

Ovlivnění vertikální polohy plazmatu pomocí vnějšího horizontálního magnetického pole

Jakub Smrček, Jakub Kvapil, Adam Hrnčířík
Gymnázium Na Pražačce, Praha
Gymnázium Ostrov, Ostrov
Masarykovo gymnázium Vsetín, Vsetín

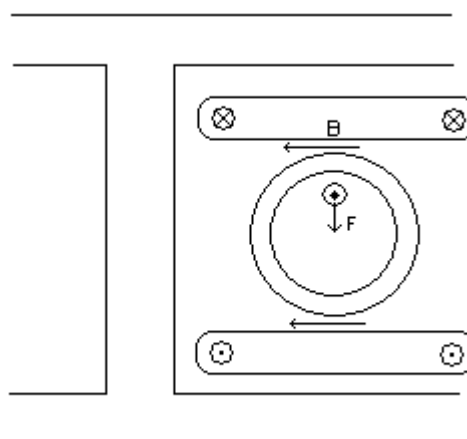
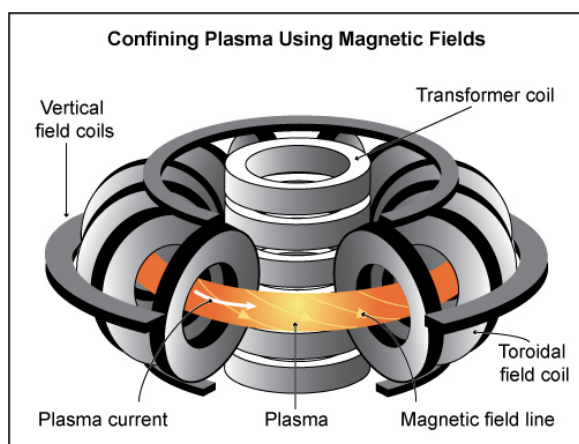
smrcek.j@seznam.cz
kvapil.jakub@gmail.com
adam.hrncirik@mensa.cz

Abstrakt:

Tato práce se zabývá problematikou působení vnějšího magnetického pole na vertikální polohu plazmatu v tokamaku GOLEM. Při měření byla nalezena přibližná optimální hodnota proudu ve stabilizačních vinutích, která zamezuje nežádoucímu pohybu plazmatu směrem vzhůru. Poloha plazmatu je určována jak za pomoci magnetické diagnostiky, tak pozorováním pomocí vysokofrekvenčních kamer.

1 Teoretický úvod

Tato práce se zabývá měřením polohy plazmatu a jejím následným ovlivňováním pomocí stabilizačních cívek na tokamaku GOLEM. Obsahuje srovnání grafů s vizuálními materiály a sledování vlivu externího horizontálního pole na plazma v tokamaku. Plazma, jakožto čtvrté skupenství látky, v nichž jsou elektrony odděleny od atomových jader, se musí udržovat mimo stěny komory, aby nedošlo k jeho ochlazení. Jelikož plazma je tvořeno nabitými částicemi, lze ovlivňovat jeho polohu pomocí magnetického pole na základě působení Lorentzovy síly, protože plazmatem v tokamacích protéká proud.



Obr. 1: Schéma zapojení externího magnetického pole. Vlevo [1] obecná konfigurace vinutí v tokamaku. Vpravo použitá konfigurace stabilizačních vinutí při experimentu na tokamaku GOLEM.

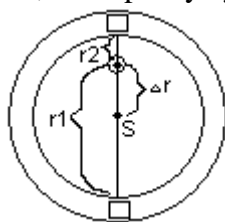
2 Experimentální část

Ovlivňování vertikální polohy plazmatu pomocí stabilizačních cívek

Obrázek č.1 vlevo znázorňuje hlavní vinutí tokamaku spolu se stabilizačními cívkami. Na obrázku č. 1 vpravo je znázorněno zapojení polarit cívek stabilizačního vinutí na tokamaku GOLEM použité při experimentu. Jelikož předchozí měření naznačily, že plazma na tokamaku GOLEM má tendence směřovat nahoru, zapojení je takové, aby měla Lorentzova síla působící na plazma směr dolů.

Měření vertikální polohy plazmatu

Určení vertikální polohy plazmatu se zjišťuje pomocí Mirnovových cívek, které se nacházejí na horní a dolní části toroidální komory. Protékající proud plazmatem vytváří magnetické pole, které poskytuje informaci o poloze plazmatu, jak je ilustrováno na obrázku číslo 2.



