



**Dr.h.c. prof. Ing. Michal KOLCUN, PhD., Katedra elektroenergetiky TU FEI v
Košiciach**

OPONENSKÝ POSUDOK DIZERTAČNEJ PRÁCE

Autor práce: **Ing. Jan Mezera**

Názov práce: **Návrh a možnosť začlenění hybridního výrobního zdroje (VTE, BPE) do energetického tržního prostředí**

Oponentský posudok bol vypracovaný na základe môjho menovania oponentom dekanom Fakulty elektrotechnickej ZČU v Plzni p. doc. Ing. Jiřim Hammerbauerom, PhD.

V posledných rokoch na celom svete je možné badať veľký rozvoj obnoviteľných zdrojov energie. Spôsobilo to najmä havária jadrovej elektrárne vo Fukušime, ale aj dodržiavanie ekologických záväzkov jednotlivých štátov. Inštalácia hlavne ťažko predikovateľných obnoviteľných zdrojov ako sú FVE a VTE spôsobuje určité problémy, preto je potrebné sa zaoberať ich riešením. Predložená dizertačná práca sa zaoberá začlenením hybridného výrobného zdroja (VTE, BPE) do energetického tržného prostredia. Z toho dôvodu považujem zvolenú tému dizertačnej práce za vysoko aktuálnu a významnú pre odbor Elektroenergetika.

Dizertačná práca obsahuje 154 strán a prílohy – výpisy programov realizovaných dizertantom.

Úvodné časti práce sú venované súčasnému stavu a energetickej koncepcii ČR, ďalej popisom obnoviteľných zdrojov energie najmä v ČR so zameraním na slnečnú energiu, veternú energiu a energiu z biomasy. Podľa môjho názoru je táto časť rozsiahla a venovaná známym technickým parametrom pre jednotlivé typy spomínaných obnoviteľných zdrojov.

Za podstatný prínos práce je možné považovať návrh distribučného systému pozostávajúceho z bioplynovej elektrárne a veternej elektrárne. Pre takto navrhnutý systém bol vypracovaný matematický model a realizovaná metodika výpočtu s využitím programu „Model“, ktorý zostavil dizertant.

Ďalšia časť dizertačnej práce je venovaná riadeniu výroby elektrickej energie v ES ČR so zameraním na metodiku výpočtu nákladov zdrojov a trhovej optimalizácie portfólia. Pre riešenie týchto problémov boli použité klasické metódy ako aj metódy umelej inteligencie – umelých neurónových sietí.

Postup riešenia obidvoch zadaných problémov bol správny, zvolené metódy riešenia priviedli ku konkrétnym výsledkom. Je možné považovať, že zadané ciele práce v kapitole 1.2 boli splnené v plnej miere.

V teoretickej časti práce za vlastný prínos je možné považovať návrh hybridného systému pozostávajúceho z VTE a BPE ako aj jeho matematický popis. V ďalšej časti práce prínosom boli krátkodobé cenové modely elektriny pre využitie trhovej optimalizácie výrobného portfólia.

V praktickej časti práce je prínosom realizácia programu „Model“ pomocou, ktorého bola simulovaná prevádzka navrhnutého systému.

Práca je napísaná celkom zrozumiteľne, k jazykovej úrovni sa neviem vyjadriť.

Niektoré kapitoly sú podľa môjho názoru zbytočne rozsiahle. Grafická úprava je dobrá, až na čitateľnosť niektorých obrázkov. Práca obsahuje niekoľko preklepov a nepresností.

Publikačnú činnosť dizertanta uvedenú v závere dizertačnej práce (13 titulov) je možné považovať za nadpriemernú, väčšina publikácií je z medzinárodných konferencií. Podstatná časť dosiahnutých výsledkov v dizertačnej práci bola publikovaná.

