

Ostrovní napájecí systémy využívající OZE (1. část)

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

1. Úvod

Vzhledem k snížení výkupních cen elektrické energie z fotovoltaických elektráren (FVE) a také s ohledem na zatížení vysokou daní se v současné době investice do výstavby FVE již stala poměrně málo ziskovou. Stejně tak je tomu vlivem mnoha legislativních bariér s výstavbou větrných elektráren (VTE). Jistou alternativou využití těchto obnovitelných zdrojů představuje jejich využití pro provoz v ostrovním režimu, tedy bez nutnosti připojení k distribuční síti.



Obr. 1. Hybridní systém s horizontální větrnou elektrárnou

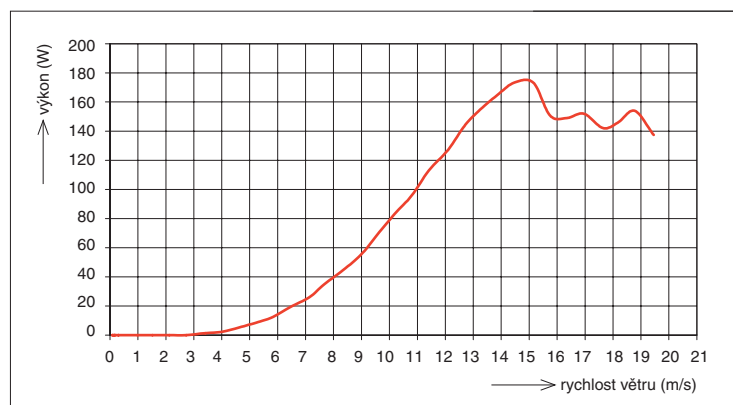
Podle velikosti instalovaného výkonu jednotlivých fotovoltaických a větrných elektráren lze ostrovní systémy využít k napájení malých zařízení o výkonu v řádech stovek wattů až po zařízení použité k napájení celých vesnic, kde připojená zátěž má výkon v řádech až megawattů. Vše závisí na instalovaném výkonu jednotlivých zdrojů, typu a velikosti akumulčního zařízení a na zařízeních, která mají být ostrovním systémem napájena.

Jelikož jsou jako zdroje pro ostrovní systémy využity pouze obnovitelné zdroje elektrické energie, jejichž provoz je závislý na meteorologických podmínkách v lokalitě, kde jsou instalovány, je nutné je optimálně dimenzovat. S využitím metod optimalizace instalovaného výkonu je možné ušetřit investiční náklady a současně plně využívat potenciál fotovoltaické a větrné elektrárny v kombinaci s akumulací vyrobené elektrické energie v bateriích i potenciál meteorologických podmínek v dané lokalitě. V literatuře je popsáno mnoho přístupů k optimalizaci

velikosti instalovaného výkonu a akumulátorových baterií, jako jsou např. metody založené na dynamickém programování, metody grafické konstrukce, pravděpodobnostní metody, metody využívající umělou inteligenci, lineární programování nebo iterační metody.

2. Popis hybridních systémů

Jako ostrovní napájecí systém je označován systém, který není propojen s distribuční soustavou a pracuje na této soustavě nezávisle. Ostrovní napájecí systémy se používají



Obr. 2. Výkonová křivka horizontální větrné elektrárny Air Breeze Land

I při použití kterékoliv metody optimalizace instalovaného výkonu zdrojů a akumulčního zařízení jde o hledání kompromisu mezi náklady na instalaci a provoz na straně jedné a spolehlivostí systému na straně druhé. Přitom očekávaná spolehlivost systému je naprostou prioritou pro provozovatele ostrovního systému i v případě omezeného rozpočtu.

