

Stabilizace Polohy Plazmatu na Tokamaku GOLEM

Týden Vědy na Jaderce 2025

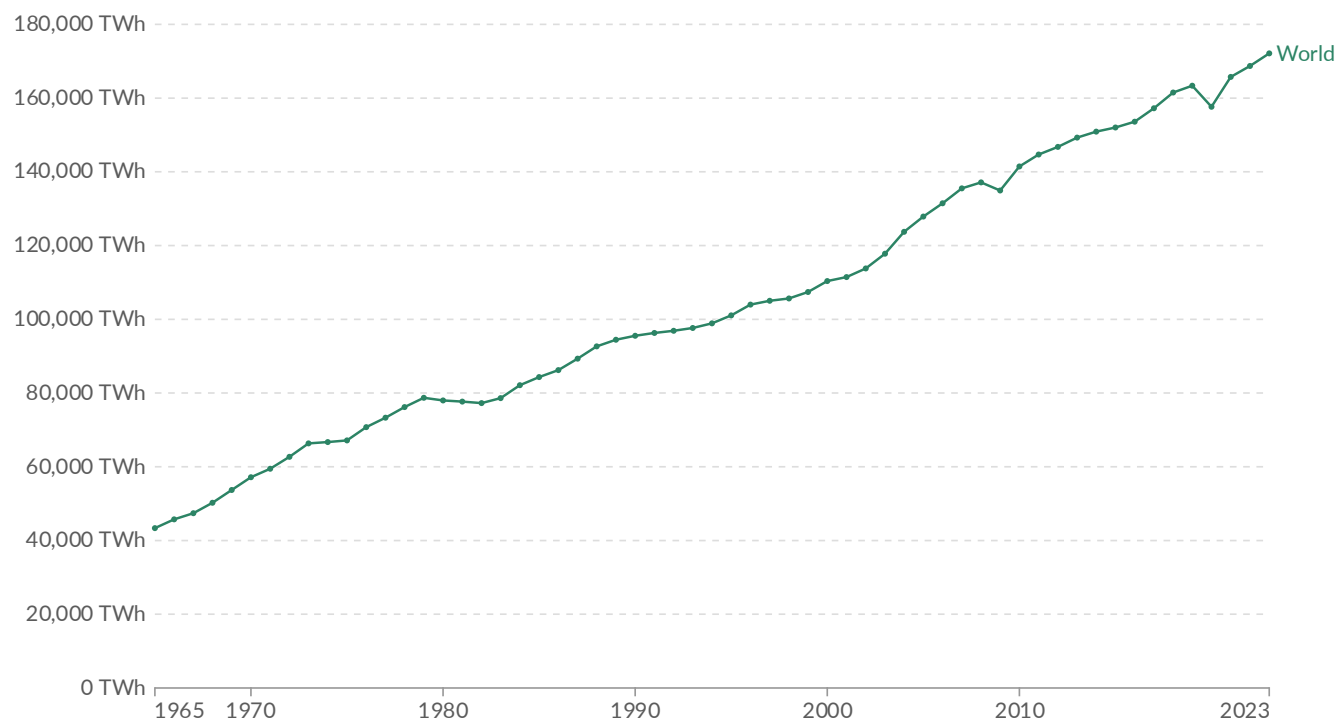
Motivace

- Rostoucí poptávka po elektřině a teple
- Fúze možným řešením
- Nezávislost na rozmarech přírody
- Malý zabraný prostor
- Nízký dopad na přírodu i člověka

