



## **Oponentský posudek disertační práce**

Název práce: Plasma diagnostics using neutral lithium beam on the COMPASS tokamak  
Obor: 4f-2 Fyzika plazmatu a ionizovaných prostředí  
Autor práce: Ing. Pavel Háček (MFF UK v Praze)  
Vedoucí práce: RNDr. Jan Stöckel, CSc. (ÚFP AV ČR, v.v.i.)

Disertační práce Ing. Pavla Háčka se zaměřuje na diagnostiku plazmatu tokamaků využívající neutralizovaný lithiový svazek. Tato problematika je vysoce aktuální jak s ohledem na význam tokamaků pro možné využití řízené termojaderné syntézy v energetice, tak vzhledem k novým vědeckým poznatkům, které může svazková diagnostika na zařízení COMPASS poskytnout o fyzikálních procesech v tzv. ITER-relevantním plazmatu.

Disertační práce o rozsahu cca 100 stránek (bez seznamu literatury, příložených článků, apod.) se skládá ze 7 kapitol včetně úvodu a závěru. V rámci velice stručného úvodu autor uvádí hlavní obsah a cíle výzkumu uskutečněného v rámci své disertační práce. Druhá kapitola se už rovnou věnuje popisu tokamaku COMPASS a na něm používaným diagnostickým metodám. Z diagnostických metod byl autor zodpovědný za vývoj a využití svazku lithiových atomů, což je obsahem třetí kapitoly. Lithiový svazek byl používán ve dvou principiálně odlišných metodách. První metoda, tzv. „Beam Emission Spectroscopy“, je popsána v čtvrté kapitole a umožňuje rekonstruovat průběh elektronové hustoty. Výsledky získané touto metodou nalezneme v kapitole páté a v článku impaktovaného časopisu *Fusion Engineering and Design*, u něhož byl Ing. Háček korespondujícím autorem. Největší pozornost autor věnuje kapitole šesté. Šestá kapitola se zaměřuje na druhou metodu využití lithiového svazku, tzv. „Atomic Beam Probe“ (ABP) diagnostiku. V této kapitole je patrný dominantní podíl autora na návrhu, vývoji a testování této diagnostické metody, která by v budoucnu mohla umožnit rychlé měření hustoty elektrického proudu v tokamaku COMPASS. Obsah této kapitoly částečně pokrývá článek, který byl autorem odeslán do časopisu *Review of Scientific Instruments* v červnu 2018. Poslední sedmou kapitolou je čtyřstránkový závěr, který tvoří shrnutí disertační práce a přínosu autora.

Zvolený postup řešení a metody vyhovují podmínkám, které jsou kladeny na disertační práci. Autor práce se snažil využít různých možností svazkové diagnostiky k získání informací o okrajové oblasti plazmatu. Ve srovnání s jinými diagnostickými metodami autor především staví na relativně dobrém časovém rozlišení, které dosáhlo až 2  $\mu$ s a které Pavel Háček se svým týmem vhodně využil např. pro studium fluktuací hustot během tzv. ELM instability. Na práci oceňuji poměrně velké množství schopností a dovedností, které autor prokázal v rámci svého výzkumu. Ing. P. Háček se podílel na vývoji diagnostických metod a přístrojů od samotného začátku až po interpretaci naměřených dat. Dostatečně tak ukázal své technické a fyzikální znalosti, experimentální dovednosti, nápaditost, schopnost zpracovat a prezentovat data včetně využití moderních numerických metod. Bezesporná je i jeho schopnost pracovat v širším vědeckém kolektivu s mezinárodní účastí.

Celkově lze říci, že disertační práce obsahuje dostatečné množství původních experimentálních výsledků, které autor získal v rámci společného výzkumu na zařízení



COMPASS. Shrnutí výsledků a autorův přínos lze najít v závěru disertační práce. Za zmínku stojí např. analýza fluktuací hustoty turbulentních filamentárních struktur v tzv. Scrape-Off-Layer či celkové zprovoznění komplexní ABP diagnostiky. Disertační práce je zaměřená experimentálně. Numerické simulace se týkají především návrhu diagnostických přístrojů či zpracování experimentálních výsledků. Z obsahového hlediska jsem ale postrádal podrobnější diskuzi naměřených dat s ohledem na konkrétní fyzikální závěry. Osobně mi také chybí pečlivěji zpracovaný úvod, v kterém by byla systematictěji podána studovaná problematika a prezentován aktuální stav výzkumu ve světě. Dvoustránkový úvod, po kterém hned začíná popis tokamaku COMPASS, nesvědčí o autorově snaze prezentovat širší přehled a chápaní souvislostí, které po 10 letech pohybu v dané problematice určitě získal.