V areálu VŠB-TU Ostrava byl vybudován pilotní hybridní ostrovní napájecí systém, který je používán k napájení svítidel veřejného osvětlení. Jde o dva fotovoltaické panely odlišných typů a dvě malé větrné elektrárny s horizontální a vertikální osou otáčení, jimiž vyrobená elektrická energie je akumulována do baterií, napájejících během nočních hodin dvě svítidla veřejného osvětlení.

k zásobování elektrickou energií v případech, kdy využití běžné distribuční sítě není vhodné. Takových příčin lze nalézt mnoho, jako příklad uveďme jen ty hlavní:

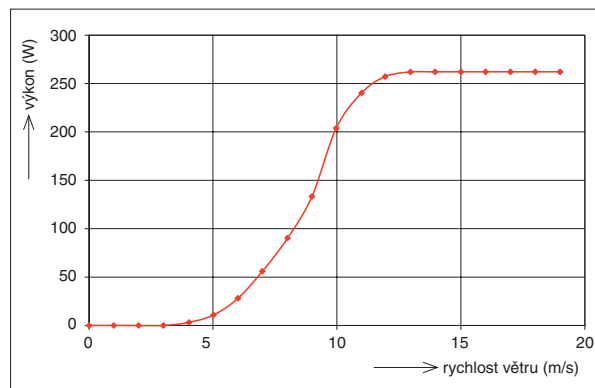
- připojení k distribuční síti není možné z důvodu vysoké ceny za zřízení elektrické připojky (geografická poloha),
- rozhodnutí spotřebitele o využívání obnovitelných zdrojů elektrické energie,
- malé provozní náklady,
- malý vliv na životní prostředí,
- nezávislost na distribuční soustavě.

V současné době lze zaznamenat poměrně velký nárůst zájmu o využití ostrovních systémů, což úzce souvisí s rozmachem instalací obnovitelných zdrojů elektrické energie, které se jeví jako vhodné zdroje právě

pro ostrovní napájecí systémy. Mezi zdroje, které jsou vhodné k využití pro napájení ostrovních systémů, jsou řazeny:

- větrné elektrárny,
- fotovoltaické systémy,
- dieselgenerátory,
- malé vodní elektrárny,
- bioplynové agregáty,
- palivové články.

Volba typu napájecího zdroje je závislá na geografických a meteorologických podmínkách lokality, kde má být ostrovní systém



Obr. 3. Výkonová křivka vertikální větrné elektrárny

provozován. Jsou-li jako zdroj pro ostrovní systém využity dva a více ze jmenovaných typů zdrojů, je takovýto systém označován za hybridní. Nejobvyklejší hybridní systém



Obr. 4. Hybridní systém s vertikální větrnou elektrárnou

je tvořen větrnou elektrárnou a fotovoltaickým panelem. Kombinace větrné elektrárny a fotovoltaického panelu je vhodná zejména proto, že tyto dva zdroje se vzájemně doplňují. V zimním období převažuje dodávka elektrické energie z větrné elektrárny, naopak v letním období je dodávka elektrické energie z větší části hrazena z fotovoltaického panelu. Při použití pouze fotovoltaických panelů jako zdrojů elektrické energie by bylo nutné celý systém dimenzovat tak, aby pokryl spotřebu elektrické energie i v zimním období, kdy lze předpokládat nejmenší zisky ze slunečního záření. Celý hybridní systém tak nemusí být značně předdimenzován.