Obr. 1

Primary energy consumption

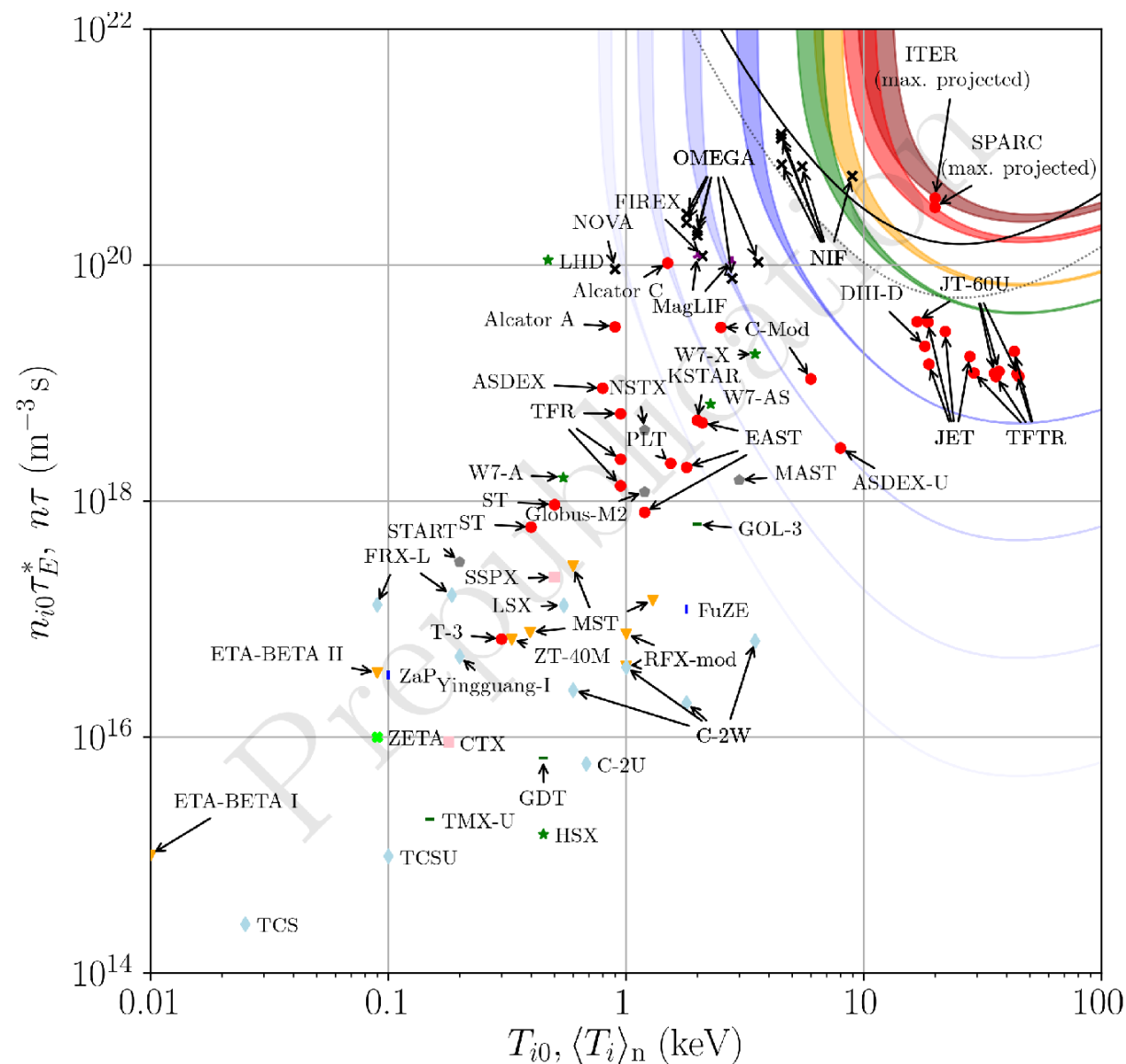
Primary energy¹ consumption is measured in terawatt-hours², using the substitution method³.



Termojaderná fúze

- Fúze probíhá za vysokých teplot
- Plazma
- Obtížnost udržení plazmatu
 - magnetické
 - inerciální

