

Oponentní posudek k doktorské disertační práci Ing. Slavomíra Entlera: „Energetické využití jaderné fúze“

Vypracoval: doc. RNDr. Jan Mlynář, Ph.D., Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i.
Za Slovankou 3, 182 00 Praha 8

Doktorská disertační práce Ing. Slavomíra Entlera je zaměřena na technologické aspekty vývoje termojaderné energetiky, a to konkrétně – vedle řešeršní části – na odvození rovnic pro vliv ohřevu na čistou účinnost výroby elektrické energie, a na vývoj prototypu radiačně a teplotně odolných Halloových senzorů pro fúzní energetické reaktory včetně ITER. Obě tyto tvůrčí části jsou vysoce relevantní z hlediska inženýrského vývoje termojaderných reaktorů a i když jde tématicky o dost odlišné pohledy na problematiku fúze, práce nepůsobí nekonzistentním dojmem. Naopak jde z hlediska národní fúzní komunity o poměrně jedinečný inženýrský příspěvek k jinak převážně fyzikálnímu pojetí výzkumu termojaderné fúze v České republice. Inženýrské aspekty výzkumu termojaderné fúze jsou přitom z hlediska výstavby ITER snad ještě významnější než aspekty fyzikální. Práce S. Entlera proto významným způsobem vyplňuje určitou mezeru, a mj. nabízí našim studentům praktický příklad technologického R&D v oboru.

Práce je přehledně řazena, obsahuje podrobné přehledy použitých zkratk a označení a celkem devět kapitol. Po úvodní kapitole s aktuálním výhledem termojaderné energetiky jsou v druhé kapitole uvedeny cíle disertační práce a metoda jejich dosažení. Ve třetí kapitole se autor poměrně podrobně – na třiceti stranách – věnuje rysům fúzní energetiky, a to zejména z hlediska palivového cyklu, z hlediska materiálové náročnosti a z hlediska vlivu na životní prostředí. Analýza energetické bilance ve čtvrté kapitole již nabízí vlastní kvantitativní závěry ohledně recirkulace výkonu ve fúzní elektrárně. Tato kapitola přináší nový pohled na problematiku, který je zejména přínosný pro fyziky zvyklé na provádění otevřené energetické bilance samotného fúzního plazmatu. Pátá kapitola, věnovaná experimentální činnosti studenta, je nejrozsáhlejší (35 stran) a podrobně popisuje účel, metodiku měření a analýzu dat získaných při vývoji bismutových detektorů. Zde je třeba zdůraznit, že vývoj Halloových detektorů má opět specifický význam pro českou fúzní komunitu jednak tím, že nám otvírá spolupráci na budoucím provozu tokamaku ITER, a jednak dává konkrétní příklad toho, jak nezvykle pečlivý a detailní musí být vývoj každé komponenty instalované na ITER. Šestá kapitola stručně shrnuje výsledky, sedmá přínos práce. V osmé kapitole je uveden poměrně podrobný seznam referencí s překvapivým počtem vlastních publikací. V poslední, deváté kapitole se nacházejí dvě technické přílohy.

Cíle, stanovené v disertační práci, byly bezpochyby pečlivě splněny. Úroveň rozboru současného stavu je vysoká, v českém prostředí svým charakterem a obsahem jedinečná. Těžiště teoretického přínosu disertační části je ve čtvrté kapitole, kde ing. Slavomír Entler provedl původní výpočty ohledně inženýrského vyrovnání, recirkulace výkonu ve fúzní elektrárně a čisté účinnosti elektrárny. Praktický přínos disertační práce je shrnut v páté kapitole, kde autor podrobně popisuje svůj příspěvek k přípravě drobného, ale důležitého diagnostického systému pro ITER, bismutových Halloových senzorů k měření magnetického pole mimo komoru tokamaku. Použité metody řešení navazují a rozvíjejí metody dlouhodobě

aplikované na tokamaku COMPASS, lze je tedy považovat bezesporu za vhodné. Metody byly aplikovány na vývoj Hallových detektorů podle velmi přísných podmínek mezinárodního projektu ITER, který podléhá jaderné licenci. Lze říci, že metody se podařilo aplikovat skutečně užitečným způsobem, který v budoucnu udrží pro Ústav fyziky plazmatu AV ČR přímé propojení s pracovištěm ITER. Doktorand prokázal odpovídající znalosti v oboru, dokonce jej již i sám v letním semestru vyučuje v rámci předmětu „Technika termojaderných zařízení“.

Formální úroveň práce je více než dostatečná, je psána srozumitelně a zároveň s vysokou odbornou náročností a zaujetím. Obrázky jsou zvoleny v rozumném množství a jsou dostatečně názorné. Jen výjimečně ruší drobné grafické nebo faktické nedostatky, například občas chybné dělení řádky. V druhé kapitole mi chybělo vysvětlení, jaká je významná výhoda fúzních neutronů z hlediska chlazení reaktoru. Na straně 34 není uváženo, že v době sucha může mít fúzní elektrárna obtíže s chlazením. Na straně 55 je chybně uvedena EFDA jako agentura, přitom šlo pouze o dohodu. Strana 62, breakeven je překvapivě překládán jako zlom, zpravidla v češtině používáme termín vyrovnání. Na straně 63 jsou nejasnosti fyzikálního charakteru, proto v rámci diskuse prosím studenta o vysvětlení, proč ve vztahu 4.5 nevystupuje Boltzmannova konstanta, jak vychází rozměrová zkouška a kde se ve vztahu 4.10 objevil faktor 10. Dále prosím o vysvětlení, proč se Hallovy senzory instalují pouze ve dvou složkách (tangenciální a normálové) a neměří se radiální složka magnetického pole. Dle obrázku 5.1 to navíc vypadá, že na různých toroidálních úhlech nebudou sensorové jednotky ve stejných úrovních poloidálního úhlu a tedy nebude možné přímé srovnání signálů. Je to pravda a pokud ano, proč jsou instalovány s posunem? U vztahů (5.1) a (5.2) by byl výrazně vhodnější vektorový zápis, ostatně se pak uvádí ve složitější podobě u dalších vztahů. Na straně 91 je chybně zkratka FzÚ, chybí adresa společného pracoviště v Praze a kandidáta také prosím o srovnání laboratorních možností v UK a společného pracoviště v Praze.

Závěrem lze říci, že obecně mám jako oponent jen méně významné připomínky, úroveň předložené disertační práce je vysoká a bezpochyby obsahuje hned několik nových, původních výsledků. Během obhajoby prosím o zodpovězení výše uvedených otázek. Práci rozhodně doporučuji k obhajobě.

V Praze dne 25.6.2018

Jan Mlynář