Práce byla napsaná v anglickém jazyce, což zvyšuje její dostupnost a užitek. I přes některé jazykové nedostatky je práce dobře srozumitelná a čitelná. Autor se v práci nicméně úplně nevyvaroval gramatických chyb (např. ve shodě přísudku s podmětem: „measurement allow“ na str. 9, „levels seems to“ na str. 47), „čechismům“ („on Figure“ na str. 55, „from experiences“), chybějícím členům a překlepům (60 kV místo 60 kA na str. 76).

Po obsahové stránce jsem v práci objevil pouze několik chyb a nepřesností. Za zmínku stojí např.:

1. Aby byl korektně zahrnut transport lithiového svazku ve vzorci 4.3 na str. 23, mělo by se již v rychlostní rovnici 4.2 vycházet z rovnice kontinuity pro populaci  $N_i$ .
2. Z formálního hlediska lze vytknout nevhodný zápis intervalů naměřených veličin v prvním odstavci na str. 25 či špatný zápis výsledku s nejistotami na str. 72.
3. Na str. 26 není vysvětlen vzorec 4.8.
4. Chybí zdůvodnění poklesu reálného signálu mezi kanály 10 a 16 v obr. 4.13b na str. 36. Na následujícím grafu 4.14b zase není vysvětlena veličina na ose  $x$ .
5. V kapitole 5.3 se při detekci lithiové spektrální čáry diskutuje poměr signálu ku šumu. Není ale jasné, zda tento poměr zahrnuje také fluktuaci intenzity samotného lithiového svazku.

V rámci obhajoby disertační práce bych se rád zeptal na následující otázky:

1. Disertační práce, především čtvrtá kapitola, přebírá poměrně dost informací a obrázků z diplomové práce Ing. Jaroslava Krbce:

[https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/FTTF/DP\\_Jaroslav\\_Krbec.pdf](https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/FTTF/DP_Jaroslav_Krbec.pdf)

Autor také vložil mezi přílohy disertační práce publikaci, kterou J. Krbec odeslal v červnu do *Review of Scientific Instruments* a která se týká Beam Emission Spectroscopy. Proto je na místě otázka, jaký je podíl a přínos jednotlivých autorů na výsledcích publikovaných v článkách a v závěrečných pracích?

2. Zatímco metoda „Beam Emission Spectroscopy“ umožnila na COMPASSu získat více fyzikálních poznatků o chování plazmatu v okrajových vrstvách (rychlé změny hustoty během ELM nestabilit v H-módu, poloidální rychlost plazmatu, apod.), v práci jsem nenašel žádný nový poznatek získaný metodou „Atomic Beam Probe“. Na str. 95 je možné najít časový průběh toroidálního posunu svazku na ABP detektoru. Bude ovšem možné získat jednoznačné informace o fluktuaci proudové hustoty na základě těchto dat? Dále bych se zeptal, zda skutečně



nedochází k výraznému toroidálnímu posunu svazku během ELM okrajové nestability v H-módu u výstřelu č. 17176 (obr. 6.28b na str. 95)? Na str. 93 autor píše, že ve vzdálenosti detektoru 3,5 cm od tzv. „separatix“, je šum detektoru výrazně větší než bylo předpokládáno. Jsou nějaké interpretace tohoto nárůstu a bude možné tento šum v dalších experimentech potlačit?

3. Přibližně třetina práce se zabývá metodou „Atomic Beam Probe“. Jak sám autor píše, jednalo se z velké části o jeho samostatnou činnost. Výsledky této činnosti byly odeslány do *Review of Scientific Instruments* v červnu 2018. Jaký je aktuální stav tohoto recenzního řízení?

Předložená disertační práce byla zřetelně vypracována v rámci rozsáhlého výzkumu na zařízení COMPASS. Podstatně přispívá k vybudování „infrastruktury“ diagnostických přístrojů a metod umožňující výzkum komplexních fyzikálních jevů, které se odehrávají v tokamacích. Vzhledem k dosažení H-módu a podobné geometrii s tokamakem ITER mají výsledky ze zařízení COMPASS významný dopad na další vědeckotechnologický výzkum a využití řízené termojaderné syntézy v energetice.

Závěrem konstatuji, že disertační práce i přes veškeré výhrady dostatečně prokazuje schopnost autora k samostatné vědecké činnosti a obsahuje dostatek původních vědeckých výsledků. **Disertační práci proto doporučuji k obhajobě.**

V Praze, dne 7. srpna 2018

doc. Ing. Daniel Klír, Ph.D.  
FEL ČVUT v Praze