

Sondová měření na tokamaku GOLEM

L. Hejna¹, J. Petrášek², D. Pluhař³, O. Švihnos²

SPŠSE ČB¹, Gymnázium Děčín², Gymnázium Nový Bydžov³

david.pluhar@seznam.cz

Abstrakt:

Náš projekt se zabýval sondovými měřeními na tokamaku GOLEM. S kombinovanou sondou jsme měřili ve vzdálenostech od 100 do 42 mm od středu komory. Ball-pen sondou jsme změřili profil potenciálu plazmatu a zjistili jsme, že plazma se během výboje pohybuje nahoru. Tunelovou sondou jsme změřili Machovo číslo ve vzdálenosti 85 mm od středu komory a došli jsme k závěru, že plazma teče směrem k limiteru.

1. Úvod

V dnešní době se při výrobě elektrické energie potýkáme s mnohými problémy. Bez elektrické energie bychom už dnes nemohli být, protože ji využíváme každodenně. Energii pobíráme z mnoha zdrojů, které však nejsou ideální. Například v uhelných elektrárnách se spaluje velké množství černého či hnědého uhlí, které do ovzduší vypouští oxid uhličitý, oxid siřičitý a popílek. Zároveň těžba uhlí v povrchových a hlubinných dolech je nebezpečná pro horníky. Tyto elektrárny spotřebovávají velké množství uhlí, jehož doprava je náročná a neekologická. Proto hledáme nové zdroje energie, které budou ekologičtější, levnější a dostupné pro všechny země.

Termojaderná fúze je energetický zdroj budoucnosti, na který se snaží přijít vědci po celém světě. Proto bychom chtěli investovat do tohoto výzkumu, aby bylo možné zkonstruovat fúzní elektrárny. Palivem v těchto elektrárnách bude deuterium-tritiová směs za teploty 150 milionů kelvinů. A tedy bude ve stavu plazmatu, extrémně horké látky tvořené ionty a elektrony.

Největší výzva fúzní elektrárny je udržet plazma. Jeden z typů fúzního reaktoru se nazývá tokamak. Plazma v tokamaku je uchováváno ve vakuové komoře, a ta má tvar prstence neboli toru. Tuto komoru obepínají magnetické cívky, kterým se říká toroidální cívky. Velikost pole těchto cívek v tokamaku dosahuje až několik tesla. Nabité částice se mohou volně pohybovat pouze ve směru magnetického pole, nikoli napříč. To znamená, že plazma může proudit pouze podél magnetického pole, a nemůže utéct ze středu komory.

Fyzika plazmatu v tokamaku je velice komplikovaná a stále probíhá intenzivní výzkum, kde se jí snažíme porozumět. Na tokamaku GOLEM jsme zkoumali vlastnosti okrajového plazmatu pomocí sond.

Z měření potenciálu plazmatu pomocí pokročilé elektrické sondy jsme ukázali, že plazma se během výboje pohybuje nahoru, a s pomocí tunelové sondy jsme zjistili, že plazma v okrajovém plazmatu teče v toroidálním směru k nejbližší stěně.

2. Měření

Měřili jsme potenciál a plovoucí napětí okrajových částí plazmatu. Hodnoty jsme získali pomocí kombinované sondy (vizte obrázek), která zahrnuje Langmuirovu, ball-pen a dvojitou tunelovou sondu. Sonda vstupuje do komory ze spodního portu a lze jí manipulovat ve vertikálním směru.

Langmuirova sonda je vodič, zavedený do plazmatu. Měření se provádí zavedením napětí mezi vodičem a zemí. Chtěli jsme měřit za plovoucího napětí, kdy má napětí na vodiči nulovou hodnotu. Sonda, s níž jsme měřili je však poškozená a neudává správné hodnoty.



