

## Oponentní posudek disertační práce.

**Předkladatel:** Ing. Petr Jindra

**Název práce:** Optimalizace provozu bioplynové kogenerační jednotky v distribuční síti

**Oponent:** Doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.  
FEL, Katedra elektroenergetiky a ekologie  
ZČU v Plzni

Doktorand ve své práci řešil aktuální problematiku optimalizace provozu distribuovaných elektrických generátorů poháněných systémy transformující energii z obnovitelných energetických zdrojů. Tato skutečnost se stává stále více aktuální nejenom, v důsledku narůstajícího počtu těchto zdrojů, které se připojují do elektrizační soustavy (ES) ČR, ale i v důsledku problému vznikajícího nedostatku klasických fosilních paliv. Paralelní provoz těchto generátorů s ES přináší problém s nárůstem potřebných regulačních výkonů, nutností plánování provozu ES, ohrožení stability provozu a zvyšováním vlivů těchto zdrojů na kvalitu dodávky elektřiny.

Práce je rozdělena do 11 kapitol, které v logickém sledu řeší problematiku od stanovených cílů při respektování omezujících podmínek, přes vytyčení metodiky a její aplikaci až ke konkrétním závěrům.

V první kapitole si doktorand stanovil cíle práce, z nichž hlavním je posouzení možnosti spolupráce – optimalizace vlivu na kvalitativní parametry ES, bioplynové kogenerační jednotky s dalším elektrickým generátorem poháněným z obnovitelného zdroje.

Ve druhé kapitole je provedena stručná kategorizace pojmu OZE (obnovitelný zdroj energie) a využití OZE v ČR a ve třetí pojmu biomasa zmíněny možnosti jejího energetického využití.

Čtvrtá kapitola se zabývá technologiemi bioplynových jednotek. Důraz je kladen na energetické možnosti využití produkovaného bioplynu.

Pátá kapitola shrnuje nezbytné podmínky pro možnost připojení elektrických generátorů do distribuční elektrické sítě (DS) stanovené provozovateli DS tak, aby nebyly narušeny kvalitativní parametry dodávky elektřiny spotřebitelům.

Problematika zachování kvalitativních parametrů po připojení distribuovaného zdroje je řešena v kapitole č. 6 na příkladu připojení bioplynové stanice pracující v kombinaci s dalším OZE. Byly posuzovány vlivy na kvalitu elektřiny pomocí programu E-vlivy, který řeší chod definované soustavy pomocí metody uzlových napětí Gaus-Seidlovou metodou.

Kapitola č. 7 stanovuje podmínky pro optimalizaci provozu bioplynové kogenerační jednotky využívající plyn ze skládky Chotíkov u Plzně. Optimalizace, přestože není úplně přesně definována, je založena na požadavcích:

- a) maximální účinnosti jednotky,
- b) maximální vyčísitelnosti jednotky – co nejvyšší době využití,
- c) minimálního kolísání výkonu – minimalizace potřeby regulačního výkonu ze strany DS.

Optimalizace ad a) je správně presentována jako problematika možnosti maximálního využití užitečného tepla vznikajícího při výrobě elektřiny, což je základní problematikou

optimalizace provozu všech kogeneračních jednotek. Doktorand provedl diskusi o možnostech využití tepla pro potřeby:

1. tepelného zásobení
  - i. samotného podniku,
  - ii. obytné lokality Chotíkov.
2. likvidace průsakové vody odpařováním.

Samotné stanovení optimalizační funkce, popřípadě její výpočet, není prováděn. Problematika je řešena pouze konstatováním možnosti a nevhodnosti použití vlivem výšky nákladů.

Optimalizace ad c) je založena na:

1. minimalizaci změny příkonu do KJ vlivem paliva,
2. minimalizaci výpadků jednotky vlivem poruch,
3. spolupráci s paralelně připojeným dalším OZE.

Vliv nerovnoměrnosti výhřevnosti paliva navrhuje doktorand odstranit vyrovnávacím zásobníkem, dodávkou metanu do paliva, popř. přidáváním zemního plynu.

Minimalizace výpadků je podložena detailním rozбором poruch za dobu provozu, které jsou zaznamenávány řídicím systémem jednotky. Doktorand konstatuje, že lepší nastavení ochran by výpadky značně omezilo. Výpadky jsou způsobeny většinou vlivem kvalitativních parametrů v samotné DS, hlavně v oblasti špičkového odběru.