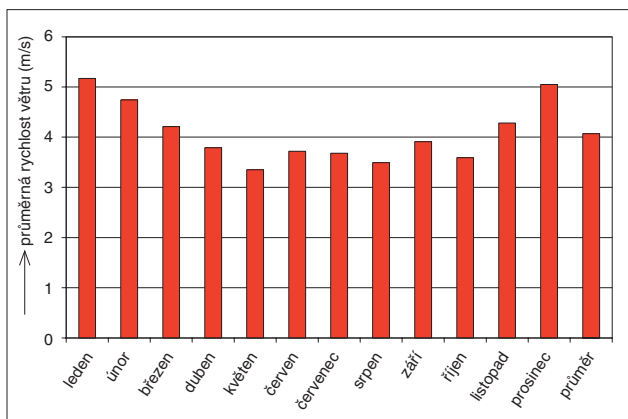
3. Popis pilotních systémů

První hybridní ostrovní systém (obr. 1), rea-

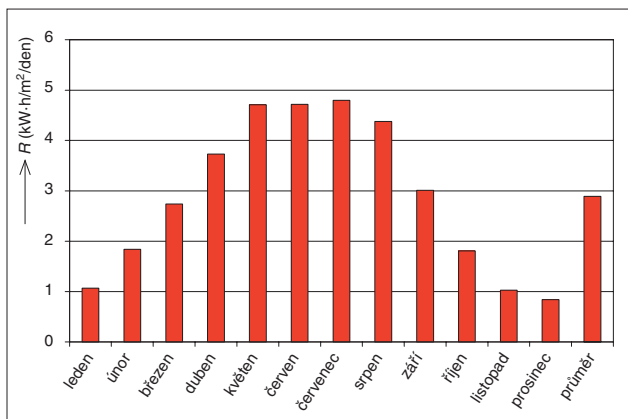
lizovaný v areálu VŠB-TUO, využívá jako zdroj elektrické energie klasickou malou větrnou elektrárnu s horizontální osou otáčení a fotovoltaický panel. Druhý hybridní systém (obr. 4) je koncipován obdobně, na rozdíl od prvního hybridního systému je kromě fotovoltaického panelu použita malá větrná elektrárna s vertikální osou otáčení. Popis jednotlivých komponent obou hybridních systémů je uveden v dalším textu.

Mezi oběma hybridními systémy je vybudován společný rozváděč, ve kterém jsou umístěny akumulátorové baterie SAFT typu *unica plus* o celkové kapacitě 340 A·h, které se používají k akumulaci elektrické energie z obou hybridních ostrovních systémů. V rozváděči jsou dále umístěny regulátory pro regulaci dobíjení akumulátorových baterií a střídače, z nichž jsou následně napájeny světelné zdroje. Dále jsou v rozváděči umístěny veškeré jističové prvky a další potřebná elektrická vyzbroj.

Stejně tak jsou v rozváděči instalována zařízení k měření meteorologických podmínek v lokalitě hybridních ostrovních systémů. Jde o měření rychlosti a směru větru a měření intenzity slunečního záření.



Obr. 5. Průměrná měsíční rychlost větru v dané lokalitě [1]



Obr. 6. Průměrné měsíční hodnoty slunečního záření v dané lokalitě [1]

Tab. 1. Parametry horizontální větrné elektrárny

Parametr	Hodnota
jmenovitý výkon	200 W
průměr rotoru	1,17 m
startovací rychlost větru	2,68 m/s
napětí	12 V DC
materiál skříně	litý hliník
materiál lopatek	kompozit vstříkovaný do formy
maximální rychlost větru	49,2 m/s
řízení VTE	mikroprocesorový inteligentní regulátor
nadrychlostní ochrana	elektronická kontrola ochrana

Tab. 2. Parametry fotovoltaického panelu Kyocera

Parametr	Hodnota (1 000 W/m ²)
P_{max}	130 W
max. napětí systému	1000 V
V_{pmax}	17,6 V
I_{pmax}	7,39 A
V_{oc}	21,9 V
I_{sc}	8,02 A
technologie modulu	multikrystalický

Tab. 3. Parametry vertikální větrné elektrárny

Parametr	Hodnota
jmenovitý výkon	200 W
průměr rotoru	0,8 m
startovací rychlost větru	4 m/s
napětí	12 V DC
délka lopatek	1,5 m
materiál lopatek	lisovaný hliník
bezpečná rychlost větru	40 m/s

Takto zjištěné údaje budou využívány k vyhodnocení energetické bilance celého hybridního ostrovního systému a ke stanovení podílu jednotlivých zdrojů na nabíjení akumulátorových baterií.

Hybridní systém s větrnou elektrárnou s horizontální osou otáčení (Hybrid I)

Hybridní systém (obr. 1) je napájen z malé větrné elektrárny Air Breeze Land o jmenovitém výkonu synchronního generátoru s permanentními magnety 200 W. Jako druhý zdroj je instalován fotovoltaický panel Kyocera, typ KC 130GH – 2P. Základní technické parametry větrné elektrárny jsou uvedeny v tab. 1. Výkonová křivka větrné elektrárny Air Breeze Land je zobrazena na obr. 2, základní parametry fotovoltaického panelu jsou uvedeny v tab. 2.

Hybridní systém s větrnou elektrárnou s vertikální osou otáčení (Hybrid II)

Hybridní systém na obr. 4 je osazen vertikální větrnou elektrárnou SAWT, model P200 se synchronním generátorem s permanentními magnety a fotovoltaickým panelem o vý-

konu 110 Wp. Technické parametry větrné elektrárny jsou uvedeny v tab. 3. V tab. 4 jsou uvedeny základní technické parametry fotovoltaického panelu.

4. Dimenzování baterií

Pro optimální návrh zdrojů a jejich instalovaného a skutečného výkonu, který jsou vzhledem k meteorologickým podmínkám v dané lokalitě schopny dodávat, je třeba analyzovat informace o rychlostech a směrech větru pro dimenzování větrné elektrárny a intenzitu slunečního záření pro fotovoltaickou elektrárnu. Průměrné měsíční rychlosti větru v lokalitě, kde je instalován hybridní ostrovní

Tab. 4. Parametry fotovoltaického panelu 110 Wp

Parametr	Hodnota (1000W/m ²)
P_{max}	110 Wp
max. napětí systému	1 000 V
V_{pmax}	17,6 V
I_{pmax}	7,39 A
V_{oc}	21,9 V
I_{sc}	8,02 A
technologie modulu	multikrystalický

systém, jsou uvedeny na obr. 5. Stejně tak je třeba znát velikost slunečního záření v dané lokalitě pro návrh instalovaného výkonu fotovoltaických panelů. Průměrné měsíční hodnoty slunečního záření jsou uvedeny na obr. 6. Údaje na obr. 5 a obr. 6 jsou průměrné hodnoty za 22 let [1], informace o chybách a metodologii získávání údajů je možné nalézt v [1].

Na základě průměrných měsíčních rychlostí větru je možné podle výkonových křivek na obr. 2 a obr. 3 přepočítat rychlosti větru na průměrné měsíční hodnoty dodávaného výkonu, viz obr. 7.

Na obr. 8 jsou zobrazeny průměrné měsíční hodnoty slunečního záření. Pro přepočet na skutečný výkon, který je fotovoltaický systém schopen dodávat, je třeba znát tzv. výkonnostní poměr, tzn. účinnost celého systému přeměny slunečního záření na elektrickou energii vztáženou na výkon systému. Výkonnostní poměr je dán vztahem (1).

$$PR = \frac{E_{AC} \cdot G^*}{E_t \cdot P^*}$$

kde

PR je výkonnostní poměr,

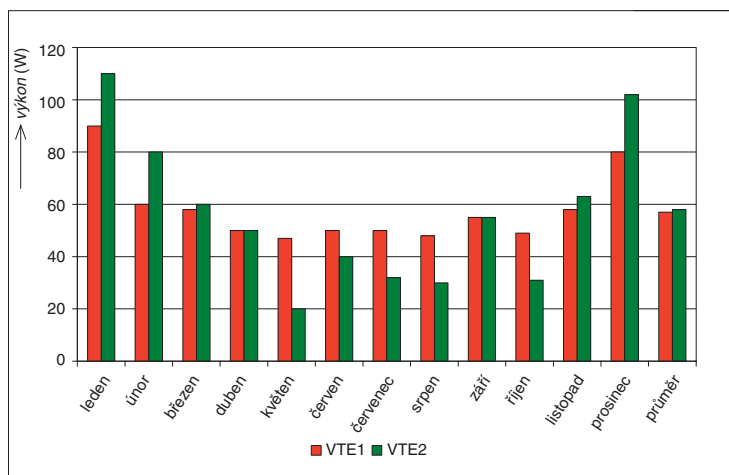
P^* výkon systému za standardních testovacích podmínek (kW),

G^* referenční záření odpovídající 1 kW·m⁻² (kW·m⁻²),

E_{AC} množství vyrobené elektrické energie (kW·h),

E_t množství sluneční energie dopadající na fotovoltaický panel (kW·h·m⁻²).