Obr. 2: Řez komorou tokamaku. S označuje střed komory, Δr značí vertikální posunutí plazmatu oproti středu komory, r_1 a r_2 jsou vertikální vzdálenosti středu plazmatu od spodní a vrchní cívky.

Za předpokladu, že B_2 označuje magnetickou indukci detekovanou na vrchní cívce a B_1 na cívce spodní, pro Δr platí:

$$\Delta r = r_0 \frac{B_2 - B_1}{B_2 + B_1}$$

kde r_0 je poloměr komory. Polohu plazmatu lze odhadnout i vizuálně, a to pomocí vysokofrekvenčního fotoaparátu. V předložených výsledcích jsou užity a porovnány obě metody.

Měření délky existence plazmatu

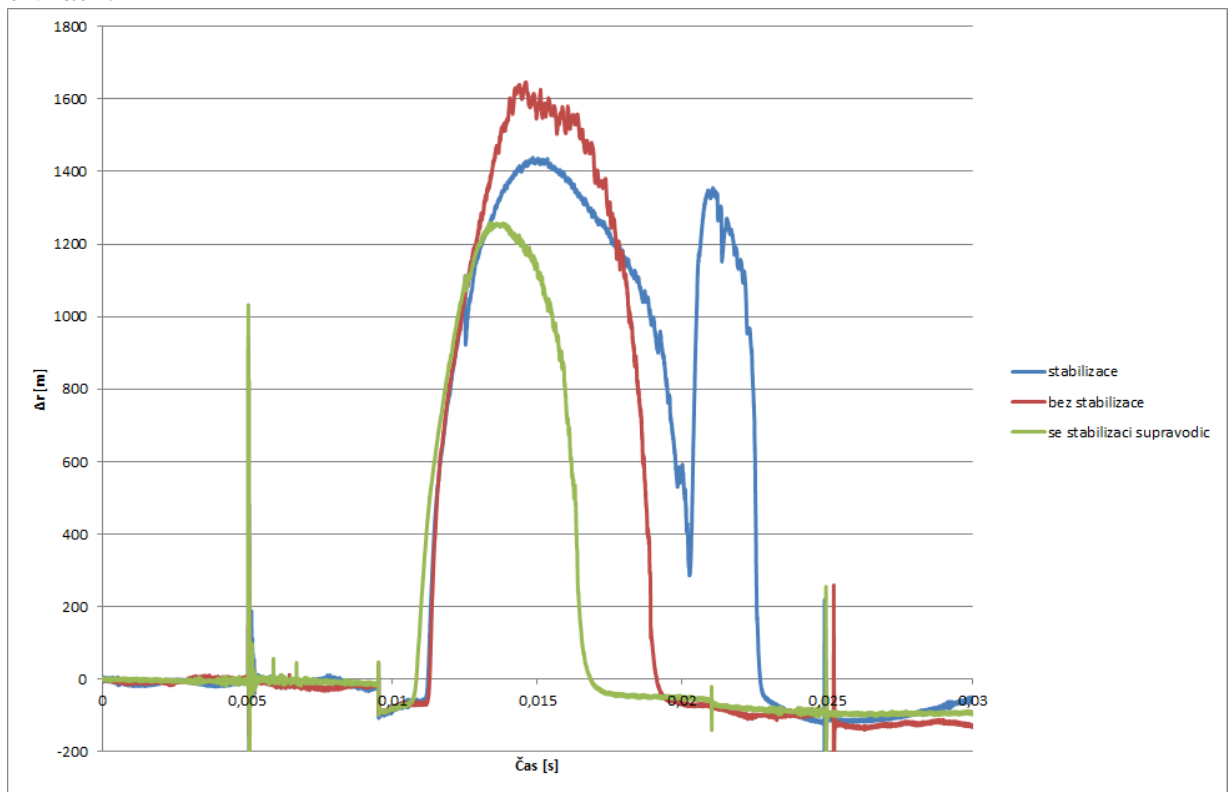
Je bezpečné předpokládat existenci plazmatu, je-li detekován proud jím procházející. Detekce tohoto proudu se provádí bezkontaktně pomocí tzv. Rogowského pásku, a to měřením magnetického pole generovaného měřeným proudem. Takto určená doba existence plazmatu byla zanesena do grafu závislosti na proudu ve stabilizačních vinutích, aby bylo viditelné srovnání většího množství efektů síly, protože síla působení je přímo úměrná proudu ve stabilizačních vinutích.

3 Výsledky

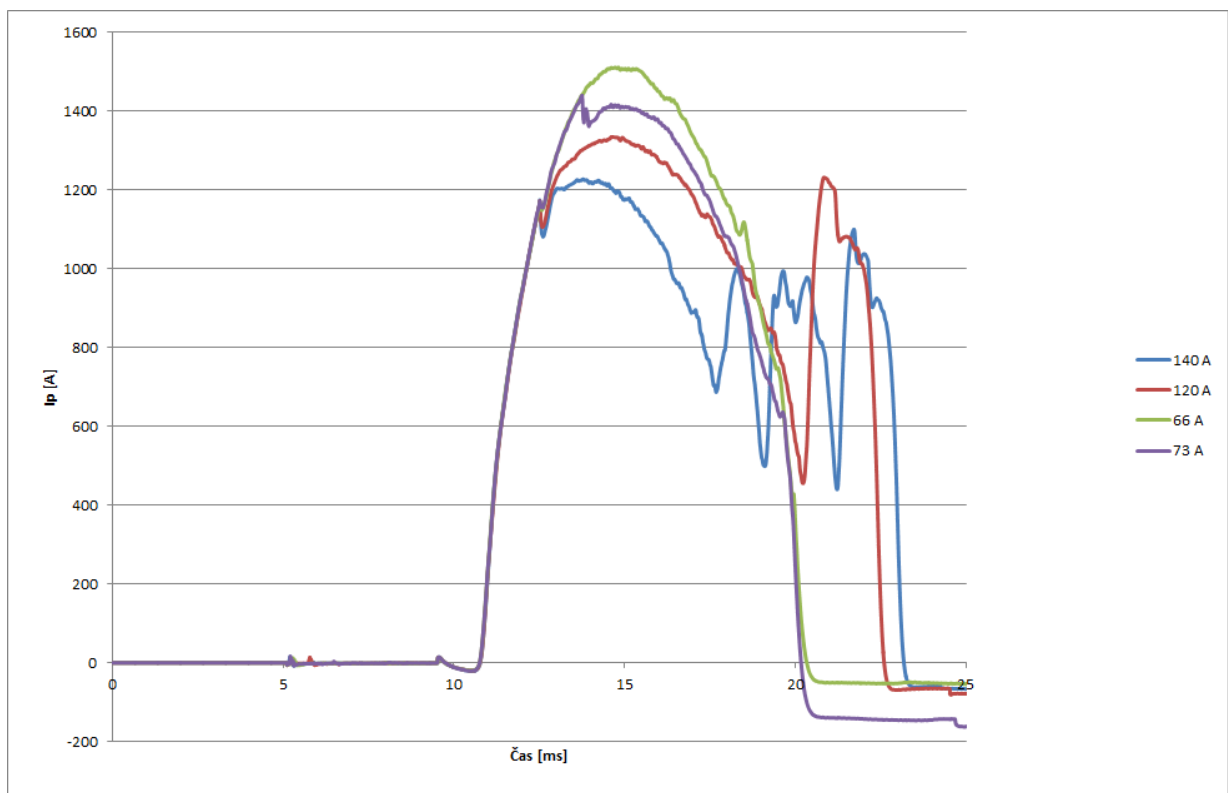
Byla provedena série výstřelů s rozdílnými proudy ve stabilizačním vynutí, včetně výbojů bez stabilizace. Při zapnuté stabilizaci je možné si všimnout, že ke konci výboje dochází k neočekávanému nárůstu proudu, viz. Obrázky číslo 3 a 4.

Obrázek číslo 5 popisuje různá vertikální vychýlení plazmatu určené pomocí Mirnovových cívek, dle vztahu uvedeného v sekci 2.

