

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Problémy řízené termonukleární fúze
Jméno autora:	Pavla Bendářová
Typ práce:	bakalářská
Fakulta/ústav:	Fakulta elektrotechnická (FEL)
Katedra/ústav:	Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Oponent práce:	Ing. Slavomír Entler, PhD.
Pracoviště oponenta práce:	Ústav fyziky plazmatu AV ČR

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	náročnější
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
Zadané téma je obecné a vede k rešeršnímu charakteru práce. Rešerše je ale znesnadněna intenzivním vývojem v oblasti jaderné fúze a souvisejícím množstvím zdrojů s neaktuálními informacemi.	

Splnění zadání	splněno s menšími výhradami
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
Zadání bylo splněno s výhradou nižší odborné úrovně výsledků práce. Přes velký rozsah práce (65 stran textu) je vlastní téma práce, tj. problémy řízené termonukleární fúze, řešeno na pouhých 3 stranách. Ve stručném popisu problémů jsou pak nedostatky, popsané v hodnocení odborné úrovně práce. Více prostoru studentka věnovala ekonomické analýze, avšak výsledky analýzy nezhodnotila z hlediska tématu práce.	

Zvolený postup řešení	 vynikající
<i>Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.</i>	
Zvolená metoda rešerše odpovídá zadání práce. Metoda LCOE v ekonomické analýze je optimální.	

Odborná úroveň	C - dobře
<i>Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.</i>	
<p>Studentka zpracovala velké množství odborné literatury a je zřejmé, že práci věnovala mnoho času. Bohužel jsou některé prezentované informace zastaralé a zavádějící. Oblast jaderné fúze prochází rychlým vývojem, a proto řada zdrojů obsahuje neplatné nebo neúplné informace. Na základě neúplných informací pak studentka vyvodila nesprávné závěry. Nedostatky má především kapitola 5 – Problémy řízené termojaderné fúze, která naplňuje stejnojmenné téma práce:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) V úvodu kapitoly studentka odděluje technologické problémy od problému nestabilit plazmatu a výčet technologických problémů označuje za výčet „nejdůležitějších problémů“. To není správný postup, protože nestability plazmatu buď určují kritické zatížení fúzních reaktorů (MCF), anebo přímo brání dosažení řízené termojaderné reakce s relevantním energetickým ziskem (ICF, MIF). 2) Nesprávnému postupu pak odpovídá chybný výčet jednotlivých problémů: <ul style="list-style-type: none"> • V případě MCF je nejdůležitějším problémem dosažení provozních scénářů stabilního plazmatu, protože nestability plazmatu mohou způsobovat tepelné toky v řádu stovek MW/m², které jsou za hranicemi technologických možností. Tento problém ve výčtu chybí a měl by být na prvním místě. • V případě ICF je nejdůležitějším problémem, že se tímto způsobem doposud nepodařilo realizovat řízenou termojadernou fúzi s relevantním energetickým ziskem. Na rozdíl od MCF proto není doposud známá konstrukce energetických reaktorů na bázi ICF a hlavní technologické problémy nelze finálně určit. Problém ve výčtu chybí a měl by být na prvním místě, protože relativizuje následující seznam. 	

Představme si například situaci, že se ukáže, že nelze lasery v principu dosáhnout dostatečně rovnoměrného stlačení terčů a bude nutné pro ICF použít jiný mechanismus stlačení. Pak je ovšem zcela irelevantní uvedený problém účinnosti a opakovatelnosti laserů. Technologické problémy se odvinou od toho, za jakých podmínek a jakým způsobem ICF umožní řízenou reakci provést. A to v současnosti nevíme.

- V případě dalších fúzí včetně pinčové platí totéž jako u ICF. Nejdůležitějším problémem je, že se doposud tímto způsobem nepodařilo realizovat řízenou termojadernou fúzi s relevantním energetickým ziskem. Proto nejsou známy podmínky, které bude daný způsob vytvářet, a hlavní technologické problémy mohou být zcela odlišné.