Obrázek 1 Kombinovaná sonda

Ball-pen sonda obsahuje kónický hrot, zapuštěný ve válci z izolantu. Dokáže z magnetizovaného plazmatu vyčíst hodnotu potenciálu plazmatu. [Adámek, 2014]

Tunelová sonda, přesněji dvojitá tunelová sonda, je tvořena čtyřmi elektrodami, dvěma tunely a dvěma kryty. Tunel a kryt prakticky tvoří válec s jednou otevřenou podstavou. Sondy jsou k sobě připojeny kryty a otevřené podstavy směřují po (a proti) trajektoriích toroidního pohybu. Bývají pod záporným napětím, většinou -100 V a měří Machovo číslo. [Gunn, 2002] My jsme měřili na -76 V.

Potenciál plazmatu jsme měřili na ball-pen sondě a Machovo číslo na dvojitě tunelové sondě.

3. Zpracování dat

Námi naměřené hodnoty jsme zpracovávali v jazyku Python. Zdrojový kód je v příloze.

Výstřel	30885	30886	30887	30888	30890	30891	30892	30893
r (mm)	100	95	90	85	80	75	70	65

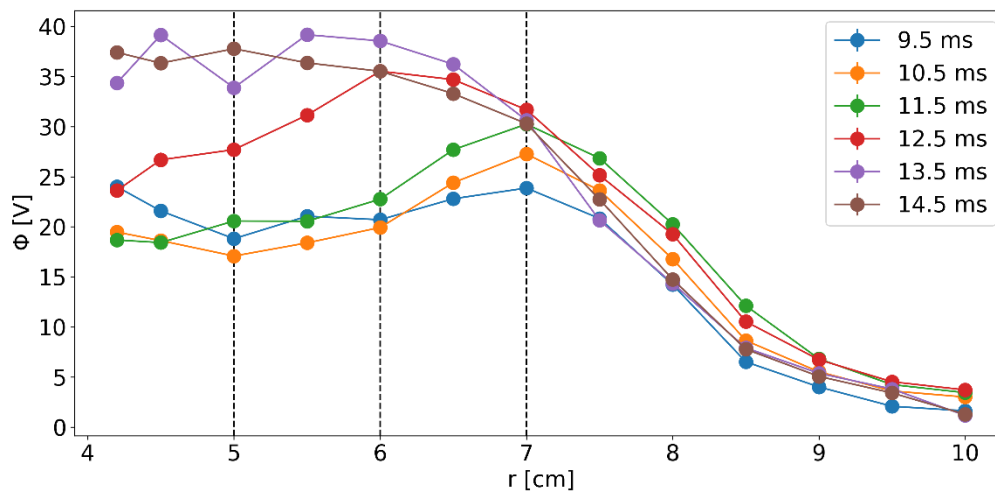
Výstřel	30894	30895	30896	30897	30898
r (mm)	60	55	50	45	42

r – vzdálenost od středu komory

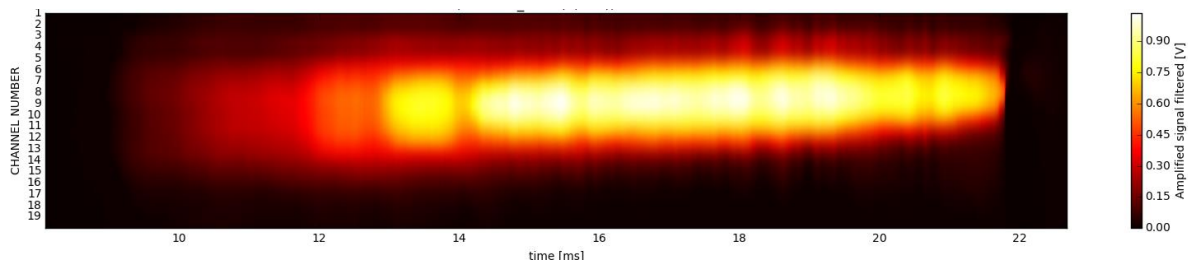
Provedli jsme 81 výstřelů na tokamaku GOLEM, mezi kterými jsme sondou pohybovali. Série výstřelů, kde jsme měřili potenciál plazmatu, je uvedena v tabulce výše.