Pro fotovoltaické panely na bázi krystalického křemíku je běžně uvažována hodnota PR mezi 85 až 95 %. Po přepočtení hod-



Obr. 7. Průměrné měsíční hodnoty dodávaného výkonu z VTE1 a VTE2

not uvedených na obr. 5 pomocí PR se získá předpokládaný zisk elektrické energie z fotovoltaických panelů. Pro přepočet je brána střední hodnota PR , tj. 90 %.

Po přepočtení hodnot uvedených na obr. 7 na energii a přičtení k hodnotám z na obr. 8, lze získat jistý přehled o potenciální vyrobené energii v dané lokalitě při použití instalovaných zdrojů.

Vyjádří-li se podíl jednotlivých zdrojů na celkovém výkonu hybridního ostrovního systému, lze tím získat představu o tom, kte-

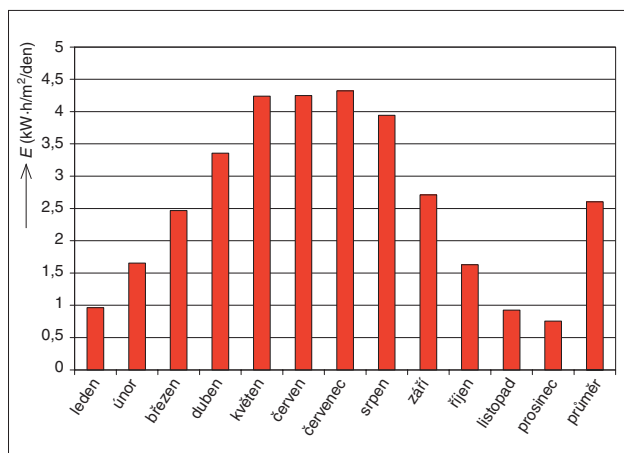
rý typ zdroje v kterém období dominuje, či naopak stagnuje.

Výsledkem podrobnější analýzy údajů za květen, měsíc s největším krytím výroby elektrické energie z fotovoltaických panelů, je zjištění, že více než 80 % elektrické energie je vyrobeno ve fotovoltaických panelech. Necelých 20 % je vyrobeno větrnými elektrárnami, viz obr. 11.

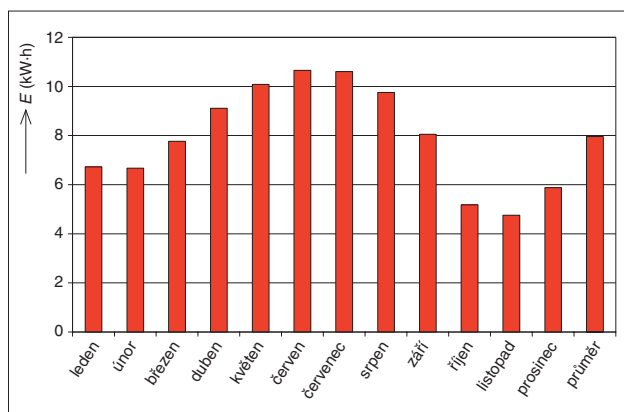
Stejně jako pro měsíc s největším příspěvkem fotovoltaických panelů k celkové vyrobené elektrické energii lze zobrazit i prosinec, kdy je situace opačná a

dodávka větrných elektráren je maximální. Větrné elektrárny v tomto měsíci dodávají 27 a 32 % celkové vyrobené elektrické energie. Fotovoltaické panely poskytují jen 41 % vyrobené elektrické energie.

Problémem využití průměrných měsíčních hodnot je, že nekorespondují s reálným průběhem rychlostí větrů v průběhu jednotlivých dní, a stejně tak s průběhem intenzity slunečního záření během dne. Může totiž nastat situace, kdy po sobě následuje několik dní s nevhodnými meteorologickými podmínkami, a proto ostrovní systém vyčerpá zásoby elektrické energie akumulované v bateriích a současně vzhledem k provozním podmínkám tyto baterie nejsou dostatečně dobíjeny. Následuje výpadek systému a systém ztratí možnost napájet připojenou zátěž do doby, kdy se meteorologické podmínky zlepšší natolik, že zdroje opět