- 3) Ve výčtu MCF jsou chybně uvedeny již dávno vyřešené problémy: chlazení supravodičů a ohřev plazmatu. Chyba je zřejmá i z řešeršovaného aktuálního stavu – již několik desítek let přece pracují supravodivé tokamaky, stejně jako již několik desítek let většina tokamaků využívá ohřev plazmatu svazky neutrálních částic.
- 4) V případě ICF chybí kritický problém destrukce konstrukce a materiálů reaktoru a širokého okolí intenzivním tokem vysoce energetických alfa částic (při přímém zapálení) nebo extrémně intenzivním rentgenovým zářením (při nepřímém zapálení), obojí o výkonu v řádu jednotek a desítek GW/m² s frekvencí 10 Hz. Tento problém přitom lze logicky usoudit z rozdílu mezi MCF a ICF, kdy při shodném kontinuálním výkonu reaktoru musí být u ICF uvolněná energie stlačena do několika krátkých výbojů za sekundu o délce několika mikrosekund každý. Materiály budou v ICF zatíženy neporovnatelně více (>1000x) než v MCF a přesto ve výčtu tento problém chybí. Pro pinčovou fúzi platí totéž.
- 5) Mezi problémy ICF a pinčové fúze chybí problematika tritia, která je přirozeně stejná jako u MCF.

U MCF jsou ve výčtu uvedeny již dávno vyřešené problémy, zatímco u ostatních mechanismů hlavní problémy chybí. Výčet problému je tak neobjektivní a zkreslený v neprospěch MCF. Tím je významně snížen přínos práce, protože závěry neodrážejí skutečnost. MCF již před více než dvaceti lety umožnila dosáhnout energeticky využitelné řízené termojaderné fúze, zatímco ostatní metody to doposud nedokázaly a není jisté, zda to vůbec někdy dokáží.

Ekonomická analýza je zpracována dobře pouze s drobnými nepřesnostmi. Za závadu lze ale považovat, že ze závěru není zřejmé hodnocení z hlediska tématu práce: zda bude ekonomika pro jadernou fúzi problém či ne.

Chybné je také závěrečné hodnocení v posledním odstavci „*V současnosti však stále není zcela jisté, na jakém principu bude fúzní elektrárna fungovat.*“. Toto tvrzení je v rozporu s realitou a relevantními zdroji. V současnosti je zcela jisté, že první elektrárny budou pracovat na principu MCF. Příprava elektráren probíhá na bázi vědeckých výsledků a výzkum MCF je o generaci a desítky let výzkumu před ostatními způsoby.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

A - výborně

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Práce je jazykově a formálně na vysoké úrovni, čte se velmi dobře a je dobře srozumitelná.

Výběr zdrojů, korektnost citací

B - velmi dobře

Vyjádřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Studentka využila při zpracování práce mnoho zdrojů. Studentka ale nezpracovala všechny relevantní zdroje, především nevyužila již několik let nejdůležitější a hlavní oficiální zdroj popisující současné problémy termojaderné fúze, kterým je *European Research Roadmap to the Realisation of Fusion Energy*, volně dostupný na <https://www.eurofusion.org/eurofusion/roadmap/>. Tento zdroj by umožnil korekci prezentovaných problémů MCF.

Z formálního hlediska jsou chybně použity citace v kapitole 5, která je hlavním výsledkem práce. Citace jsou zde uvedeny jako balíček a není proto možné dohledat, odkud studentka jednotlivé „problémy“ získala.

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Studentka zpracovala velké množství literatury a práce je díky tomu nadprůměrně obsáhlá. Důsledkem je velmi vysoký podíl rešeršní složky, která tvoří i část praktické části práce. Současně se studentka nedostatečně soustředila na vlastní předmět práce. Pouhé tři stránky věnované vlastnímu předmětu práce neposkytují dostatek místa pro relevantní rozbor a v kombinaci s nedostatečným rozlišením věrohodných a nevěrohodných zdrojů vznikl neuspokojivý výsledek. Je možné, že studentka pouze podlela neobjektivnímu výkladu výhod ICF motivovanému získáním finančních zdrojů, nikoliv vědeckými výsledky.

Chybně závěry práce jsou ale vyváženy podrobným zpracováním široké palety zdrojů, praktickou částí práce a zpracováním práce na vysoké jazykové a grafické úrovni.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **B - velmi dobře**.

Práce je z hlediska rozsahu, praktické části a jazykového a grafického zpracování na výborné úrovni. Chybné závěry však snižují odbornou úroveň práce a celkové hodnocení je proto velmi dobré.

Otázky pro studenta:

1. Může jaderné fúze probíhat i za pokojové teploty?
2. Proč musí být splněno Lawsonovo kritérium?
3. Jakých je 8 hlavních priorit současného evropského výzkumu jaderné fúze?
4. Jaká je role a význam IFMIF ?
5. Kdy má být spuštěn prototyp první fúzní elektrárny DEMO podle Fusion Roadmap?
6. Kdy má být spuštěn prototyp první fúzní elektrárny na bázi ICF?

Datum: 19.5.2019

Podpis:

