

Elektrostatické studie na tokamaku GOLEM

A. Hrnčířík¹, D. Hausner², O. Lomický², J. Horyna³

¹Masarykovo gymnázium Vsetín, Vsetín

²Gymnázium a SOŠ Plasy, Plasy

³Dvořákovo gymnázium a SOŠE, Kralupy nad Vltavou

adam.hrnccirik@mensa.cz

daniel.hausner@seznam.cz

Ondrej.Lomicky@seznam.cz

jiri.horyna@dgkralupy.eu

Abstrakt:

Tato práce se věnuje problematice elektrostatických měření na tokamaku GOLEM. V rámci práce byly analyzovány výstřely s různou geometrickou konfigurací plazmatu, jehož teplota byla určena dvěma různými metodami. Bylo pozorováno, že konfigurace s menším průřezem plazmatu dosahuje vyšších teplot i při menších proudech plazmatem.

1 Úvod

Tokamak je zařízení, jež umožňuje vytvořit a udržet plazma (ionizovaný plyn) o vysoké teplotě. Účelem této studie bylo studovat teplotu plazmatu různé geometrické konfigurace dané poloměrem limiteru. Teplota plazmatu v tokamaku GOLEM je řádově 10 eV (≈ 116000 K) a byla měřena dvěma různými metodami popsanými v sekci 2. Výsledkům měření se věnuje sekce číslo 3. Hlavní poznatky studie jsou shrnuty v sekci číslo 4.

2 Metody měření

Metody měření

K měření teploty plazmatu byly využity rozdílné metody. První metoda vychází z Ohmova vztahu:

$$R = \frac{U_L}{I_P} \sim T^{-\frac{3}{2}} \quad (1)$$

kde je R – odpor plazmatu, U_L – napětí na závit a I_P – proud procházející plazmatem. Hodnotě odporu je nepřímo úměrná teplota plazmatu T . Určit odpor plazmatu podílem napětí na závit mimo plazma a proudem plazmatu lze jen za předpokladu konstantního I_P . Pro teplotu plazmatu tudíž platí [1] :

$$T_e = c \left[\frac{I_P}{U_L} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

kde T_e – teplota v eV, I_p – proud procházející plazmatem, U_L – napětí na závit a c – konstanta závisající na poloměru plazmatu a

$$c = \frac{14,7 \times 10^{-3}}{\sqrt[3]{a^4}} \quad (3)$$

Vztahem (2) lze určit průměrnou teplotu plazmatu.

Druhá metoda spočívá v kontaktu sondy s plazmatem, kde se měří voltampérová charakteristika vodivé sondy. Kde se ze vzorce pro voltampérovou charakteristiky [1] :

$$I = I_i \left[1 - \exp\left(\frac{U - U_{fl}}{T_e}\right) \right] \quad (4)$$

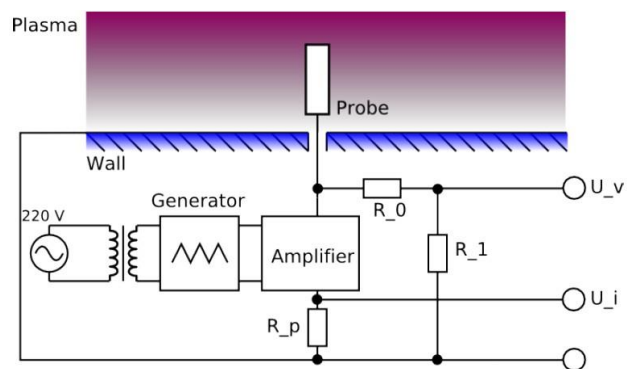
kde I – proud tekoucí ze sondy, I_i – iontově nasycený proud, U – potenciál sondy, U_{fl} – lze určit teplota plazmatu T_e v místě sondy.

Postup měření

Měření probíhalo pro dvě různé geometrie plazmatu ovlivněné instalací dvou různých limiterů, což je konstrukce omezující poloměr plazmatu, a to je prezentováno dvěma výstřely. Veličiny U_L a I_p pro vztah (2) jsou měřeny standartními diagnostikami tokamaku GOLEM [2].

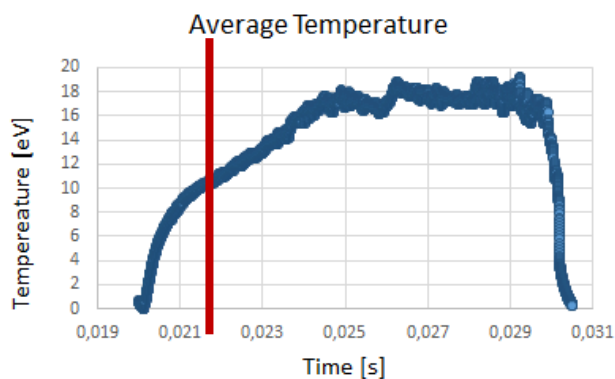
Voltampérová charakteristika byla získána pomocí elektrostatické sondy zapojené do obvodu na obrázku 1.

Napětí U ve vztahu (4) bylo generováno soustavou generátor-zesilovač. Proud I ze sondy byl měřen pomocí úbytku napětí na rezistoru R_p . Průměrná teplota ze vztahu (2) lze sledovat na obrázcích 2 a 3. Voltampérová charakteristika ze vztahu (4) je na obrázcích 4 a 5.