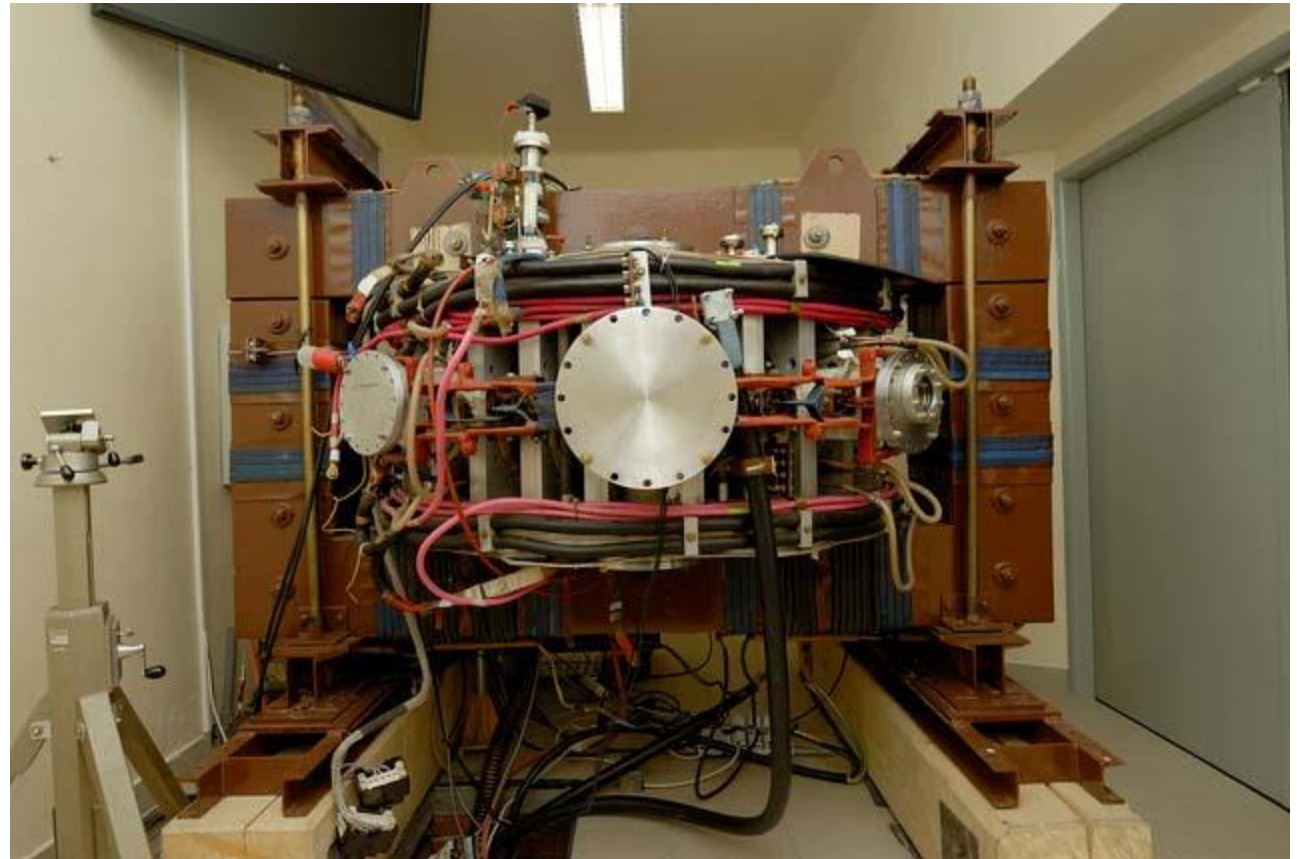
Obr. 2 Aktuální stav techniky



Zařízení

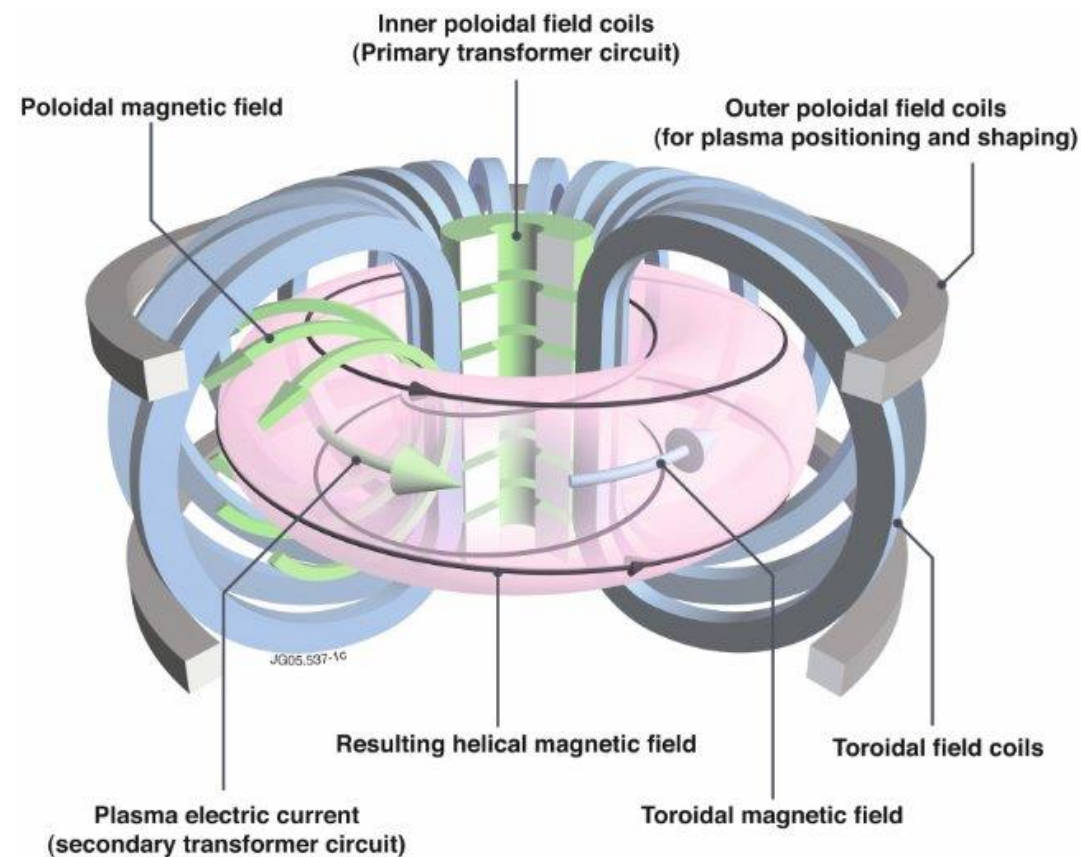
- Zde magnetické udržení
- Typ tokamaku
- Dříve v SSSR a na AV ČR

