto průměrovaných hodnot dimenzovat akumulátorové baterie.

Problematické je však správně posoudit, jak dlouhou dobu musí baterie být schopny napájet připojenou zátěž při výpadku zdrojů pro dobíjení akumulátorových baterií. Instalovat hybridní ostrovní systém je vhodné tam, kde není možné využít běžné připojení k distribuční síti nebo by takové připojení bylo nákladné a obtížné. Zvažovat je však třeba nejen technické možnosti jednotlivých komponent systému, ale také celkové investiční a provozní náklady ostrovního systému, kdy na jedné straně odpadá nákladné budování elektrické přípojky, ale na straně druhé jsou poměrně vysoké investiční náklady na pořízení ostrovního systému.



**Doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**, se narodil 15. září 1978 ve Slavičíně. V roce 2002 absolvoval VŠB-TUO, Fakultu elektrotechniky a informatiky, obor elektroenergetika, v roce 2002 ukončil také mezioborové zaměření, obor elektrické stroje a přístroje. Od roku 2005 působí jako vědecký pracovník na katedře elektrických strojů a přístrojů. V roce 2007 ukončil doktorské studium v oboru elektroenergetika na FEI VŠB-TUO. V roce 2009 úspěšně ukončil habilitační řízení v oboru elektroenergetika. Profesně se zaměřuje na přechodné děje v elektrizačních soustavách (řešení s využitím EMTP-ATP), diagnostiku na elektrických zařízeních.

čil také mezioborové zaměření, obor elektrické stroje a přístroje. Od roku 2005 působí jako vědecký pracovník na katedře elektrických strojů a přístrojů. V roce 2007 ukončil doktorské studium v oboru elektroenergetika na FEI VŠB-TUO. V roce 2009 úspěšně ukončil habilitační řízení v oboru elektroenergetika. Profesně se zaměřuje na přechodné děje v elektrizačních soustavách (řešení s využitím EMTP-ATP), diagnostiku na elektrických zařízeních.



**Ing. Lukáš Prokop, Ph.D.**, se narodil v roce 1978 v Karvině. Absolvoval Fakultu elektrotechniky a komunikačních technologií na VUT v Brně, obor silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika. V roce 2006 ukončil doktorské studium na VŠB-TUO. Od roku 2005 je zaměstnán na katedře elektroenergetiky na FEI VŠB-TUO jako vědeckovýzkumný pracovník. Profesně se zaměřuje na spolehlivost v elektroenergetice, kvalitu dodávek elektrické energie, zpětné vlivy OZE na elektrizační soustavu.

V roce 2006 ukončil doktorské studium na VŠB-TUO. Od roku 2005 je zaměstnán na katedře elektroenergetiky na FEI VŠB-TUO jako vědeckovýzkumný pracovník. Profesně se zaměřuje na spolehlivost v elektroenergetice, kvalitu dodávek elektrické energie, zpětné vlivy OZE na elektrizační soustavu.

Informace o tocích energie a konverzi výkonů, které monitorování celého systému přináší, jsou v podstatě využitelné pro další optimalizaci nejen zdrojů elektrické energie, ale i vlastních spotřebičů. K vysvětlení lze uvést příklad na jednom z typů použitého svítidla. Toto svítidlo je osazeno velmi svítivými LED, u kterých se projevuje příznivý poměr světelného výkonu k příkonu elektrické energie. Pro napájení svítidla je nutné jmenovité napětí  $U_N = 230$  V AC, a tak musí docházet ke dvěma konverzím energie, nejprve DC/AC = 12 V DC / 230 V AC a poté opačně AC/DC v patci svítidla. Každá z těchto konverzí energie je ztrátová, což monitorování potvrzuje, a je tedy výhodnější použít svítidlo se jmenovitým napětím  $U_N = 12$  V DC. V současné době probíhají jednání s výrobcem svítidla o možnosti výroby

prototypu a použití tohoto svítidla v jednotce hybridního systému.

Druhá cesta optimalizace se ubírá směrem použití různých typů větrných motorů, ať již s horizontální či vertikální osou otáčení. Volba motoru je směřována tak, aby vzhledem k lokálním větrným podmínkám a četnosti výskytu větrů byl použit motor co možná nejvhodnější konstrukce ve spojení s generátorem energie (synchronní generátor, stejnosměrné dynamo).

Kombinace větrné a fotovoltaické elektrárny pro napájení ostrovního systému se ukázala jako vhodná zejména z důvodu možnosti snížit instalovaný výkon jednotlivých zdrojů; oba tyto zdroje se vhodně doplňují v době, kdy jeden zdroj je méně využitelný.

V současné době pokračuje výzkum nových technologií hybridních systémů se zaměřením na vyšší výkonové a napětové hladiny pro napájení spotřeby rodinných domů či objektů větší bytové zástavby.

#### Literatura:

- [1] NASA *Surface meteorology and Solar Energy* (online), 2011 - (cit. 2011-02-16) Dostupné na: <<http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&step=1&submit=Submit>>.
- [2] DESHMUKHA, M. K. – DESHMUKH, S. S.: *Modeling of hybrid renewable energy systems*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2008, 12, s. 235–249.

Recenze: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.



**FOR**  
**ELECTRON**<sup>®</sup>

2. MEZINÁRODNÍ VELETRH ELEKTROTECHNIKY, ELEKTRONIKY  
A ENERGETIKY  
2<sup>nd</sup> INTERNATIONAL TRADE FAIR OF ELECTROTECHNICS, ELECTRONICS  
AND POWER ENGINEERING

Souběžné veletrhy / Simultaneously:  
**FOR ENERGO**  
**FOR AUTOMATION**

LETŇANY VÁS ZVOU!  
WELCOME TO THE EXHIBITION CENTRE PRAGUE LETNANY!

**PVA**  
EXPO PRAHA

[www.electroncz.cz](http://www.electroncz.cz)  
**13. – 16. 3. 2012**



**AMT měřicí technika**

**AUTORIZOVANÝ DISTRIBUTOR  
MĚŘICÍ TECHNIKY**

**KONZULTACE – PRODEJ – KALIBRACE – SERVIS**



**www.amt.cz**

**TCert ISO 9001**

AMT měřicí technika, spol. s r. o., Leštínská 2418/11, 193 00 Praha - Horní Počernice, fax: 281 924 344, tel.: 281 925 990, tel.: 602 366 209, e-mail: info@amt.cz