Otázky na dizertanta

1. Aký predpokladáte ďalší vývoj OZE v ČR?
2. Aká je ekonomická návratnosť navrhnutého distribučného systému?

1. Záver


Záverom môžem konštatovať, že vypracovaná dizertačná práca Ing. Jana Mezeru na tému: „Návrh a možnosť začlenění hybridního výrobního zdroje (VTE, BPE) do energetického tržního prostředí“ splnila zadané ciele. Práca obsahuje vlastné prínosy v teoretickej aj praktickej časti. Jadro práce bolo dostatočne publikované, čím preukázal dizertant schopnosť vedecky pracovať.

Predloženú dizertačnú prácu odporúčam k obhajobe a po jej úspešnej realizácii

- odporúčam -

udeliť jej autorovi vedecko-akademickú hodnosť PhD. v odbore Elektroenergetika.

V Košiciach 29.12.2013


Dr.h.c. prof. Ing. Michal **Kolcun**, PhD.
oponent práce

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Autor: **Ing. Jan Mezera**
Školící pracoviště: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická
Téma: **Návrh a možnost začlenění hybridního výrobního zdroje (VTE, BPE) do energetického tržního prostředí**
Oponent: **RNDr. Bohumil Sadecký, CSc.**
ČEPS, a.s.

Aktuálnost a význam tématu: Předložená práce je zaměřena na velmi aktuální problematiku zařazování a optimálního řízení obnovitelných zdrojů energie v prostředí trhu s elektrickou energií. Výrobní a tržní optimalizace výrobního portfolia s větším podílem volatilních zdrojů představuje komplikovaný problém s vysokou nálehavostí řešení, jak po stránce použitelných vědeckých metod, tak i z hlediska praktické použitelnosti. Práce se zabývá oběma aspekty tohoto problému a přináší k tomu významné nové poznatky.

Cíl a jeho splnění: V kapitole 1.2 je uvedeno celkem 8 dílčích cílů práce. Souhrnně lze říci, že hlavní cíle práce byly dva. Prvním cílem bylo navrhnout hybridní výrobní systém využívající bioplynové a větrné elektrárny (BPE a VTE), provést technickou a ekonomickou analýzu návrhu s doporučením pro budoucí aplikaci na vybrané lokalitě. Dalším cílem, který zahrnuje i hlavní vědecký přínos práce, bylo vyvinout predikční model cenových křivek pro použití při tržní optimalizaci portfolia zdrojů. Uvedených cílů dle mého soudu autor dosáhl, jak bude dále v oponentském posudku uvedeno.

Formální úprava: Práce má 151 stran základního textu včetně obrázků, tabulek a grafů. Je rozdělena na 9 kapitol, začíná poměrně rozsáhlým popisem základních pojmů z oblasti OZE, pokračuje návrhem a analýzou hybridního výrobního systému a ve druhé polovině se zabývá výrobní a tržní optimalizací variabilního portfolia zdrojů. Rozložení kapitol je logické a přehledné. V příloze jsou zdrojové texty výpočetních aplikací v Matlabu, použité pro účely modelování a predikce cen elektřiny. Součástí práce je výčet 50 použitých literárních pramenů a 13 vlastních publikací. Práce je sepsána pečlivě, drobné jazykové nepřesnosti jsou zanedbatelné a nemají vliv na srozumitelnost textu.

Postup, metody a výsledky řešení: Práci lze rozdělit na dvě části. První část, jejímž jádrem je především kapitola 4 „Návrh distribučního systému“, popisuje analyticky a matematicky spolupráci dvou paralelně pracujících zdrojů (BPE a VTE) v distribuční soustavě, včetně ekonomické analýzy takového projektu. V kapitole 5 navrhl autor pro tento hybridní systém vlastní simulační model, umožňující automatizovat výpočet provozního chování systému a ekonomických ukazatelů. Tento model autor realizoval jako aplikaci v prostředí Windows a popsal jeho používání. Tato část práce má praktický význam pro budoucí aplikace popisovaného hybridního systému zdrojů, který by případnému investorovi mohl přinést výhody na straně spolehlivosti dodávky a prodeje regulační energie.

