

Aspekty provozu bioplynových kogeneračních jednotek v energetických sítích

Petr Jindra

Katedra elektrotechniky a ekologie, Fakulta elektrotechnická, ZČU v Plzni,
Univerzitní 26, Plzeň
E-mail : pjindra@ket.zcu.cz

Anotace:

Článek se zabývá možnostmi práce kogeneračních bioplynových jednotek v energetické síti. Analyzuje možnost využití jednotky v režimu smart-grids a její kooperaci s jinými zdroji energie. Nejprve je zhodnocena spolehlivost jednotky na základě údajů z dvouletého provozu a poté navrženo možné spojení s fotovoltaickou elektrárnou, včetně způsobu řízení.

This article deals with possibilities of cogeneration biogas units operation for energy grids. It analyses the possibility of using the unit in smart-grids mode and its cooperation with the other sources of the energy. At first unit reliability is evaluated on the basis of data from two years operation. Then possible connection with photovoltaic power station is put forward including the way of control.

ÚVOD

Biomasa je zdrojem, který ještě poskytuje značné rezervy a umožňuje velmi rychle a poměrně levně budovat nové jednotky. Bioplynové elektrárny zažívají v současnosti velký rozvoj. Proto se článek soustředí na problematiku výroby elektrické energie v bioplynových elektrárnách, zejména v jednotkách na skládkový plyn. Pokud bychom dokázali zvýšit jejich účinnost a zajistili bychom spolehlivost, jsou tyto jednotky schopny velmi rychle najíždět do provozu, měnit plynule výkon a být připraveny v záloze při minimálních nákladech. Stávají se tak ideální zdrojem pro chytré sítě budoucnosti, ale i vhodným regulačním mechanismem ve spolupráci s fotovoltaickými elektrárnami. Analýza je provedena na datech ze skládkové jednotky Plzeň-Chotíkov. Výsledky jsou ověřeny také na skládce Vysoká u Dobřan a na bioplynové jednotce slepičárny Vejprnice.

PROBLÉMY PŘI PŘIPOJOVÁNÍ BIOPLYNOVÝCH JEDNOTEK

Problémem bioplynových stanic, zejména těch z živočišné výroby, je jejich umístění. Většinou se nachází na koncích vesnic, kde je pouze síť nízkého napětí. Pokud připojíme bioplynovou stanici do sítě nízkého napětí, existuje zde nebezpečí zpětného působení na síť. Několik takových případů zaznamenali například v Německu [3]. Stávalo se to zejména při kolísání napětí způsobeného zvýšením otáček asynchronního generátoru při dodávkách vyšších výkonů.

Vzhledem k malým výkonům běžných bioplynových celků, do kterých bezesporu patří všechny tři sledované objekty, nejsou s narušováním provozu sítě vážné problémy. Z tohoto hlediska připadá ve skutečnosti v úvahu jediný nežádoucí stav a tím je náhlý výpadek jednotky z provozu. Dojde-li k tomuto, z hlediska závažnosti meznímu stavu, nemá pro síť žádné vážné důsledky. Proto se na žádném z jmenovaných objektů nesetkáme se snahou o eliminaci výpadku ze strany provozovatele distribuční sítě.

Ze strany provozovatele jednotky však výpadky také nepředstavují ekonomický problém. Metanogeneze (vznik plynu) probíhá i po výpadku nerušeně dál a kapacita plynového, popřípadě skládkového kazety je dostatečně naddimenzována. Po odstranění příčiny výpadku a znovu najetí jednotky nedochází k ekonomickým ztrátám za bioplyn, který vznikl po čas odstavení. Moderní řídicí jednotky motorů totiž dokáží na základě složení plynu (zvýšený obsah metanu) nakonfigurovat motor tak, aby metan lépe využil. Krátkodobě tak může například Chotíkovská jednotka po výpadku pracovat na 130 % jmenovitého výkonu. Pro provozovatele tak nevznikla ztráta za tržby za elektrickou energii. Výpadek má pouze technická úskalí, vyplývající z nutnosti jednotku znovu uvést do provozu. A to jednak odstranit závadu (je-li závada vnitřní) a za druhé nastartovat jednotku. Například jednotka v Chotíkově není vybavena vzdáleným řízením a tak vyžaduje i v případě výpadku zapříčiněného stranou sítě přímou přítomnost vyškolené obsluhy.