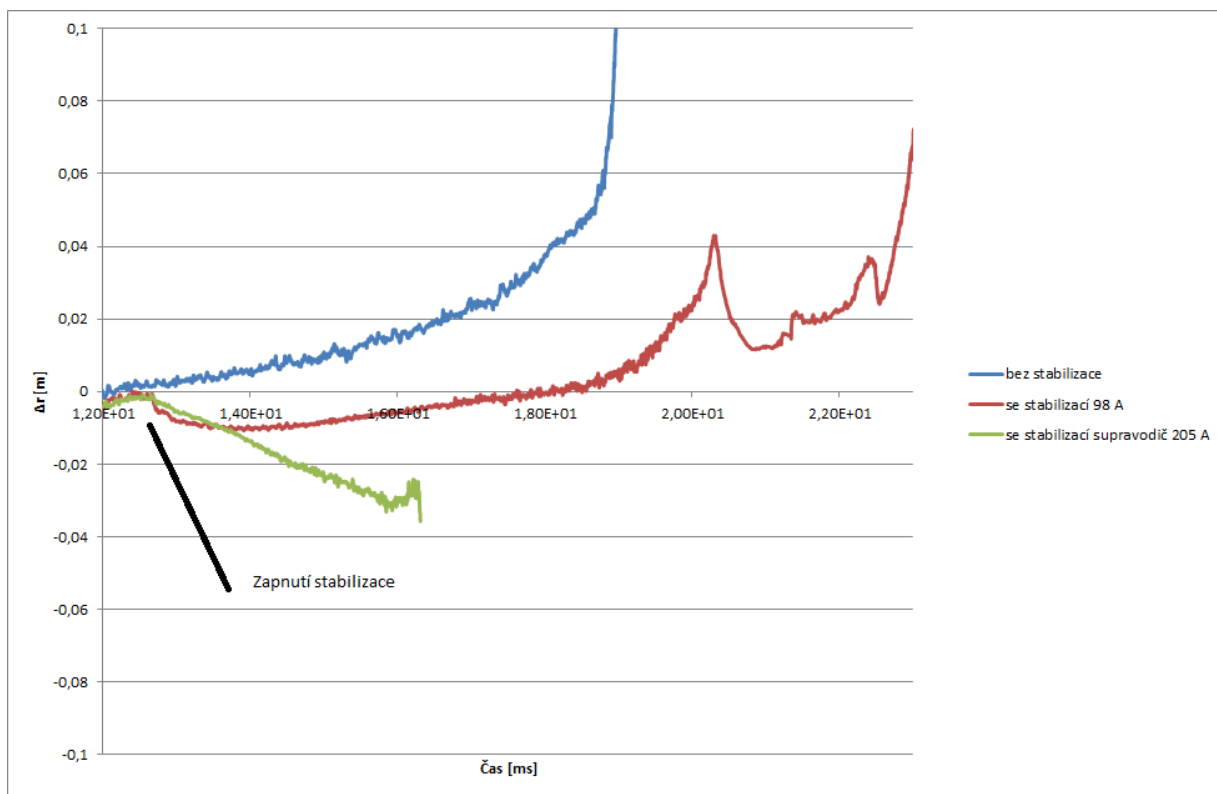
Obrázek č. 6 vizuálně znázorňuje polohu plazmatu z pohledu vysokofrekvenčních kamer, které pozorují viditelné záření plazmatu. Data jsou totožná s obrázkem číslo 5. Obrázek číslo 7 poskytuje přehled doby existence plazmatu v závislosti na proudu ve stabilizačních cívkách.



Obr. 3: Závislost proudu v plazmatu na čase pro různé proudy stabilizací.