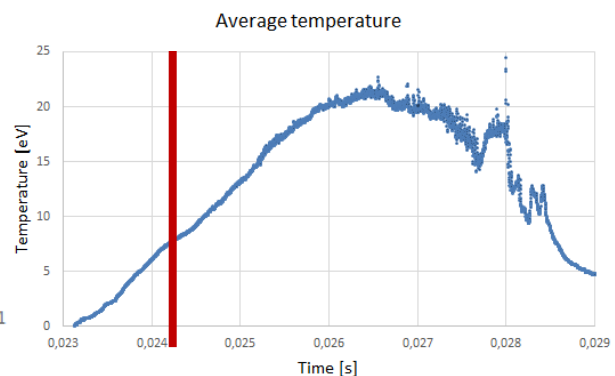


Obrázek 1 – schéma zapojení rozmítaného obvodu [1]

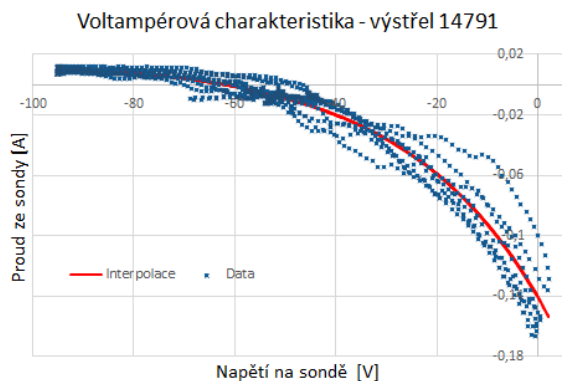
3 Výsledky



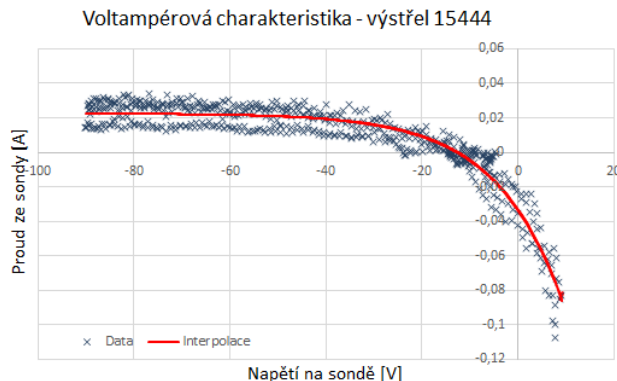
Obrázek 2 – výstřel 14791



Obrázek 3 – výstřel 15444



Obrázek 4



Obrázek 5

Obrázky 2 a 3 demonstrují vývoj průměrné teploty plazmatu v čase dle vztahu (2). Geometrie plazmatu jsou ovlivněny limiterem, u obrázku 2 $a = 8,5\text{cm}$, u obrázku 3 $a = 6\text{cm}$.

Obrázky 4 a 5 demonstrují voltampérovou charakteristiku rozmítané sondy. Obrázek 4 se vztahuje na plazma z výstřelu 14791, obrázek 5 k výstřelu 15444. Interpolace byly vytvářeny v programu *gnuplot*. Hodnoty U_{fl} , I_i a T_e jsou zaneseny v tabulce 1.

	shot 14791	shot 15444
$U_{fl} [V]$	-61,9575	-12,6169
$I_i [A]$	0,0159916	0,0224758
$T_e [eV]$	27,1581	13,8803

Tabulka 1

4 Diskuze

Srovnáním výsledků teploty z tabulky 1 a obrázků 4 a 5 lze vidět, že teplota určená pomocí vztahu pro průměrnou teplotu (2) je poloviční vůči teplotě naměřené pomocí sondy a vztahu (4). To znamená, že sonda by mohla být zasunuta blíže ke středu plazmatu, což by mohlo být způsobeno generací plazmatu ve spodní části komory.

Srovnáním obrázků 2 a 3 je patrné, že průměrné teploty výstřelů s různými limitery se liší. Při výstřelu s limiterem $a = 6\text{ cm}$ procházel $1/2$ proud oproti výstřelu s limiterem $a = 8,5\text{ cm}$. U menšího limiteru byl proud koncentrován v menším průřezu, přesto více zahřál plazma. Podle vztahu (2) by se dalo očekávat, že teplota plazmatu bude nižší, ale díky menšímu poloměru limiteru se proud více koncentroval a teplota byla vyšší.

5 Závěr

Při provedení dvou výstřelů s dvěma různými geometrickými konfiguracemi plazmatu jsme dvěma metodami sledovali teplotu plazmatu. Jedna z vypočítaných hodnot se vztahovala k odporu dle vztahu (2) a druhá hodnota se vztahovala k voltampérové charakteristice rozmítané sondy dle vztahu (4). Srovnáním výsledků pro různé geometrie jsme pozorovali, že

při menším limiteru prochází plazmatem menší proud, ale plazma má větší teplotu, protože proud je více koncentrovaný. Taky lokální teplota mnohem vyšší než průměrná může být zapříčiněna vzájemnou polohou plazmatu a sondy, kdy sonda je více zasunuta v plazmatu. V budoucnu by se měla spočítat poloha plazmatu při průrazech k upřesnění polohy sondy a výkladu naměřených hodnot.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT za pořádání Týden vědy, především pak našemu supervizorovi Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za poskytnutí techniky a zázemí, dále garantovi našeho projektu Ing. Tomáši Markovičovi a všem pořadatelům.

Reference:

- [1] Skupina tokamaku GOLEM: *Měření teploty plazmatu v tokamaku GOLEM*
<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/KFpract/14/Probes/uloha13B.pdf>
(připojeno 20-5-2014)
- [2] Skupina tokamaku GOLEM: *Vysokoteplotní plazma na tokamaku GOLEM*
<http://golem.fjfi.cvut.cz/wiki/TrainingCourses/KFpract/14/Basics/uloha13A.pdf>
(připojeno 20-5-2014)