Optimalizace spolupráce s paralelně připojeným generátorem OZE je hlavním přínosem práce doktoranda. Jako dostupné OZE v dané lokalitě byly větrná a sluneční energie, přičemž fotovoltaický generátor (FV) má vhodnější vhodné podmínky pro využití. Použití varianty s paralelně spolupracující FV elektrárnou v jiném přípojném místě by ovšem vyžadovalo rozšířenější metodiku optimalizace, protože by se muselo řešit rozložení toků v příslušné síti. Společné přípojně místo těchto dvou zdrojů představuje jen jeden napájecí bod v ES, na kterém je proveden proces optimalizace minimální změny výkonu dodávaného do ES. Protože lze regulovat pouze výkon bioplynové jednotky je celý proces založen na sledování výkonu paralelní FV a to podle:

- a) předpokládaného výkonu – řízení podle šablony,
- b) skutečného výkonu – přímá odezva,
- c) překročení limitní hodnoty změny výkonu – komparativní řízení.

Doktorand prezentuje, že na optimalizační proces byl použit matematický model, který však není v práci uveden. Rovněž tak vlastní optimalizační – účelová funkce zde není matematicky popsána. Lze usuzovat podle diskuze jednotlivých výsledků presentovaných v grafech, že optimalizační funkce byla zřejmě založena na minimalizaci změny výkonu bioplynové stanice oproti konstantní hodnotě. Zpřehlednění výsledků by určitě prospělo grafické, popř. tabulkové porovnání optimalizovaných parametrů a provedení přesnějších závěrů a doporučení.

K celkovému systému řešení dané problematiky nemám výhrady. Doktorand si zvolil cíle a použil vhodnou metodu řešení. Vlastnímu použití metody by prospěl detailnější matematický popis, než jen intuitivní přístup, přestože je správný.

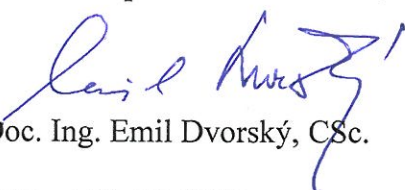
Získané výsledky a jejich diskuze dává možnosti pro jejich využití v praxi. Vyšetření tří provozních stavů paralelní spolupráce bioplynové stanice s fotovoltaickým generátorem v jednom přípojném místě považuji za hlavní původní přínos doktorandovy práce.

Práce je zpracována systematicky a celkem přehledně. Grafické zpracování je na dobré úrovni. Přehlednosti tabulek by prospěl jednotný formát a jejich důslednější kontrola – např. tab.5. Stejnou výtku mám i k různým formátům presentovaných rovnic. Formulace závěrů a předpokladů by měla být provedena fundovanějším a preciznějším způsobem.

V práci postrádám seznam použitých zkratk, seznam veličin, obrázků a tabulek. Seznam vlastních publikací disertanta uvedený v příloze k práci zahrnuje příspěvky ve sbornících z konferencí, vytvořené softwary, dva funkční vzorky a článek v uznávaném odborném časopisu. Témata publikací odpovídají problematice řešené v disertační práci.

Přes uvedené některé nedostatky je patrný přínos doktoranda k řešení aktuální problematiky paralelního provozu distribuovaných zdrojů s ES při použití OZE. Hlavně v oblasti provedených výpočtů a rozboru provozní stavů těchto typů generátorů. Přínos je rovněž návrh metodiky řešení častého výpadku bioplynových stanic.

***Disertační práci v souladu se zákonem č. 111/1998 sb. doporučuji k obhajobě.***



Doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.

V Plzni 25. 08. 2012

## Oponentní posudek disertační práce

**Název práce: Optimalizace provozu bioplynové kogenerační jednotky v distribuční síti**

Autor: Ing. Petr Jindra

Oponent: Ing. Václav Kropáček, Ph.D., ČEZ, a.s.

V přeložené disertační práci se autor zabývá aktuálním tématem paralelní spolupráce obnovitelných zdrojů s distribuční sítí, zejména tématem možnosti optimalizace spolupráce více rozdílných typů obnovitelných zdrojů, s pozitivním dopadem na provoz distribuční soustavy. Masivní státní podpora výkupu elektřiny, zejména z fotovoltaických zdrojů způsobila stav, kdy se provozovatelé distribučních soustav přiblížily k hranici kapacity distribučních soustav, absorbovat požadavky na připojení dalších rozptýlených zdrojů. Přístup aplikovaný v disertační práci dává šanci pro připojení dalšího výkonu díky většímu využití maxima distribuční kapacity.

Disertant se ve své práci zaměřuje na využití energie získané z biomasy mokrou cestou – zplynováním. Takto získaný plyn je spalován v zážehovém motoru s připojeným asynchronním, případně synchronním generátorem.

Úvodní část práce věnuje disertant popisu výroby bioplynu z biomasy, popisu bioplynových stanic a analýze jejich provozu. Závěr kapitoly věnuje analýze využití tepla při nasazení kogenerační jednotky pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla z bioplynu.