Obr. 3 Tokamak GOLEM



Princip

- Vnější cívky magneticky udržují plazma
- Magnetický pulz indukuje silný proud v plazmatu
- Plazma vytváří vlastní magnetické pole
- Kombinace polí vytváří spirálovité pole
- Nabité částice plazmatu sledují mag. siločáry



Obr. 4 Elektromagnetika tokamaku

Naše práce

Cíle

- Měřit parametry
 - míra evakuace
 - zpoždění impulzu pro generaci plazmového proudu
 - síla proudu ve stabilizačních cívkách
 - napětí kondenzátorů pro generaci obou polí
- Zjistit vliv parametrů
- Vyhodnotit data elektronicky
- Upravovat parametry v reakci

Stabilizace

- Plazma se postupně posouvá
- Dodatečné cívky pro poloidální pole
- Součet dává sílu posunující plazma
- Vnitřní a vnější cívky
- Využitelné i jako diagnostiky
- Měděný obal pasivně stabilizuje - Lenzův zákon

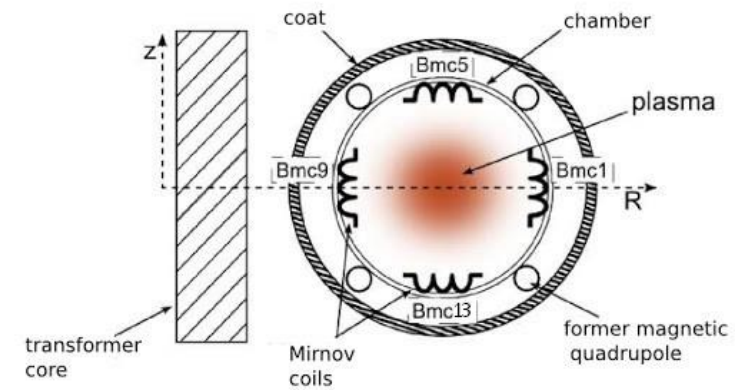
Zjišťování polohy plazmatu

- **Mirnovovy cívky**

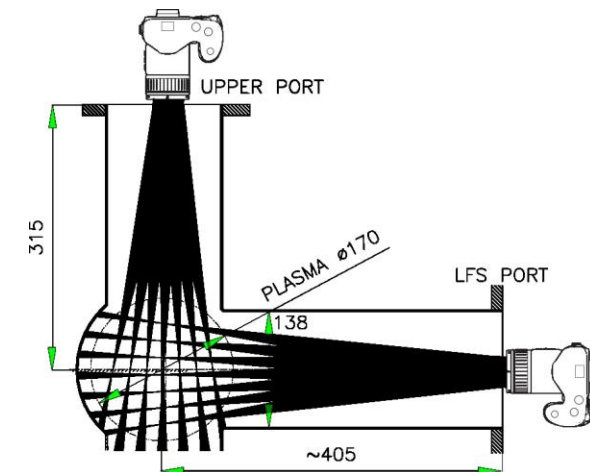
- Pasivní diagnostika - zaznamenává napětí způsobené změnou mag. indukčního toku
- Na GOLEMu 4x
- Nacházejí se ve stínu limiteru
- Citlivé na parazitické signály, které je třeba při zpracování eliminovat