Díky těmto výpadkům jsou však jednotky nespolehlivé a nemohou se účastnit regulace výkonu v síti.

OPTIMALIZACE PROVOZU JEDNOTKY STKO CHOTÍKOV

Dne 7. 11. 2007 zprovoznila Plzeňská teplárenská u jednoho z rekultivovaných bloků skládky Chotíkov kogenerační jednotku o výkonu 120 kW.

Popis jednotky

Skládkový plyn je jímán ze skládkové kazety K1. Její objem je zhruba 570 tisíc kubických metrů. Kogenerační jednotka si z ní bere 55 až 60 m³ bioplynu za hodinu, toto množství by mohla kazeta vydávat sedm až devět let. Po vyčerpání plynů z K1 se mobilní zařízení přemístí ke kazetě K2. Ta se měla uzavřít a začít rekultivovat v roce 2009 v současnosti se pracuje na jejím definitivním uzavření a dochází k plnění kazety K3.

Elektrické parametry

Jednotka se sestává ze synchronního generátoru Stamford a stálé vlastní spotřeby tvořené téměř výhradně motorem čerpací stanice MAEN 150 SP.

Tab. 1: Elektrické parametry jednotky

	Generátor	Čerpací motor
Výkon [kW]	120	2
Účinnost cosφ [-]	0,95 (induk.)	0,88 (induk.)
Otáčky [min ⁻¹]	1500	2865

Optimalizace spolupráce se sítí

Jak již bylo výše popsáno, z hlediska distribuční sítě mohou jednotky takto malého výkonu závažně negativně účinkovat pouze prudkou změnou výkonu, resp. výpadkem z provozu. V souladu s informacemi z jiných (starších) jednotek lze očekávat, že nejčastější příčina výpadku bude nedodržení kvality vstupního plynu. Samozřejmě se jedná obvykle o nedostatečný obsah metanu.

Analýza skutečného stavu

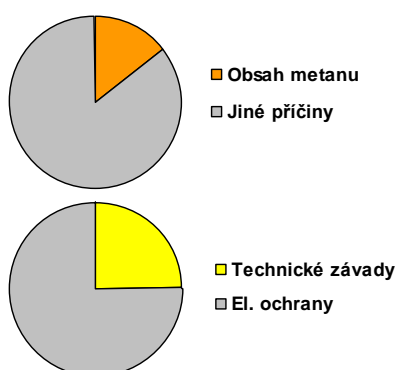
Řídicí jednotka skládky Chotíkov je vybavena systémem zaznamenávání výpadků. Po dobu téměř dvou let byly výpadky ukládány do paměti jednotky. Po jejich převedení do přehledných tabulek a analýze jednotlivých příčin bylo možno provoz zhodnotit dlouhodobě. Znamenalo to dekodovat skutečnou příčinu poruchy, řídicí jednotka zaznamená adresu (slot, drátek) jejíž signál byl pokynem k zastavení provozu, bylo však nutné jednotlivým slotům přiřadit čidla a posléze i pravděpodobné konkrétní příčiny. Všechna měření, záznam a diagnostika příčin výpadků za první dva roky provozu ukázaly, že nízká kvalita paliva ve skutečnosti působí jen velmi malé množství neplánovaných odstávek. To lze vysvětlit především vyspělou technologií použitou pro řídicí jednotku. Protože součástí řídicího členu je i kontinuální měření složení plynu, může systém včas zareagovat na klesající koncentraci metanu. Pokud se

koncentrace dostává pod 30 %, je výkon motoru plynule snížen, tím se zmenší odběr z tělesa skládky s následkem opětovného nárůstu metanogeneze. Po několika hodinách je koncentrace metanu v plynu dostatečná a řídicí člen začne zvyšovat výkon motoru. Následující tabulka je seznam výpadků, z let 2008 a 2009.