Machovo číslo jsme měřili ve výstřelu číslo 30971.

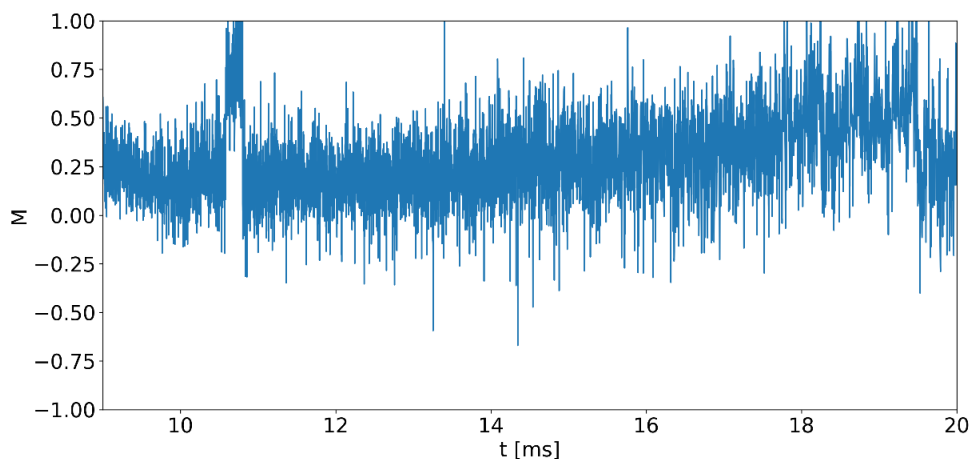
4. Výsledky



Profil potenciálu plazmatu je v obrázku nahoře. Obrázek ukazuje, jak se profil vyvíjí v závislosti na čase. Maximum se pohybuje směrem dovnitř do plazmatu. Tento výsledek je v souladu s bolometrickými měřeními, jejíž záznam je na následujícím obrázku.



Časový vývoj Machova čísla měřeného tunelovou sondou na pozici 85 mm ukazuje následující obrázek. Machovo číslo je kladné a dosahuje přibližně hodnoty 0,25 – 0,5. To znamená, že plazma teče směrem k limiteru přibližně čtvrtinou až polovinou iontozvukové rychlosti.



5. Shrnutí

Seznámili jsme se s tokamakem GOLEM, následně jsme prováděli měření pomocí kombinované sondy, jíž jsme změřili Machovo číslo a potenciál plazmatu. Potvrdili jsme bolometrická měření, plazma se během výboje vskutku pohybuje směrem nahoru. Ve stínu limiteru plazma teče směrem k nejbližšímu limiteru. Tím jsme udělali další krok k pochopení fyziky okrajového plazmatu. Fúzní reaktor je opět o něco blíže.

V dnešní době energetický průmysl ruší naši planetu. Ať už je to ničení krajiny těžbou, znečišťování ovzduší (oxid uhličitý, siřičitý, popílek), nákladné uložení jaderného odpadu, či počet úmrtí s těmito procesy spojený. Jako budoucnost je zde termojaderná fúzní elektrárna, která jako palivo používá pouze izotopy vodíku – deuterium a tritium, které jsou snadné k získání. A odpadní látky jsou snadné k likvidaci a dají se následně využít.

6. Poděkování

Rádi bychom poděkovali organizátorům TV@J a FJFI ČVUT, kteří nám umožnili na tomto projektu pracovat. Dále děkujeme vedoucímu projektu Ing. Kateřině Jirákové a odborným konzultantům Ing. Vojtěchovi Svobodovi, CSc. a RNDr. Janovi Stöckelovi, CSc.

7. Reference

http://golem.fjfi.cvut.cz/roperation/XXYYRemoteShots/Level_I/index.php

<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki>

<http://ocs.ciemat.es/EPS2019ABS/pdf/P1.1068.pdf>

<http://www.ipp.cas.cz/>

8. Přílohy

http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/Diagnostics/ParticleFlux/PetiProbe/miniproject_TV@J_source_code.py – zdrojový kód