Další část práce věnuje disertant problematice připojení výroby k distribuční soustavě. Analyzuje obecné požadavky, které jsou na tyto zdroje kladeny v legislativě a v Pravidlech provozování distribučních soustav. Následuje podrobný výčet podmínek pro připojení tří konkrétních jednotek k soustavě provozovatele ČEZ Distribuce, a.s.

Samostatnou kapitolu věnuje problematice zpětných vlivů výroben na distribuční soustavu. Zde je v programu E-vlivy modelována situace připojení bioplynové výroby a dalších výhledově spolupracujících výroben k distribuční síti. S ohledem na velikosti připojovaného bioplynové elektrárny výkonu vychází připojení příznivě, problém nastává při paralelním připojení další FVE nebo VTE, pro vyrovnání výpadků provozu. V této části chybí jednoznačný popis postupu výpočtu, zejména zda při simulaci byla každý zdroj připojován samostatně nebo zda byla použita určitá kombinace, tak jak je dále uvažováno v kapitole 8. Taktéž schéma konfigurace a jeho popis by si zasloužily větší pozornost.

V závěru práce se disertant věnuje optimalizaci provozu konkrétních bioplynových jednotek pracujících na skládkách TKO v Chotíkově a ve Vysoké u Dobřan. Obě skládky zatím nevyužívají vyráběné teplo, zde popisuje možnost jeho částečného využití k odparu skládkové vody, kterou je nutné v současné době jímat a dopravovat ke speciálnímu čištění do vzdálenosti cca 200 km. Škoda, že tento návrh na využití odpadního tepla není podrobněji ekonomicky analyzován. Dalším provozní problematikou jsou výpadky výroby. Disertant analyzuje příčiny výpadků výroby na skládce v Chotíkově, kde dochází k závěru, že většina výpadků je způsobena distribuční soustavou. Jedná se nejen o výpadky napájení, ale také o kolísání napětí v distribuční, na které reagují ochrany generátoru jeho odstavením. Zde doporučuje modernizovat použité jednostupňové ochrany za nové dvoustupňové, které dokáží eliminovat vliv automatik OZ nasazených provozovatelem DS na vývodech



z rozvodu 22 kV. Přestože se kapitola nazývá optimalizace provozu, chybí alespoň náznak ekonomické úvahy nad případnou výměnou ochran, zejména pokud jednotka v Chotíkově nemá možnost dálkového řízení, a po odstavení musí dojít k zásahu vyškolené obsluhy.

Poslední kapitola je věnována problematice spolupráce jednotky s dalšími obnovitelnými zdroji s cílem stabilizovat dodávku elektrické energie do soustavy a prodloužit tak dobu využití maxima v předávacím místě. Je vyhodnocena spolupráce s větrnou elektrárnou, která v dané lokalitě nedává uspokojivé výsledky pro nasazení do rutinního provozu. Toto tvrzení opírá disertant o měření provedené na malé VTE instalované na Elektrotechnické fakultě ZČU v Plzni. Jako alternativa je dále hodnocena spolupráce s FVE, která indikuje reálné využití. Tvrzení se opět opírá o měření provedené na FVE člancích instalovaných na Elektrotechnické fakultě ZČU v Plzni. V práci jsou zmíněny 4 modely spolupráce bioplynové a FVE elektrárny. Není jednoznačně definován nejvýhodnější model.


Disertant v závěru správně upozorňuje na absenci legislativní úpravy pro podporu stabilizace a řízení výkonu obnovitelných zdrojů. Změna legislativy by měla být provedena tak, aby motivovala nejen provozovatele OZE, k investicím do řízení a stabilizace výkonu, ale i provozovatele distribuční soustavy. Ten by měl upřednostnit a podporovat připojování těchto zdrojů v místech výkonového deficitu, jako alternativy k investicím do posílení kapacity soustavy. Práci je možné použít jako podpůrný materiál pro přípravu legislativních úprav, to je jedním z přínosů práce pro obor elektronenergetiky.

Práce je zpracována systematicky a přehledně. Přesto je nutné autorovi vytknout nedostatky ve formulacích (zejména v článku 7.2) a absenci přílohy s výsledkem výpočtu a hodnotami změn napětí, při modelovém připojení paralelně spolupracující fotovoltaické elektrárny, dle článku 8.2.

Postup a metody použité v práci splňují podmínky samostatné vědecké práce. Cíle, formulované v úvodu práce, byly dosaženy. Práce splňuje podmínky §47 zákona č. 111/98 Sb. a článku 52 odst. 8 Studijního a zkušebního řádu ZČU. Na základě těchto ustanovení doporučuji disertační práci k obhajobě.

K práci mám následující dotaz:

Jakým způsobem dochází ke změně konfigurace motoru při zvýšení obsahu metanu v bioplynu, tak jak uvádíte v kapitole č. 6 na straně 49.



V Plzni 29. srpna 2012

Ing. Václav Kropáček, Ph.D.