Tab. 2: Příčiny poruchy 2008 a 2009

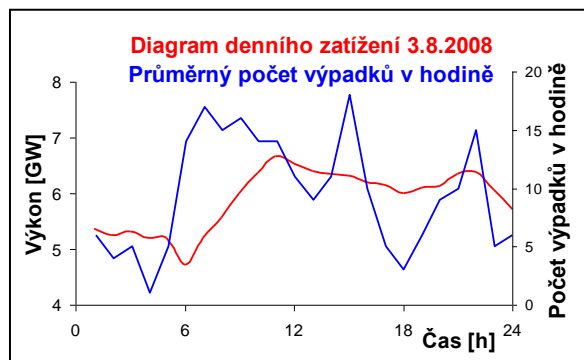
Příčina poruchy	Počet poruch		
	2008	2009	SUMA
Zpětná wattová	54	11	65
Podpětí	1	0	1
Podfrekvence (SW signál)	1	0	1
Přetížení generátoru z JMO	15	0	15
Generátorový vypínač	3	0	3
Vnitřní ochrana gen. Vypínače	3	0	3
Sumární porucha sítě z JMS	45	39	84
Teplota spalin za turbodmychadlem	14	9	23
Nouzové vypnutí rozvaděče DT1	1	1	2
Obsah metanu ve skládkovém plynu	15	6	21
Únik plynu v prostoru ČS	0	1	1
Problémy s chladicí vodou	0	1	1
Problémy s čerpáním plynu	0	1	1
Zkrat generátoru	2	0	2
Zkrat generátoru z JMO	0	3	3
Činný elektrický výkon generátoru	3	0	3
SUMA	157	72	229

Jak je také dobře vidět z prvního grafu (Obr. 1:) je podíl výpadků způsobených obsahem metanu v palivu velmi malý. Po celou dobu měření se podíl těchto problémů drží kolem 11 %, nevyskytují se tedy období, kdy by byl s koncentrací dlouhodobý problém. Skutečný podíl na výpadech je však ještě mnohem menší (zhruba 2–3×), protože dochází k znásobení těchto poruch. Analýza výpadků totiž ukázala, že v naprosté většině případů následuje po prvním výpadku z této příčiny výpadek další. A ten je zaznamenán jako samostatná porucha. Dojde-li k obnově provozu po relativně krátké době, už po několika málo minutách (hodina), nedojde k vytvoření dostatečných zásob metanu v tělese skládky a výpadek se opakuje. To je také důvod, proč po výpadku ke kterému došlo kvůli obsahu metanu v noci, obvykle nenásleduje výpadek další – k znovuspuštění došlo až ráno, při příchodu směny a skládka měla dost času k regeneraci.



Obr. 1: Poměr obsahu metanu a jiných příčin na výpadku

Rozbor zaznamenaných hodnot naprosto jasně dokazuje, že hlavními příčinami nejsou ani žádné další provozně-technické problémy. Ze všech těchto problémů je právě nízký obsah metanu v palivu nejčastějším nedostatkem. Ve skutečnosti mají na výpadcích jednotky největší podíl „elektrické“ ochrany. Nejčastější je výpadek způsoben rušivým vlivem ze strany sítě, nikoliv ze strany skládky. Velká část „elektrických“ výpadků odpovídá časově atmosférickým poruchám a podle výpovědi obsluhy skutečně za bouřky dochází k častějším výpadkům. Pokud celý den rozdělíme po hodinových úsecích a budeme zkoumat, ve které části dne dochází k poruše častěji, je to zejména v ranních hodinách, v intervalu mezi 6:00 a 10:00. Na tuto část dne připadá více než 20 % všech nehod s následkem výpadku. Další časový interval s větším počtem výpadků je mezi 19:00 a 22:00, tedy opět časová oblast odběrové špičky. V těchto časech zřejmě dochází v síti k větším odchylkám vlivem zvýšeného odběru, na které reagují vstupní ochrany jednotky, a proto dochází k významnému počtu výpadků právě v této době. Pro srovnání je přiložen i denní diagram zatížení ze dne 3. 8. 2008 (Obr. 2:).