- **Rychlé kamery**

- Umístěny ve vertikálním a horizontálním směru
- Kamery nejsou ovlivněny mag. polem



Obr. 5 Mirnovovy cívky



Obr. 6 Umístění kamer

Základní parametry výbojů

- U_{Bt} - napětí na kondenzátoru, který generuje toroidální mag. pole
- U_{Cd} - napětí na kondenzátoru, který generuje proud v plazmatu
- t_{Cd} - zpoždění, se kterým se vybíjí kondenzátor generující proud plazmatem
- p - tlak plynu v komoře

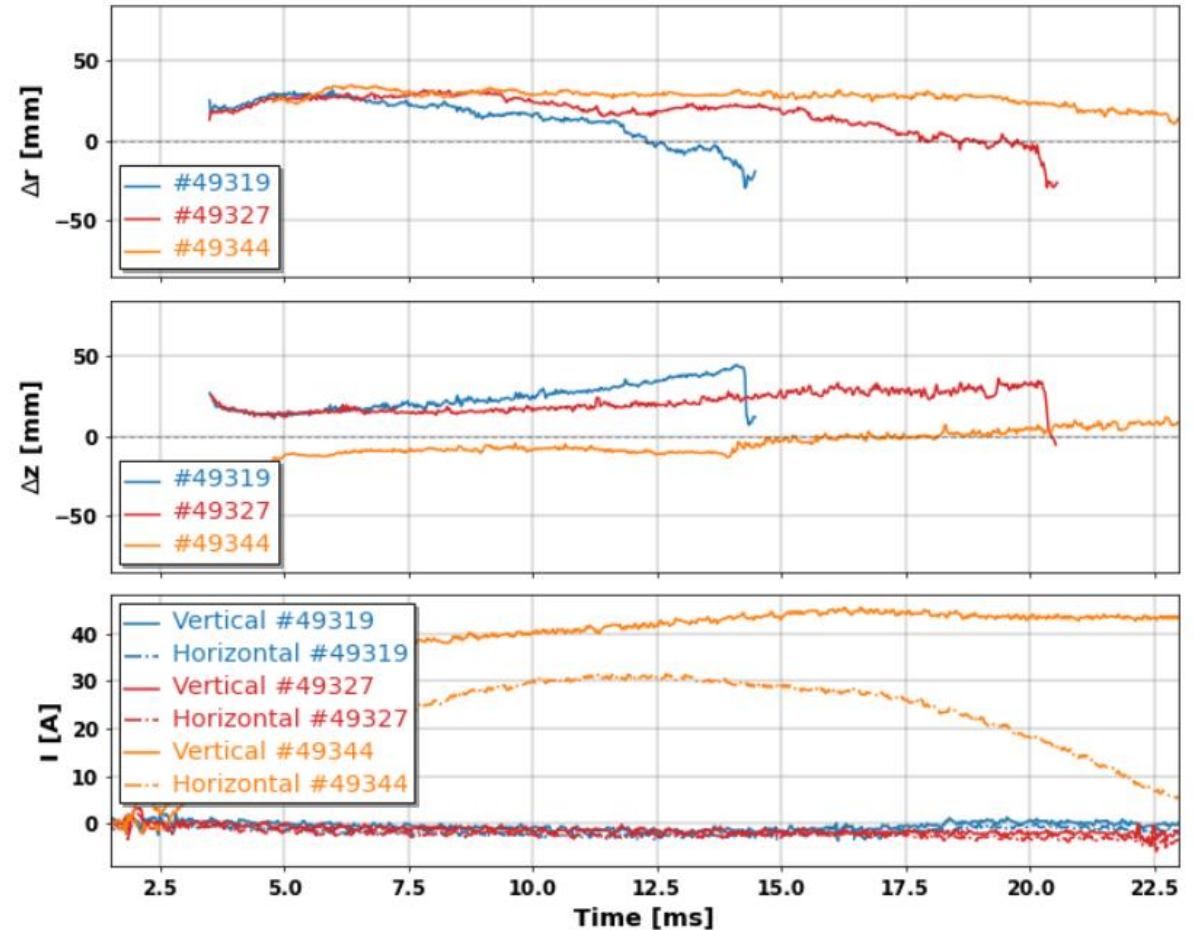
Veličina	Zvolená hodnota	Jednotka
U_{Bt}	900	V
U_{Cd}	350	V
t_{Cd}	600	us
p	13/14/15/16	mPa