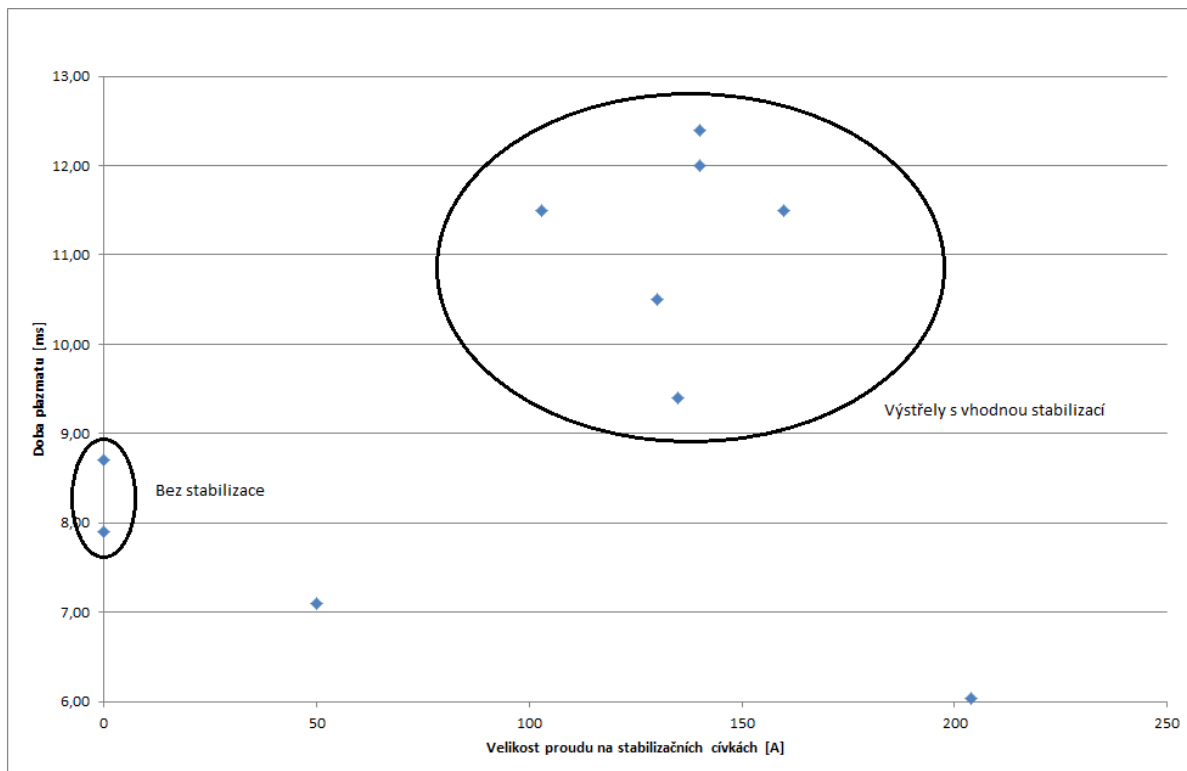
Obr. 4: Závislost proudu v plazmatu na čase pro různé proudy stabilizací.



Obr. 5: Vývoj vertikální polohy plazmatu v závislosti na čase



Obr. 6: Snímek zobrazuje vývoj vertikální polohy zaznamenaný vysokorychlostní kamerou. Horní obrázek odpovídá křivce se stabilizací a proudem 98 A, střední bez jakékoliv stabilizace a spodní se stabilizací a proudem 205 A.



Obr. 7: Obrázek obsahuje databázi závislosti doby existence plazmatu na velikosti proudu na stabilizačních cívkách.

4 Diskuse

Zdá se, že plazma na tokamaku GOLEM má tendence za nepřítomnosti stabilizačního pole směřovat nahoru, o čemž vypovídají obrázky číslo 5 a 6. Na obrázku číslo 5 je vidět okamžik spuštění stabilizace na 12,5 ms. Do tohoto okamžiku byla poloha plazmatu vždy stejná. Poté je eventuelně spuštěna stabilizace, která vyvolá posun plazmatu směrem dolů. Při proudu o velikosti 98A na stabilizačním vinutí dochází k udržení plazmatu v optimální rovině, jak ukazují obrázky 4, 5 a 6, což vede k prodloužení jejího existence. Ale, za příliš velkého proudu na stabilizačních vinutích dochází ke stržení plazmatu k dolní stěně komory, což vede ke zkrácení doby jeho existence, což ukazují obrázky číslo 5, 6 a 7. Dle shrnující analýzy závislosti existence plazmatu na stabilizaci, která je na obrázku 7, je možno říci, že optimální velikost proudu při stabilizaci jednoznačně prospívá prodloužení existence plazmatu.

5 Shrnutí

Během měření se prokázalo, že plazma v tokamaku GOLEM má tendence k pohybu směrem vzhůru. Při aplikaci vhodného stabilizačního magnetického pole, se tento pohyb omezil, což vedlo k pozitivnímu ovlivnění délky existence plazmatu o 1 až 5 ms. Aplikované magnetické pole stabilizace nesmí být příliš silné, což by vedlo k prudkému pohybu dolů a následnému zhoršení doby jeho existence o 2 až 3 ms oproti výboji bez stabilizace, což nejlépe ilustruje obrázek číslo 6. Uvedené výsledky měření jsou zatím předběžné, a pro lepší pochopení problematiky je nutno zpracovat větší množství dat do databáze.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat FJFI ČVUT za pořádaný Týden Vědy. Dále našemu supervizoru Ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc. za poskytnutí techniky a garantovi našeho projektu Bc. Tomáši Markovičovi.

Reference:

[1] Tokamak operating principle URL:

http://www.generalfusion.com/images/expand/plasma_currant.jpg [cit. 2012-06-19].