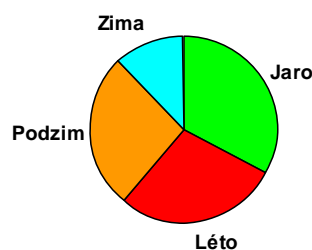


Obr. 2: Počet výpadků v jednotlivých časových intervalech dne a denní diagram zatížení [2]

Překvapivý výsledek vyplývá i z rozboru počtu výpadků vzhledem k ročnímu období (Obr. 3:). Metanogeneze probíhá lépe při vyšších teplotách. Proto se obvykle uvádí, že skládka produkuje plyn lépe v létě a naopak v zimních měsících je produkce

kvalitního bioplynu nízká. Záznamy o poruchách z obou sledovaných skládkových jednotek tento předpoklad zcela vyvracejí. V zimních měsících dochází k velmi malému počtu výpadků. Ze všech jednadeceti výpadků způsobených ve sledovaném období na Chotíkově nekvalitním plynem jich sedmáct bylo v létě, dva na podzim a dva na jaře. V zimě nejsou žádné problémy s produkcí metanu. Navíc se jednotky snáze chladí a zbavují nadbytečného tepla, což dále zvyšuje jejich stabilitu.

Průměrný počet výpadků v ročních obdobích



Obr. 3: Průměrný počet výpadků v ročních obdobích

K velmi podobným výsledkům lze dospět i u obdobné jednotky na skládce ve Vysoké u Dobřan. Jak podíl ochrany na výpadcích tak časové rozložení během dne jsou velmi podobné.

Změna nastavení ochrany

V minulosti byly malé zdroje vybavovány pouze jednostupňovou ochranou. V případě Chotíkova je použita zcela jednotná jednostupňová ochrana JMS – Univerzální síťová ochrana NPU FUV 230/24. Pokud by došlo k výměně ochrany a přechodu k modernějšímu, dvoustupňovému nastavení, mohl by počet výpadků značně poklesnout, neboť velká část výpadků je při takto „přísném“ nastavení zbytečná. Jedná se například o reakce na OZ a výše zmíněné atmosférické poruchy. Touto drobnou změnou se stane jednotka dostatečně stabilní a spolehlivá a bude možno uvažovat o jejím využití jako o zdroji plynového výkonu.

SPOLUPRÁCE S JINÝMI ZDROJI ELEKTRICKÉ ENERGIE

Po změně ochrany bude jednotky možné považovat za velmi spolehlivý zdroj energie. Výhoda je o to zajímavější, že celý systém najíždí do plného výkonu (i za „studeného“ startu) velmi rychle, cca do 1 minuty.

Provedení jednotek ovšem neumožňuje jen rychlý start, ale také rychlou změnu (regulaci) výkonu. Malé rozměry zde zaručují malou mechanickou i tepelnou setrvačnost. Sama řídicí jednotka mění, resp. snižuje výkon motoru, pokud klesá dodávka množství plynu, nebo klesá obsah metanu. Podle dosavadních zkušeností obsluhy to však není příliš často zapotřebí

a jednotka dodává téměř nepřetržitě 100 % výkon. Protože provozovateli jednotky pokles výkonu nevádí (neklesá výrazně ani účinnost, ani se neztrácí plyn) bylo by možné jednotku řídit podle potřeb provozovatele distribuční sítě.

Právě skutečnost, že výkon BPS je dobře a bezeztrátově říditelný by mohla vést k vytvoření celků, resp. dvojic s jedním neřiditelným zdrojem a bioplynovou jednotkou. Výkon běžných obnovitelných zdrojů není buď vůbec predikovatelný (fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny) a nebo není bezeztrátově říditelný (malé vodní elektrárny). Spolupráce s vodní elektrárnou však nepřipadá nejen z důvodů umístění skládek daleko od řeky v úvalu.

Výkon větrných elektráren se mění téměř okamžitě se změnou síly větru. Tyto změny mohou být skutečně velmi rychlé. Ani řídicí jednotka bioplynové stanice by pravděpodobně nestačila reagovat na tak rychlé změny výkonu. Z těchto dvou důvodů spolupráci s větrnou elektrárnou také můžeme vyloučit.