Tab. 1

Experimenty

1. Prodloužení výboje

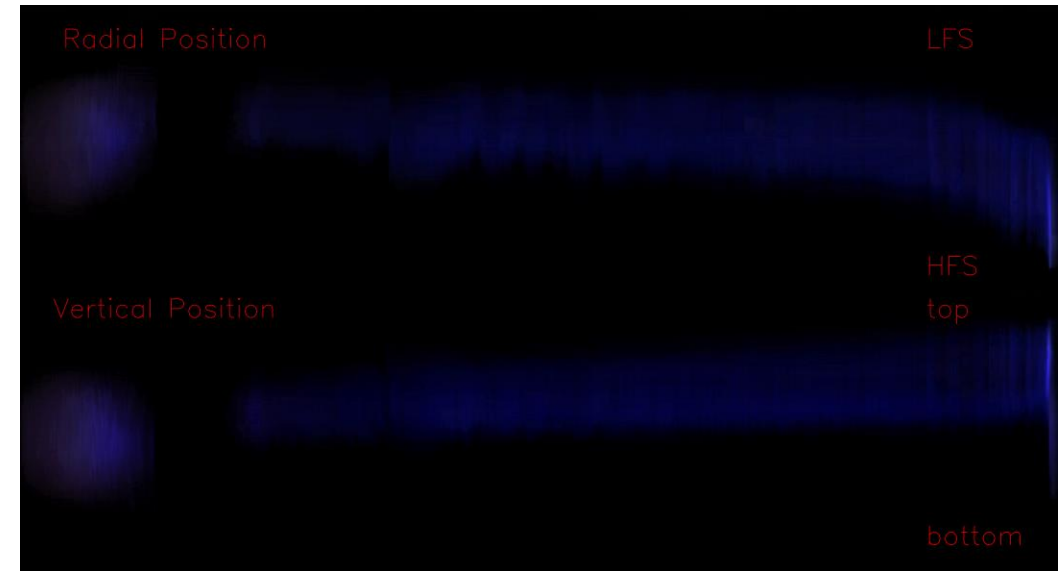
- Doba trvání výboje prodloužena z 11,79 ms na 18,08 ms díky vyčištění komory
- Zapnutím stabilizace se nám podařilo výboj dále prodloužit na 31,27 ms
- Nejdelší výboj se nám nepodařilo replikovat



Graf 1

2. Dvojitý průraz

- Zánik a znovuobjevení plazmatu
- Pohyb směrem k vnější straně toru (LFS)
- Kontakt se stěnou
- Zánik plazmatu v čase 6 ms
- Druhý průraz proběhl přibližně v 7-8 ms
- Výboj s dvojitým průrazem se nám podařilo několikrát replikovat
- Dvojitý průraz ve větších tokamacích?



