

Oponentský posudek disertační práce

Autor práce: Ing. Viktor Majer

Téma práce: Predikce výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren v liberalizované energetice

Zhodnocení významu a aktuálnosti práce pro obor

Téma předložené práce je velmi aktuální z hlediska integrace obnovitelných zdrojů energie do energetických systémů. V tomto případě se jedná o fotovoltaické zdroje, jejichž dodávaný výkon je z mnoha příčin velmi variabilní. Tato skutečnost způsobuje problémy při jejich využívání v elektrizační soustavě a dostatečně přesná predikce výroby elektřiny z těchto zdrojů by k řešení problémů značně přispěla. Cílem práce bylo jednak podat stručný přehled principů fungování liberalizovaného trhu s elektřinou v ČR a hlavním jejím cílem bylo navrhnout prediktor výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren, který může sloužit pro obchodníka s elektřinou i pro jiné subjekty. Na základě obsahu disertační práce mohu konstatovat, že práce je přínosem pro obor elektroenergetika obecně a pro řešení problematiky integrace FV elektráren do elektrizační soustavy zvláště.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění cíle

Práce je rozdělena do 8 kapitol včetně úvodu a závěru. V kapitolách 2 a 3 se autor zabývá problematikou obchodování s elektřinou v liberalizovaném prostředí a rozvojem fotovoltaiky v liberalizovaném trhu s elektřinou v České republice. Stěžejní část práce je pak obsahem kapitol 4 až 7. V kapitole 4 provedl autor analýzu dat, která budou sloužit jako základ pro návrh prediktoru. V páté kapitole autor uvádí a analyzuje metody používané v současnosti pro predikci z nichž některé jsou testovány. Uveden je zde matematický model FV článku spolu s jeho softwarovou implementací a ověřením jeho funkce na reálných datech. Rovněž byla testována neuronová síť s jejímiž výstupy byly porovnány výsledky simulací. Vlastní návrh prediktoru pro jednu FV elektrárnu je předmětem zpracování v kapitole 6. Tento prediktor je koncipován tak, že umožňuje na základě předpovědi dat oblačnosti určit budoucí výrobu elektřiny dané FV elektrárny. Rozšíření prediktoru pro jednu FV elektrárnu na celou Českou republiku pak je náplní kapitoly 7.

Postup řešení, který autor zvolil považuji za správný. Řešení je podloženo potřebnými výpočty a výsledky modelování jsou verifikovány reálnými referenčními hodnotami. Na základě obsahu disertační práce, ze získaných výsledků a návrhů konstatuji, že disertant splnil cíle disertační práce v celém rozsahu.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu jejího předkladatele

Výsledky disertační práce podle mého názoru přispívají k prohloubení dosavadních poznatků z oblasti predikce výkonu FV elektráren. Jedná se o složitou a aktuální problematiku integrace FV zdrojů do elektrizační soustavy. Vlastním přínosem první části práce je komplexní pohled na problematiku současného stavu liberalizované energetiky v ČR, který pak tvoří podklad pro další část práce. Za hlavní přínos práce lze považovat analýzu a řešení obtížného úkolu predikce výkonu FV zdrojů s dostatečnou přesností a především softwarovou realizaci prediktoru fotovoltaické výroby elektřiny pro jednu FVE i pro celou ČR. Navržené algoritmy umožňují na základě předpovědi oblačnosti určit budoucí vyráběné množství FV elektřiny.

Vyjádření k systematicce, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Dle mého názoru autor disertační práce postupoval při řešení obtížného vědeckého úkolu systematicky. Práce je zpracována přehledně a srozumitelně. Má odpovídající formální, grafickou i jazykovou úroveň. Níže je uvedeno několik poznámek ke zpracování.

- Poznámky: není uveden anglický ani německý název práce
je uveden seznam symbolů a zkratk ale nejsou uvedeny jednotky
str. 45,55,68 anglické popisy v grafech
str. 65 – tab. 5.1. bylo by vhodné uvést hodnoty, nejen rozdíl
str. 66 - obr. 5.10. ... článku článku
str. 84 – popis u $DD_{REF}(t)$ – něco chybí v popisu

Vyjádření k publikacím disertanta

Disertant uvádí v přehledu vlastní publikační činnosti celkem 18 prací a příspěvků ve kterých prezentoval výsledky své práce na tuzemských i mezinárodních konferencích zaměřených do oblasti elektroenergetiky a problematiky řešené v disertaci.

Náměty do diskuse při obhajobě disertační práce

- Jak je při konstrukci prediktoru zohledněn pokles účinnosti vlivem stáří FV panelů?
- Jaký vliv na přesnost predikce bude mít skutečnost, že v určité oblasti jsou FV elektrárny s různým úhlem sklonu, s natáčením v jedné ose, v obou osách a s různými typy článků (monokrystaly, polykrystaly a CIGS) ?
- Pro názornost by bylo vhodné při obhajobě uvést příklad aktuální predikce a skutečnou výrobu např. z předchozího týdne před obhajobou.
- Jaké je předpokládané využití a aplikace výsledků disertace?