Spolupráce s fotovoltaickou elektrárnou

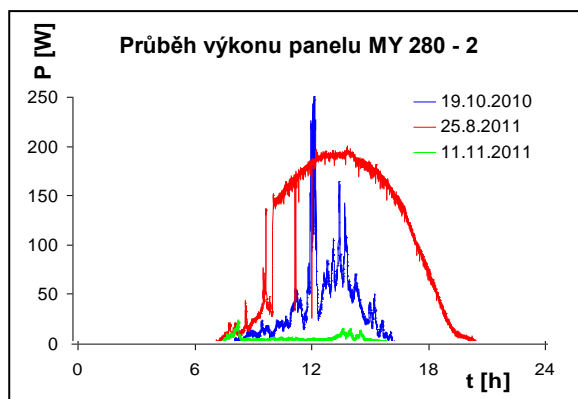
Území rekultivovaných skládek je obvykle vhodné pro instalaci fotovoltaických panelů. Výhody spočívají především v absenci vegetačního krytu (tím odpadá i stín), existenci oplocení, nočního hlídání, dostupností el. sítě. Nejinak je tomu i v případě Chotíkova. Rekultivovaná plocha staré skládky a uzavřené kazety K1 tvoří zhruba 48 tisíc metrů čtverečních. Plocha je pro instalaci FV panelů dostatečně pevná. Velkou výhodou je jihozápadní sklon plochy. I po odečtení okrajů a zastíněných prostor je zde dostatek místa pro instalaci fotovoltaické elektrárny s výkonem až několik MW.

Průběh výkonu na FVE

Pro teoretickou výstavbu elektrárny na skládce Chotíkov by bylo dobré použít moderních polykrystalických článků, jako vhodný se jeví například panel MY 280 – P (maximální výkon 280 W). Skvělou vlastností těchto článků je jejich nízká cena při dobrém výkonu a dlouhé životnosti. Navíc polykrystalický panel je schopen vyrábět elektřinu i v tzv. částečně difúzním osvětlení.

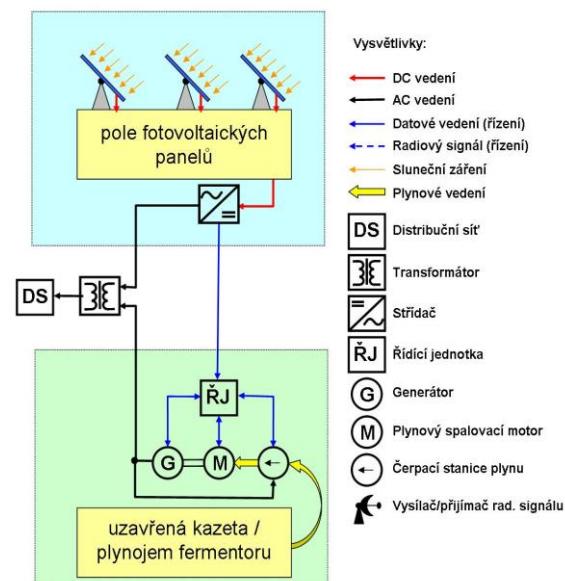
Průběhy výkonu použité v dalších výpočtech vychází z údajů naměřených na experimentálním školním panelu tohoto typu, umístěném na střeše fakulty elektrotechnické [7]. Hodnoty v grafech jsou hodnoty výkonu za střídačem. Nejprve průběh pro 25.8.2011 (Obr. 4:) Jako den s většími výkyvy výkonu, tedy proměnlivý den, byl zvolen podzimní den 19.10.2010. Na grafu je dobře vidět dvě oblasti s výrazným kolísáním výkonu, způsobené oblačností. V zimních měsících se jednak zkracuje celková doba, kdy sluneční záření dopadá, zhoršuje se úhel dopadajícího záření vůči rovině panelů, a také vlivem počasí klesá množství přijaté energie. Tyto faktory mají vliv na celkový pokles výkonu fotovoltaické

elektrárny. Typický zimní průběh je vidět v grafu pro 11.11.2011.



Obr. 4: Výkon školního panelu MY 280 – P

Pokud by na území skládky byla postavena fotovoltaická elektrárna (Obr. 5:,modré pozadí) se špičkovým výkonem na stejné úrovni jako je výkon skládkové jednotky (zelené pozadí), mohly by obě elektrárny spolupracovat. Oba dva zdroje by mohly být zapojeny přímo do společného předávacího místa a dokonce do stejné trafostanice.