Druhou část práce představuje rozsáhlá a obsahově bohatá kapitola 6 „Tržní a výrobní optimalizace variabilního portfolia zdrojů“. Autor zde popisuje současný způsob řízení výroby a regulace elektrické energie v tržním prostředí, činnosti výrobního a obchodního dispečinku ČEZ, spolupráci s dispečinkem ČEPS v oblasti podpůrných služeb a technickou realizaci obchodních závazků výrobce. Dále je v této kapitole provedena analýza nákladů na výrobu elektřiny a popsán výpočet nákladové charakteristiky elektrárenského bloku, která se používá při optimalizaci nasazení zdrojů. Popsána je rovněž metoda krátkodobé optimalizace zatížení spolupracujících zdrojů podle charakteristik poměrných přírůstků, založená na lineárním programování, která je typická pro technický dispečink elektrárenské společnosti.

Jiným problémem je tržní optimalizace, tj. maximalizace marže při obchodování s vyrobenou energií. Tomuto problému se autor věnuje ve zbývajících částech kapitoly 6 a zde je obsažen jeho hlavní vědecký přínos. Základní informace pro tuto tržní optimalizaci nesou hodinové predikce cen elektřiny na trhu, pro jejichž vývoj je třeba sestavit a verifikovat vhodný predikční model. Vývoj takového modelu je hlavním vědeckým přínosem práce. Autor popisuje nejdříve tzv. fundamentální modely odrážející přímý vliv externích faktorů na ceny energie. Hlavním výsledkem je pak vývoj predikčního modelu založeného na umělých neuronových sítích – vícevrstvý perceptron s vybranými fundamentálními vstupy v kombinaci se samoučící Kohonenovou mapou. Model byl autorem realizován jako aplikace v Matlabu a byla ověřena

Oponentský posudek doktorské disertační práce – Ing. Jan Mezera

dobrá korelace jeho výstupů s reálnou cenou. V kapitole 7 je pak naznačena možnost dalšího rozvoje modelu jeho spojením s procesem „Market Coupling“.

Zvolený metodický postup v této části odpovídá požadavkům na vědeckou práci. Autor postupoval od teoretického odvození metody k její praktické aplikaci a verifikaci, která prokázala praktickou použitelnost metody.

Přínosy pro praxi: Přínosy práce pro praxi jsou ve dvou oblastech: První praktický přínos pro potenciálního investora v oblasti OZE představuje návrh hybridního systému BPE a VTE včetně softwaru pro modelové výpočty technických a ekonomických parametrů variant návrhu. Druhým praktickým přínosem je ověřená a prakticky již využívaná metoda predikce krátkodobého vývoje cen elektrické energie pro účely tržní optimalizace.

Zhodnocení významu práce pro obor „Elektroenergetika“ : Přínosem práce pro vědní obor „Elektroenergetika“ je metodika modelování hybridního systému OZE a zejména metoda vytváření predikčních modelů cenových křivek pro tržní optimalizaci nasazování zdrojů s využitím umělých neuronových sítí.

Stanovisko k původnímu vědeckému přínosu práce: Jako původní vědecký přínos práce vidím vývoj a využití aparátu umělých neuronových sítí pro krátkodobou predikci cenových křivek elektrické energie, originální propojení dvou typů modelů ANN (dvouvrstvý perceptron a Kohonenova mapa), výběr fundamentálních vstupů pro trénink ANN, včetně kalibrace modelu a verifikace výsledků predikce porovnáním se skutečností.

Vyjádření k publikacím uchazeče: Je uvedeno 12 vlastních publikací ve sbornících a na konferencích (včetně zahraničních) a 1 kapitola do knihy. Tyto publikace se zabývají různými aspekty problematiky řešené v disertační práci. Obsahují původní poznatky autora a rovněž závěry pro praxi.

Dotazy na autora práce:

- Jaká byla časová náročnost tréninku umělé neuronové sítě a kolik vzorů obsahovala tréninková množina?
- V kapitole 7 je jako námět pro další rozvoj uvedena aplikace neuronové sítě v případě zahrnutí procesu „Market coupling“ do modelu. Můžete uvést, jaké hlavní komplikace a úpravy predikčního modelu založeného na neuronových sítích by to znamenalo?