Závěr

Konstatuji, že posuzovaná disertace Ing. Viktora Majera i jeho dosavadní vědecká činnost odpovídají požadavkům na udělení akademického titulu Ph.D. a proto doporučuji disertační práci k obhajobě.



V Plzni 15.07.2013

prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.

POSUDEK OPONENTA DISERTAČNÍ PRÁCE

Oponent: **doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

Vysoké učení technické v Brně, FEKT, Ústav elektroenergetiky

Autor: **Ing. Viktor Majer**

Název: **„Predikce výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren v liberalizované energetice“**

Předložená disertační práce Ing. Viktora Majera je zaměřena na problematiku analýzy a predikce množství vyrobené elektrické energie z fotovoltaických elektráren.

V úvodní části práce je představeno téma práce a jsou vydefinovány cíle. Následně je rozebrána problematika obchodování s elektřinou v liberalizovaném prostředí včetně základních informací o způsobu obchodování s elektřinou v ČR. V další části je popsán rozvoj fotovoltaiky v ČR. V kapitole 4 se pak autor věnuje analýze dat z vybrané referenční elektrárny a analýze odpovídajících dat o oblačnosti v dané oblasti. Kapitola 5 je pak zaměřena na možnosti predikce výroby elektřiny z FV elektráren. Vlastní jádro práce (kapitoly 6 a 7) je zaměřeno na návrh prediktoru založeného na dostupné předpovědi oblačnosti nejprve pro jednu fotovoltaickou elektrárnu a pak přes jednotlivé oblasti pro celou ČR.

V závěru práce je provedeno zhodnocení dosažených výsledků. Poslední část práce tvoří seznam literatury doplněný o vlastní publikace autora.

Zhodnocení významu disertační práce pro obor

Disertační práce je zaměřena na problematiku předpovědi množství vyrobené elektrické energie z FVE. S ohledem na současnou situaci v ČR, kdy FVE tvoří přes 10% celkového instalovaného výkonu a stochastický průběh výroby komplikuje provozovatelům distribučních soustav a provozovateli přenosové soustavy řízení sítí, považují téma práce za **vysoce aktuální a bezprostředně využitelné v elektroenergetické praxi**.

Vyjádření k postupu řešení problému, použitým metodám a splnění určeného cíle

Autor při řešení práce postupoval standardním způsobem. Nejprve se seznámil s teoretickými pracemi a legislativou v dané oblasti. Následně poznatky aplikoval při návrhu algoritmu predikce pro jednu FVE a poté i při návrhu predikce pro celou ČR. Použitý **postup řešení problému považují za správný. Navržená metoda vykazuje dobré výsledky a jeví se jako využitelná v praxi**.

Hlavním cílem práce definovaným v kapitole 1.2 je provést analýzu fungování liberalizovaného trhu a navrhnout prediktor výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren pro celou ČR.

Cíl práce byl splněn.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a k původnímu konkrétnímu přínosu předkladatele disertační práce

Autor v práci přehledně shrnul nejběžnější metody predikce výroby elektřiny z FV elektráren, provedl pečlivou analýzu výroby elektrické energie z jedné vybrané FVE a následně navrhnul algoritmus pro predikci výroby z FVE na základě meteorologické předpovědi oblačnosti. Pro navržený algoritmus vytvořil potřebné sw nástroje.

Za původní lze považovat navrženou metodiku určení sady denních diagramů pro jasný den a navržený prediktor výroby el. energie pro ČR.

K práci mám následující připomínky:

- v práci se občas vyskytuje text v první os. jednotného čísla,
- práce obsahuje několik překlepů a gramatických chyb,
- v seznamu symbolů a zkratek chybí jednotky u jednotlivých veličin,
- rovnice 2.1 je poněkud zavádějící uvedením „rezervního výkonu“, který v daném pojetí nemá smysl.

Konstatuji, že **práce splnila zadaný cíl a obsahuje původní části** s přínosem pro praxi. Disertační práce je zpracována na **velmi dobré jazykové úrovni s velmi dobrou grafickou úpravou a stylizována formou umožňující pedagogické využití práce** i v nižších stupních studia. Uvedené připomínky jsou formálního charakteru.

V seznamu vlastních publikací je uvedeno 18 záznamů, z toho jedna publikace v časopise, ostatní pak příspěvky na studentských a mezinárodních konferencích. **Jádro disertační práce bylo dostatečně publikováno.** Celkově hodnotím publikační činnost Ing. Majera vztahující se k práci i mimo téma práce jako nadprůměrnou.

Předložená disertační práce dokládá autorovy hluboké teoretické znalosti a schopnost aktivně využívat vědecké metody práce pro konkrétní řešení velmi aktuální technické problematiky. Ze znalosti autorových publikací i z jeho vystoupení na různých seminářích a konferencích konstatuji, že jde o pracovníka s vědeckou erudicí.

Disertační práce plně splňuje požadavky kladené na doktorské disertační práce a proto ji v souladu s §47 zákona č.111/1998 Sb. **d o p o r u č u j i** k obhajobě před komisí pro doktorské disertační práce.