Obr. 5: Spolupráce elektráren

Při stejném výkonu obou jednotek by pak v předávacím místě mohl být ideálně trvalý výkon zhruba 105–120 % výkonu jedné jednotky. Tento výkon by byl ve slunečných hodinách hrazen zhruba v poměru 100 % FVE a 10 % Bioplyn, při zataženém obloze a v noci by bioplynová jednotka hradila veškerý výkon sama. Toto několika hodinové přetížení nad jmenovitý výkon (až do úrovně 130 %) jednotku nemůže ohrozit. Je důležité zachovat pokud možno nepřetržitý provoz spalovacího motoru (alespoň na úrovni zhruba 10–20 %). Jedním důvodem je stabilita synchronního stroje při nízkém

výkonu spalovacího motoru a druhým důvodem je obtížnost automatického startování motoru. Oproti tomu relativně rychlá změna – zvýšení výkonu (mrak) ze zmiňovaných 10–ti % až na 120 % nepředstavuje technicky složitý problém.

Z obrázku je patrné, že ze střídače s kontinuálním měřením výkonu by bylo vedeno datové (signální) vedení do řídicí jednotky bioplynové elektrárny. Ani pro střídač ani pro řídicí jednotku to neznamená žádné rozsáhlé úpravy. V praxi by pak s minimálním zpožděním (max. v horizontu minuty) na každý úbytek resp. nárůst výkonu fotovoltaické elektrárny reagovala řídicí jednotka bioplynové stanice nejprve zvýšením, resp. snížením výkonu čerpací stanice a posléze konfigurací motoru na novou výkonovou hladinu.

Možnosti regulace spojených zdrojů

Pro výstavbu sluneční elektrárny s maximálním výkonem stejným jako bioplynová stanice skládky by bylo zapotřebí 430 panelů typu MY 280 – P. Rekultivovaná část skládky poskytuje dostatek místa. Panely by bylo nutné umístit na stojany (vhodné by byly dřevěné konstrukce), spojit a elektrárnu vybavit jedním centrálním střídačem.

Na základě dat získaných z tohoto typu panelu v různých dnech lze navrhnout a pomocí počítače simulovat nejméně pět základních systémů regulace a vyhodnotit jejich vlastnosti. Cílem bylo zjistit, jakým způsobem by stávající bioplynová jednotka STKO Chotíkov mohla svým výkonem reagovat na měnící se výkon sluneční elektrárny, tak aby byl jejich společný (součtový) výkon co nejstabilnější. Absolutní velikost tohoto výkonu je dána přetížitelností motoru. Bylo zapotřebí dodržet mnohá technologická a technická omezení, zejména:

- Udržení výkonu generátoru bioplynové jednotky nad 10 % jmenovitého výkonu.
- Udržení výkonu generátoru bioplynové jednotky pod 130 % jmenovitého výkonu.
- Výrazně nezměnit množství spáleného plynu za 24 hodin.
- Respektovat omezení rychlosti změny výkonu v čase (skoková změna).
- Respektovat reakční dobu řídicí jednotky a motoru (minimum 30 s).
- Vytvořit regulaci co nejjednodušší na řídicí prvky.
- Snížit objem dat v signálu na minimum.
- Maximálně využít stroje (maximální zisk z prodeje elektřiny).

SIMULACE ŘÍZENÍ

Bylo navrženo několik systémů řízení a důkladně rozebrány jejich výhody, nevýhody a matematicky analyzovány průběhy. Podrobně se dále má smysl věnovat jen dvěma s nejlepšími vlastnostmi:

Jednoduché řízení – přímá odezva

Při tomto způsobu řízení odesílá střídač vždy po určité době průměrný výkon FVE (Postupně byly řešeny varianty po 1 minutě, 5 minutách a 10 minutách). Řídicí jednotka motoru signál zachytí. Jednotka musí být vybavena modulem schopným dopočítat požadovaný výkon motoru do celkového součtu. Vyšle ihned motoru signál k provedení inverzní změny výkonu. Motor na tento signál zareaguje (s určitou prodlevou). Ukázalo se, že vzhledem k rychlosti s jakou se může výkon FVE změnit, nemá už zkrácení prodlevy reakce motoru výrazný vliv. Proto bylo v modelu dodrženo reálné prodlení 60s. Množství vyrobené energie při zachování dobrých parametrů celkového výkonu je pro všechny varianty regulace nejvyšší při přetížitelnosti motoru 110 %.