Závěrečné hodnocení: Podle mého soudu práce splnila stanovené cíle, obsahuje řadu nových poznatků a je nesporným přínosem pro vědní obor elektroenergetiky i pro praxi. Doktorand prokázal osvojení vědeckých metod práce, schopnost samostatné tvůrčí vědecké práce v dané oblasti a schopnost aplikovat výsledky v praxi. Disertační práce splňuje obecně uznávané požadavky na úroveň doktorských disertačních prací. Z výše uvedených důvodů doktorskou disertační práci

d o p o r u č u j i k o b h a j o b ě .



V Praze, 20. 12. 2013

RNDr. Bohumil Sadecký, CSc.
ČEPS, a.s.
Elektrárenská 774/2
101 52 Praha 10

Recenzní posudek doktorské disertační práce Ing. Jana Mezery

na téma "**Návrh a možnost začlenění hybridního výrobního zdroje (VTE, FVE) do energetického tržního prostředí**". Recenzovaná práce byla předložena v roce 2013 k obhajobě na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Předložená doktorská práce si klade jako deklarované cíle analyzovat možnosti začlenění obnovitelných zdrojů elektřiny do celého systému výroby elektřiny, tedy najít technické řešení s jeho následným ekonomickým vyhodnocením. Druhá část práce si klade za cíl optimalizovat portfolio různých zdrojů výroby elektřiny s cílem maximalizovat finanční výnosnost tohoto portfolia.

Již úvodem posudku musím konstatovat, že tyto dva cíle vedly k tomu, že předložená práce má dvě dosti oddělené a relativně samostatné části. V nich se používají různé metody, navrhuje různé modely a algoritmy řešení. Lze říci, že každý z vytčených cílů je aktuální, ale zasloužil by si možná samostatnou práci. Takto se např. na str. 57 doktorand věnuje vlastnostem biomasy jako paliva a na str. 139 modelu neuronové sítě. Celkové úrovni práce by jistě prospělo soustředění na jeden z popsaných cílů. Po prostudování předložené práce a jejím celkovém zhodnocení v kontextu současného vývoje elektroenergetiky mohou ale konstatovat, že deklarované cíle byly naplněny. Nyní se vyjádřím podrobněji k jednotlivým částem práce.

V úvodní části doktorand charakterizuje vlastnosti jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů elektřiny s cílem využít tyto charakteristiky pro modelování navrženého systému. Bohužel jsou v této práci některé neaktuální údaje, např. tabulka podílu OZE je za rok 2008, historické grid on FVE aplikace na str. 28 a výkupní ceny elektřiny z roku 2009 na str. 37.
Otázka: Jaké byly a jsou cíle resp. závazky České republiky v podílu elektřiny nebo primární energie z OZE ?

Doktorand se dále věnuje podrobně fyzikální podstatě OZE a jejich potenciálu, nicméně charakteristiky některých druhů OZE z pohledu jejich provozu v reálném čase a souvislostem z hlediska denního diagramu výroby a denního diagramu spotřeby se věnuje až v další kapitole.

Vlastní práce doktoranda v kapitole 4 se zabývá návrhem distribučního (?) výrobního systému, který využívá kombinaci dvou výrobních jednotek, založených na větrné energii – VTE a na energii z bioplynu – BPE. Pro tuto kombinaci doktorand navrhl matematický model a implementoval jej na konkrétním příkladu s modelovými daty. Podstatou technického řešení je určité předimenzování bioplynové části, kdy s využitím zásobníku, meziskladu bioplynu je možné ovlivňovat výsledný elektrický výkon, dodávaný do sítě nebo zákazníkovi. Samotný

návrh zohledňuje potřebné dynamické parametry jeho prvků, zejména pak dynamiku změn rychlosti větru a model tak umožňuje optimalizovat parametry jednotlivých zařízení v konkrétní lokalitě.

Otázka: Jaká jiná technická řešení (kombinace OZE s jiným zdrojem nebo systémem akumulace energie) by dávala smysl s ohledem na proměnný průběh dodávek u některých druhů OZE? Proč jste v práci zvolil právě VTE+BPE?