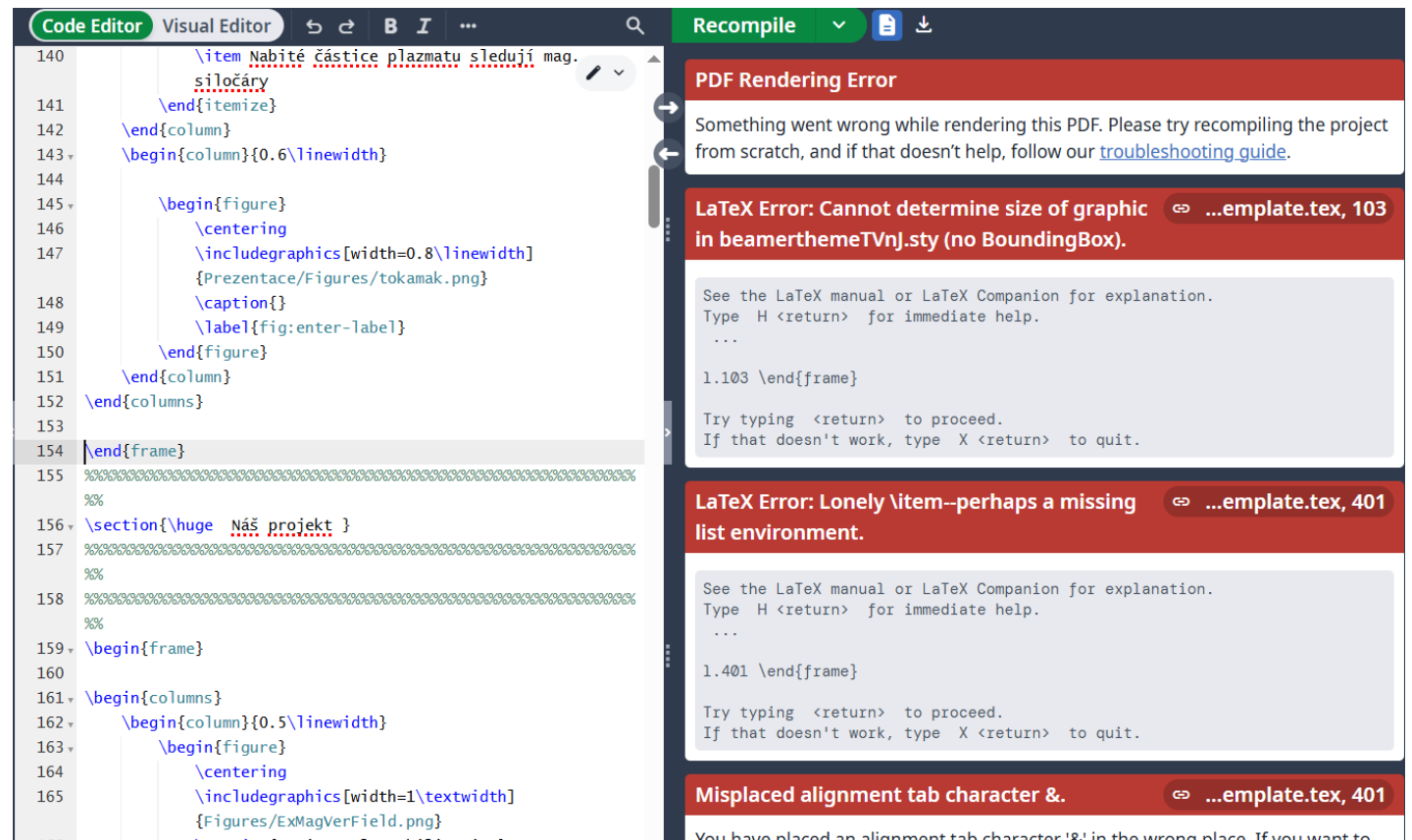
Obr. 7 Záběr z rychlých kamer

Shrnutí a výhledy do budoucna

- Několikanásobné průrazy
- Provedli jsme 24 výstřelů na tokamaku GOLEM
- Detailnější studium parametrů
- Statistická analýza dat

Co jsme se naučili

- Základy fyziky plazmatu
- Seznámení s vyhodnocením dat
- Základní úkony v LaTeXu



Obr. 8

Reference

Stabilizace plazmatu na tokamaku GOLEM. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.gymkren.cz/files/documents/207/2020-kropackova-stabilizace-plazmatu.pdf>. [cit. 2025-06-25].

Zpětnovazební řízení polohy na tokamaku GOLEM. Online. 2020. Dostupné z: https://physics.fjfi.cvut.cz/publications/FTTF/BP_Jindrich_Kocman.pdf. [cit. 2025-06-25].

Základy stabilizace vysokoteplotního plazmatu GOLEM. Online. 2020. Dostupné z: <https://tydenvedy.fjfi.cvut.cz/2022/mp-soubory/prezentace/tokGolemI.pdf>. [cit. 2025-06-25].

[1] OWID – RITCHIE, Hannah; ROSADO, Pablo; ROSER, Max. Primary energy consumption. Online. 2025. Dostupné z: https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-cons?tab=chart&country=~OWID_WRL(https://ourworldindata.org/grapher/primary-energy-cons?tab=chart&country=~OWID_WRL). [cit. 2025-06-25].

[4] WURZEL, Samuel E., a Scott C. HSU. Progress toward fusion energy breakeven and gain as measured against the Lawson criterion. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Progress-toward-fusion-energy-breakeven-and-gain-as-Wurzel-Hsu/3d0d474462af394d73d0105d4fc903aa46052897>. [cit. 2025-06-25].