V Brně dne 6.9.2013



podpis oponenta

Oponentský posudek disertační práce

Autor práce: **Ing. Viktor Majer**

Název práce: **Predikce výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren v liberalizované energetice**

Školitel: Doc. Ing. Pavla Hejtmánková, Ph.D.

Recenzent: Ing. František Vybíralík, CSc., EEC

Předložená disertační práce obsahuje 100 stránek textu, obrázků a tabulek. Práce je dobře strukturovaná a má velmi dobrou formální úpravu.

V první části práce autor definoval základní pojmy a termíny, které se týkají obchodování s elektřinou v liberalizovaném prostředí. Popsal model trhu s elektřinou v České republice a charakterizoval jednotlivé účastníky trhu. Podrobně se věnoval typům obchodů na trhu s elektřinou, problematice odchylky a predikci spotřeby elektřiny.

V třetí kapitole se autor věnuje rozvoji fotovoltaické produkce elektřiny v liberalizovaném trhu s elektřinou v České republice. Popisuje souvislosti vedoucí k boomeru výstavby fotovoltaických elektráren v minulých letech, zejména v období let 2008 - 2010.

Ve čtvrté kapitole se autor věnuje predikci výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren. Predikce je založena na historických datech. Autor nejdříve vyhodnocuje data z malé fotovoltaické elektrárny a dále vyhodnocuje souhrnné hodnoty výkonů pro oblasti, které odpovídají působnosti distribučních společností. Podrobně se zabývá daty oblačnosti a časy východu a západu slunce.

V páté kapitole se popisují možnosti predikce výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren. Pro modelování a analýzu časových řad uvádí autor několik základních metod. Podrobně se věnuje využití neuronových sítí pro predikci výroby elektřiny u fotovoltaické elektrárny. Autor vytvořil vlastní matematický model fotovoltaické elektrárny v software MATLAB a provedl jeho testy s reálnými daty.

V šesté kapitole podává autor návrh prediktoru, který je založen na statistickém vyhodnocení historických dat výroby elektřiny z fotovoltaické elektrárny pro dostatečně dlouhé období do minulosti pro jednu fotovoltaickou elektrárnu. Při tvorbě prediktoru stanovuje korekční koeficienty pro jednotlivé třídy oblačnosti. Navržený prediktor byl testován a byly posouzeny chyby predikce.

V sedmé kapitole vytvořil autor prediktor výroby elektřiny ze všech fotovoltaických elektráren v České republice. Při testování prediktoru byla zjištěna střední hodnota chyby predikce, kdy maximální hodnota chyby činila 4 %.

Aktuálnost zadaného tématu

Rozvoj ve využívání obnovitelných zdrojů energie pro výrobu elektřiny vychází z cílů Evropské unie pro rok 2020 a další období. Instalovaný výkon fotovoltaických elektráren v ČR v současné době přesahuje 2 000 a tvoří významný podíl v celkovém instalovaném výkonu zdrojů. Zadané téma je aktuální.

Stanovené cíle práce a jejich splnění

Cílem práce bylo jednak poskytnutí přehledu principů fungování liberalizovaného trhu s elektrickou energií v České republice, jednak návrh prediktoru výroby elektrické energie z fotovoltaických elektráren pro celou Českou republiku. Tyto cíle byly splněny.

Zvolené metody zpracování

Návrh prediktoru je založen na nově navrženém výpočtu sady denních diagramů pro jasnou oblohu pro celý rok a stanovení přepočítávacích koeficientů zohledňující vliv oblačnosti. Pro modelování časových řad uvádí metody, které se v současnosti používají. Jednou z metod zpracování je využití neuronových sítí. Tato metoda je v práci testována.

Nové poznatky, které disertace přinesla

V práci je obsažena analýza činnosti fotovoltaických elektráren společně s analýzou metod, které se týkají predikce výroby elektřiny. Za vlastní přínos práce považuji softwarovou realizaci prediktorů výroby jak pro jednu elektrárnu, tak i pro soubor elektráren v celé České republice spolu s definicí chyb.

Význam práce pro praxi a pro další rozvoj vědy

Práce se zabývá se uplatněním nových výpočetních metod a modelování v praxi. Metodiky pro predikci výroby elektřiny z fotovoltaických elektráren mohou být využity pro plánování provozu elektrizační soustavy.

Otázka k vědecké rozpravě

Lze podle navržené metodiky provádět predikci výroby elektrické energie pro období s podprůměrným slunečním svitem např. pro jarní období? Jsou k dispozici historická data oblačnosti i pro tento stav?

Disertace splňuje podmínky samostatné tvůrčí vědecké práce a obsahuje původní a autorem práce publikované výsledky vědecké práce.

Závěr:

Předloženou disertační práci pana Ing. Viktora Majera doporučuji k obhajobě. Po úspěšném řízení doporučuji udělení titulu Ph.D. v oboru elektroenergetika.

V Poděbradech dne 25. 7. 2013


Ing. František Vybíralík, CSc.