Při použití údajů jak z dnů s proměnlivým, tak i stabilním osluněním se potvrdilo, že je pro stabilitu součtového výkonu nejvýhodnější varianta s průměrováním po minutě. Při velmi dobré výsledné stabilitě je možné nastavit minimální výkon motoru až na 70 %, optimálních výsledků bylo dosaženo při nastavení na 50 %. Tato varianta ale vyžaduje velké množství přenesených dat, častou změnu výkonu motoru a možnost velkých skoků ve výkonu motoru.

Výhody:

- Dobrá stabilizace celkového výkonu.
- Schopnost reagovat na všechny typy průběhů.
- Systém řízení nepotřebuje paměťovou jednotku.

Nevýhody:

- Velké množství přenášených dat.
- Rychlé a velké změny výkonu motoru.

Komparativní řízení – sledování tendence součtového výkonu

Při tomto způsobu řízení opět dochází k přenosu signálu obsahujícího informaci o průměrném výkonu FVE za posledních 5 minut. Řídicí jednotka provede součet hodnoty z příchozího signálu se stávajícím výkonem motoru a tuto hodnotu porovná s požadovaným součtovým výkonem (udán jmenovitým výkonem motoru a přetížitelností). A adekvátně zvýší nebo sníží výkon motoru o nastavený krok, aby se požadovanému součtu přiblížila. Přetížitelnost motoru opět byla nastavena na 110-ti procentech a zpoždění reakce motoru opět 60 s. Při tomto řízení se jako ideální krok ukázala hodnota 1 % z jmenovitého výkonu, výkon motoru nemusí klesat pod 50 %. Tímto řešením se dá docílit velmi stabilního součtového výkonu. Motor není vystaven velkým skokům a výkon se mění jen pomalu.

Jednotky by poté mohly nejen dodávat kvalitní ekologickou energii, ale také se zapojit do řízení sítě. Vhodná spolupráce se nabízí zejména s fotovoltaickými elektrárnami, které nemohou dodávat výkon vyrovnaný v čase. Spoluprací těchto dvou celků lze získat celkový výkon mnohem stabilnější, s menším rozptylem. Tato spolupráce je plně realizovatelná i při přihlédnutí ke všem skutečným vlastnostem obou zdrojů. Spojením nedochází k žádným ztrátám ve výrobě, ani nedochází k poškozování bioplynové jednotky. Jako nejvhodnější způsob řízení vychází komparativní řízení se sledováním tendence součtového výkonu, jako vhodný kompromis.

Model tohoto spojení dvou malých zdrojů elektrické energie do distribuční sítě ověřil, že nedochází žádným způsobem k rušení sítě a spojení je ve všech provozních stavech plně v souladu s podmínkami připojitelnosti. Neklade žádné zvýšené požadavky na předávací místo.

V budoucnu bude třeba vytvořit legislativní podmínky motivující nejen provozovatele malých zdrojů, ale i provozovatele distribučních soustav k většímu zapojení těchto zdrojů do regulace. Jednoduchým nástrojem by mohla být například výkupní cena odvozená od spolehlivosti dodávky.

LITERATURA

- [1] Ptáček, J., Modlitba, P.: Rizika provozu energetických sítí a soustav s velkým podílem větrných elektráren. In: Energetika 10/2005. ČSZE, Brno, 2006, s. 312-315. ISSN: 0375-8842
- [2] www.eru.cz [cit. 2010-03-02]
- [3] Schulz, H., Eder, B.: Bioplyn v praxi. HEL, Ostrava, 2004, ISBN: 80-86167-21-6
- [4] Murtinger, K., Beranovský, J.: Energie z Biomasy. Era, Brno, 2006 ISBN: 80-7366-071-7
- [5] Sedlák, J., Vaněk, F.: Využívání OZE pro výrobu elektřiny ve Skupině ČEZ. In: Energetika 2/2006. ČSZE, Brno, 2006, s. 54-56. ISSN: 0375-8842
- [6] Kysnar, F., Procházka, K.: Negativní dopad připojovaných OZE na DS, nápravná opatření, Konference ČK CIRED 2010, ISBN 978-80-254-8519-4
- [7] ŠKORPIL, J., ERLEBACH, J., DVORSKÝ, E. Některé výsledky výzkumu na fotovoltaických systémech a větrné elektrárně. In *Proceedings of the 6th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering - Elektroenergetika 2011*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011. s. 118-121. ISBN: 978-80-553-0724-4