Obr. 8. Průměrné měsíční hodnoty získané elektrické energie z fotovoltaického panelu vztážené na 1 m² a den



Obr. 9. Průměrné hodnoty získané elektrické energie z hybridního systému

Tab. 5. Ekvivalentní počet dní s nepříznivými meteorologickými podmínkami [1]

Měsíc	Období					
	1 den	3 dny	7 dní	14 dní	21 dní	měsíc
leden	0,85	2,37	5,02	6,36	6,37	6,37
únor	0,79	2,22	4,78	5,07	5,76	5,78
březen	0,83	2,00	3,97	5,56	7,20	7,12
duben	0,76	2,10	3,42	5,04	6,72	4,42
květen	0,83	2,17	3,50	4,97	6,03	6,31
červen	0,84	2,12	3,50	5,20	5,33	6,22
červenec	0,85	2,33	4,47	5,63	6,23	5,81
srpen	0,84	2,26	3,90	4,73	5,93	4,16
září	0,91	2,07	4,34	8,30	10,2	12,2
říjen	0,86	2,31	4,22	6,64	9,02	9,93
listopad	0,92	2,01	3,56	6,40	7,03	6,11
prosinec	0,94	1,82	3,28	5,27	5,63	5,90

začnou dobíjet akumulátorové baterie. Z tohoto důvodu je třeba správně dimenzovat baterie na základě statistických meteorologických údajů, které pro danou lokalitu udávají pravděpodobný počet dnů s nepříznivými meteorologickými podmínkami pro správný chod instalovaných zdrojů v dané lokalitě.

Údaje uvedené v tab. 5 představují počet po sobě jdoucích dní v jednotlivých měsících, během kterých musí být akumulční zařízení schopné pokrýt spotřebu elektrické energie připojené zátěže během období uvedeného v prvním řádku tabulky. Například pro březen pro období 21 dní musí být baterie schopny dodávat elektrickou energii po dobu 7,2 po sobě následujících dní. Pro období 7,2 po sobě následujících dní je pravděpodobné, že meteorologické podmínky neumožní chod instalovaných zdrojů tak, aby byly schopny dobíjet akumulční baterie a ty následně napájet připojenou zátěž. Pro dimenzování baterií na trvalý provoz ostrovního systému je třeba brát v úvahu hodnoty pro měsíc provozu, tzn. nejhorsí situace v provozu zdrojů nastává během roku v září, kdy je třeba akumulční systém dimenzovat na 12,2 dne výpadku zdrojů. Podle skutečného měření uskutečněného v dané lokalitě v průběhu jednoho roku nenastala situace, kdy po sobě následovaly více než tři dny s nepříznivými meteorologickými podmínkami. Požadavek na provoz po dobu 12,2 dne byl proto snížen na provoz po dobu tří dnů i za cenu, že může při provozu ostrovního systému nastat situace, kdy vlivem nepříznivých meteorologických podmínek dojde k výpadku systému. Počet dní byl snížen i z důvodu úspory prostoru pro uložení baterií. Vztah pro dimenzování kapacity baterií je

$$C_B = \frac{(E_Z \cdot n)}{(V_B \cdot DOD_{MAX} \cdot T_{CF} \cdot \eta_B)}$$

kde

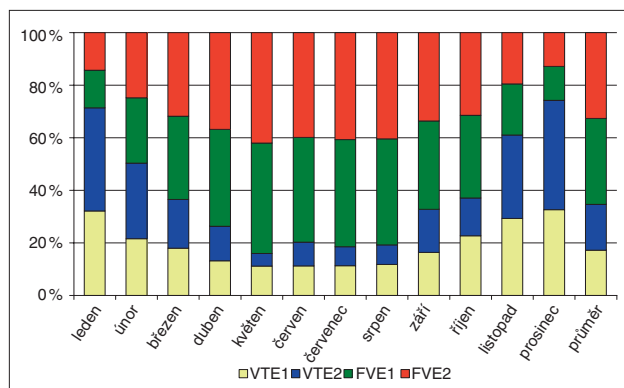
C_B je kapacita baterií (A·h),
 E_Z energie spotřebovaná zátěží,
 n počet dní bez dobíjení,
 V_B napětí baterie (V),
 DOD_{MAX} hloubka vybití baterie,
 T_{CF} teplotní korekční faktor,
 η_B účinnost baterií.

