

Posudek disertační práce

Jméno kandidáta:	Ing. Slavomír Entler (Ústav energetiky, Fakulta strojní, České vysoké učení technické v Praze)
Název disertační práce:	Energetické využití jaderné fúze
Studijní doktorský program/obor:	Strojní inženýrství/Energetické stroje a zařízení
Oponent:	Doc. Ing. Petr Eret, Ph.D. (Katedra energetických strojů a zařízení, Fakulta strojní, Západočeská univerzita v Plzni)
Termín odevzdání posudku:	do 20. 7. 2018

Souhrn

Disertační práce pana Ing. Slavomíra Entlera se zabývá fúzní energetikou. Na jadernou fúzi se hledí jako na budoucí klíčový způsob výroby energie a má být udržitelným, spolehlivým a bezpečným řešením pro zajištění globálních energetických potřeb bez škodlivých vlivů na životní prostředí. Tato technologie má nadšené ale i umírněné příznivce a to i v řadách renomovaných vědců zejména v souvislosti s výstavbou prototypového zařízení ITER budovaného ve Francii či absencí dlouhodobě odolných materiálů pro komponenty jaderné zóny. Proto je nutné fúzní energetice věnovat další a hlubší pozornost, provádět sofistikovanější rozborů a odhady a přesvědčovat odbornou komunitu i širokou veřejnost o výhodách či nevýhodách jaderné fúze. Z tohoto pohledu je předkládaná disertační práce aktuální a potřebná.

Disertační práce o rozsahu 136 stran obsahuje 9 kapitol. Stěžejní jsou kapitoly 3 – 5, kde jsou řešeny cíle práce. Práce má tři cíle a je rozdělena do dvou částí. První část je teoretická a zahrnuje dva cíle. Prvním cílem je analýza charakteristických rysů budoucí fúzní energetiky, včetně odhadu ceny vyráběné elektřiny. Druhým cílem je analýza energetické bilance budoucích fúzních elektráren z hlediska recirkulace vysokého elektrického výkonu při ohřevu paliva na vysoké teploty. Druhá část disertační práce je experimentální a jejím cílem, tedy třetím cílem práce, je vyvinutí prototypu radiačně a tepelně odolných kovových Hallových senzorů magnetického pole pro mezinárodní reaktor ITER.

V rámci prvního cíle autor identifikoval charakteristické rysy budoucí fúzní energetiky na základě tří klíčových fyzikálních rysů energetického využití jaderné fúze tj. (i) fúzní palivo z lehkých chemických látek, (ii) vysoká pracovní teplota paliva a (iii) vysoký energetický tok v reaktoru. Bylo ukázáno, že mezi kladné rysy jaderné fúze patří nevyčerpatelné a dostupné zásoby paliva, bezemisní výroba, inherentní jaderná bezpečnost, minimální vliv na životní prostředí. K záporným rysům lze hlavně přiřadit nízkou životnost jaderných komponent či sekundárně aktivovaný radioaktivní odpad. Dále autor dospěl k věrohodným odhadům ekonomických charakteristik fúzních elektráren. Specifika jsou vysoké investiční a provozní náklady a nízké palivové a externí náklady. Při započítání vlivu na životní prostředí se fúzní energetika jeví jako ekonomicky velmi efektivní. Výrobní cena takto vyráběné elektřiny by mohla být druhá nejnižší po elektřině z klasických jaderných elektráren. Jak je uvedeno v práci, validita výsledků se upřesní časem. U druhého cíle autor identifikoval hlavní výkonové toky fúzních elektráren a odvodil analytické rovnice popisující vliv ohřevu paliva na čistou účinnost výroby elektrické energie. Pokles čisté účinnosti vlivem ztrát recirkulace výkonu byl úspěšně verifikován podle referenčních modelů fúzní elektrárny DEMO. U třetího cíle se autor podílel na práci jako člen dvoučlenné tuzemské vývojové skupiny v rámci čtyřčlenného mezinárodního týmu a soustředil se především na laboratorní a elektrotechnické aktivity, včetně geometrického návrhu

miniaturizovaných Hallových senzorů. Úspěchem této aktivity schválení upřesněného prototypu odbornou komisí ITER Organization a zahájení výroby senzorů.

Během celé práce kandidát odkazuje na autorské/spoluautorské publikace či vědecké zprávy. Tato databáze je obsáhlá a čítá 7 impaktovaných článků jako první nebo korespondenční autor, 11 impaktovaných článků jako spoluautor, 18 recenzovaných článků jako první autor, 10 popularizačních článků, 9 vědeckých zpráv a 2 monografie. Jeho publikace mají již také velmi dobrou odezvu. V abstraktové a citační databázi Scopus lze od roku 2015 k datu 24. 5. 2018 najít 40 celkových citací (27 bez autocitací), což svědčí o výrazné produktivitě a kvalitě vědecko-výzkumné práce pana Ing. Slavomíra Entlera.

Otázky

- str. 25, tab. 1.1: Tabulka uvádí srovnání základních parametrů konceptů DEMO1 a DEMO2 z hlediska výkonu či chlazení. Budou zde nějaké zásadní rozdíly v dimenzích reaktoru tj. rozměry cívek toroidálního magnetického pole apod.?
- str. 74, obr. 4.7: Vykreslená čistá účinnost referenčních modelů DEMO1 a DEMO2 je přibližně 16 % a 23 %. Dle tab 1.1 na str. 25 je čistá tepelná účinnost elektráren DEMO1 a DEMO2 určená jako čistý elektrický výkon k tepelnému výkonu reaktoru tj. 20,3 % a 23 %. Proč je takový rozdíl u DEMO1?
- str. 75, odst. 4.10, řádek 4: Autor udává, že při validaci výpočtu čisté účinnosti modelů elektráren DEMO1 a DEMO2 se zjištěné účinnosti od detailního modelu liší o méně než 0,5 %. Avšak příslušná tabulka 4.1 na str. 75 ukazuje chybu pouze do 0,1 %. Prosím vysvětlit.
- str. 103, odst. 5.9: Při navařování Hallových senzorů k vakuové nádobě budou vznikat vysoké teploty v místě svaru a může tak dojít k poškození samotných senzorů. Je toto dostatečně ošetřeno či odzkoušeno?

Celkové hodnocení

Práce je napsána pečlivě, srozumitelně a provedena ve vysoké kvalitě. Doktorand se výtečně orientuje v současném stavu řešené problematiky a prokazuje hluboké znalosti v oboru. K dosažení stanovených cílů aplikoval vhodné metody. Práce má značný teoretický i praktický přínos. Prolnutí těchto sfér poukazuje na všestrannost autora, což není u kandidátů samozřejmostí. Provedená teoretická analýza neodhalila žádný fundamentální problém, který by bránil integraci jaderné fúze do energetiky, a pobízí k dalšímu výzkumu k dosažení konkurenceschopnosti fúzních elektráren. Praktické úsilí autora bylo zdárně oceněno zahájením výroby senzorů.

Výsledky disertační práce pana Ing. Slavomíra Entlera jsou originální a nesporně užitečné pro obor. Byly předloženy širší vědecké obci k posouzení a přijaty ve formě publikací v prestižních impaktovaných časopisech. Autor prokazuje excelentní vědecko-výzkumné schopnosti a jistě je bude i nadále rozvíjet.

Závěr

Práce plně vyhovuje požadavkům na udělení akademické hodnosti Ph.D. a nepochybně doporučuji její přijetí k obhajobě.

V Plzni dne 04. 07. 2018

Petr Eret