Otázka: Jaký je Váš názor na současné a budoucí možnosti akumulace (elektřiny) energie a její možnosti s cílem zmírnit nepříznivé vlastnosti některých druhů OZE?

Otázka: Jaký je Váš názor na možnosti řešení problému řízení chodu sítí s využitím technologií Smart Grid apod.? Je schůdnou cestou samotné posilování přenosové nebo distribuční sítě?

Technické řešení je následně modelováno i ekonomicky, což by mělo umožnit posoudit i ekonomickou výhodnost. V práci jsou ale vyčísleny hodnoty pro jednu technickou variantu, což neumožňuje porovnat ekonomiku projektu např. se současným stavem, se samostatným provozem VTE a BPE nebo s jinou technickou variantou. Bohužel k práci byl na CD přiložen pouze textový soubor, takže jsem nemohl posoudit technický ani ekonomický model např. na jiných datech. Parametry hodnocené varianty nejsou uspořádány nijak přehledně, takže čtenář tápe, zda průměrný roční výkon na str. 85 je opravdu 75726.32 MW.

Otázka: Na str. 84 je ekonomické kritérium NPV správně definováno jako čistá současná hodnota peněžních toků, ale v předchozím textu se např. na str. 75 nazývá aktualizovaným ziskem. Co je to za komponentu N_{IVL} v rovnici 4.29? Jsou to roční nebo jednorázové výdaje?

Část práce, věnovaná modelu optimalizace portfolia výrobních zdrojů obsahuje nejprve charakteristiku současného tržního prostředí v energetice ČR a EU. S oddělením technické stránky dispečerského řízení soustavy a obchodního řízení zdrojů jednotlivých výrobců vzrostla i náročnost na toky dat, potřebných pro zajištění spolehlivého provozu elektrizační soustavy v reálném čase a celkově i složitost rozhodovacích a řídicích procesů. Doktorand formuluje úlohu krátkodobé optimalizace zdrojů, založenou na poměrných přírůstcích nákladů.

Následně doktorand analyzuje jednotlivé fundamentální faktory, které mají vliv na ceny elektřiny na krátkodobém trhu. Vlastní analýza je provedena pro bilanční oblast Německa, kde lze nalézt dostatek relevantních dat. Další práci doktorand soustředil na analýzu jednotlivých predikčních modelů, popsanych v literatuře a na reálných datech testuje jejich vypovídací schopnost. Vlastní návrh predikčního modelu je založen na vlastnostech neuronových sítí, vypracování modelu a jeho testování. Zejména v této části práce doktorand osvědčil schopnost samostatné tvůrčí práce, jejímž výsledkem je model a nové poznatky o chování zkoumaných veličin.

Otázka: Jak vidíte složitost navrženého modelu a náročnost na dat v porovnání s požadavky na praktickou realizovatelnost modelu v reálném čase, tj. pro rozhodování výrobce v prostředí denního nebo i vnitrodenního časového horizontu?

Doktorand prostudoval dostatečné množství literatury, i když k první části práce se orientoval převážně na podmínky ČR. Predikční modely cen jsou dostatečně dokumentovány zahraniční literaturou, a na dosud publikované metody ve své práci navazoval. Za plně dostatečné považují i vlastní publikace autora.


Po formální stránce jsou obě části práce logicky uspořádány a mají logickou stavbu od formulace úlohy a cílů, analýzu dosavadních metod, návrh modelu a jeho vlastní implementaci.

Závěry:

Předložená práce podle mého názoru plně prokázala schopnost tvůrčí vědecké práce Ing. Jana Mezery ve studijním oboru Elektroenergetika. Práce přináší nové poznatky a prokázala schopnost doktoranda samostatné a tvůrčí vědecké práce.

Předloženou práci doporučuji k obhajobě před příslušnou komisí v oboru Elektroenergetika a k udělení titulu doktora věd Ph.D.

V Praze dne 31.1.2014


Doc. Ing. Jirí Vašíček, CSc.

Kontakt:

ČVUT v Praze, Fakulta elektrotechnická
katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Zikova 2
166 27 Praha 6

email: vasicek@fel.cvut.cz

tel. 224 353 308 (sekretariát katedry)