Pro dosažení pro konkrétní zátěž, napětí a typ baterií se dostane vztah (3).

$$C_B = \frac{(800 \cdot 3)}{(12 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,7)} = 352 \text{ A} \cdot \text{h}$$

Na základě tohoto výpočtu byly zvoleny Ni-Cd baterie *sunica plus* o kapacitě 340 A·h.

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

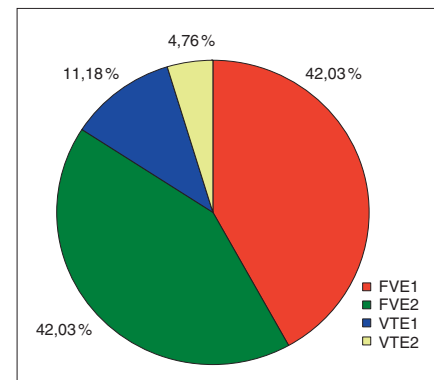


Obr. 10. Podíl jednotlivých zdrojů na celkové výrobě hybridního systému

vzorek těchto údajů. Jestliže tyto informace nejsou k dispozici, je možné využít obecné meteorologické databáze obsahující průměrné hodnoty rychlosti větru a intenzit slunečního záření pro jednotlivé oblasti. Využitím těchto průměrných hodnot se však při navrhování jednotlivých komponent vzniká poměrně značná chyba. Jak ale ukázal provoz sledovaného hybridního systému, je možné i při využití takto průměrovaných údajů dimenzovat akumulátorové baterie.

Problematické je však správně posoudit, jak dlouhé období musí baterie být schopny napájet připojenou zátěž při výpadku zdrojů pro dobíjení akumulátorových baterií. V tomto případě byly sníženy požadavky na délku provozu bez zdrojů z 12,2 dne na tři dny. Důvodem je na jedné straně vykonané měření rychlosti větru a intenzity slunečního záření,

jehož výsledky neprokázaly v průběhu sledovaného období výskyt takto extrémně dlouhého období s nepříznivými meteorologickými podmínkami. Na druhé straně je u takových ostrovních systémů problém s prostorem na uložení akumulátorových baterií v případě, že by počet dní nebyl snížen z 12,2 na tři při hodnotě potřebné kapacity baterií 1 434 A·h. Rozměry akumulátorových baterií s kapacitou 1 434 A·h jsou však takové, že by si umístění baterií vyžádalo výstavbu samostatného rozváděče pro akumulátorové baterie. Stejně



Obr. 11. Podíl jednotlivých zdrojů na celkové výrobě hybridního systému pro květen – maximum výroby elektřiny z fotovoltaických panelů

tak by takto velká kapacita baterií měla negativní vliv na návratnost investic. Provoz zařízení prokázal, že snížení kapacity baterií na základě menšího počtu dní provozu bez zdrojů elektrické energie je přijatelný kompromis při dimenzování baterií.

5. Provozní stavy hybridního systému

Provoz hybridního ostrovního napájecího systému byl sledován pomocí monitorovacího systému, který je tvořen mikroprocesorovým zařízením *cRIO* společnosti National Instruments. Zvolené zařízení umožňuje poměrně rychlou modifikaci v případě změny konfigurace hybridního systému. Celkově je monitorováno deset proudových a sedm napěťových signálů o různých velikostech a navíc jde o kombinaci DC a AC signálů.

Z měřených signálů napětí a proudů jsou vyhodnocovány provozní stavy hybridního ostrovního napájecího systému. Pro správný chod systému je důležitý dostatek elektrické energie akumulovaný v bateriích, jelikož instalované zdroje elektrické energie nejprve nabíjejí akumulátorové baterie a z nich jsou následně napájeny spotřebiče. Informace o dostatku či nedostatku akumulované elektrické energie ukazuje graf na obr. 13.

(dokončení příště)