

# Fúzní neutrony v tokamaku Compass

Nela Sedláčková, Dominik Duchek, Ján Glut

duchek.dominik@post.cz, jano.glut@gmail.com, [nelca.sedlackova@seznam.cz](mailto:nelca.sedlackova@seznam.cz)

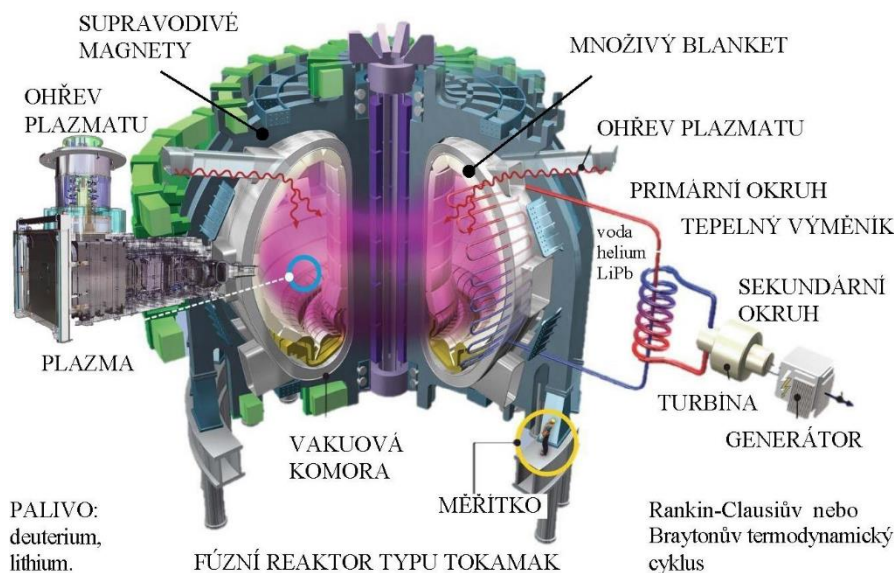
## ABSTRAKT

Populace je stále hladovější ve spotřebovávání elektrické energie, ale momentálně nám již dochází možnosti dalšího rozvoje. Jako svatý grál se jeví termojaderná fúze, která generuje mnohonásobně více energie (než štěpná reakce) v podobě neutronů s vysokou energií. Fúze v tokamaku COMPASS je vysoko výkonný neutronový zářič a zkoumá využití nejen při „tradiční“ výrobě energie, ale zvažuje se i jako způsob, jak ozářit a znovu využít vyhořelé jaderné palivo.

## 1 Úvod

Pokud hledáme nejlepší a nejspolehlivější zdroj energie, termojaderná fúze je v současnosti jedním z nejnadějnějších kandidátů. Jde o reakci, kdy se lehčí atomová jádra slučují dohromady a vznikají těžší jádra. Při tomto procesu se uvolňuje energie, která pohání např. Slunce a všechny hvězdy a lidstvo se snaží napodobit tyto podmínky na zemi v tokamacích.

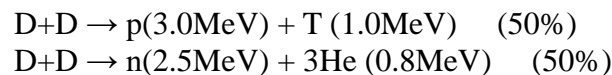
Tokamak je zařízení, které uchovává vysokoteplotní plazma pomocí magnetického pole. V tokamaku COMPASS jsou hlavním dodatečným ohřevem plazmatu svazky neutrálních částic NBI (Neutral Beam Injectors). Jedním z produktů termojaderné fúze při reakci 2 atomů deuteria jsou také neutrony, které jsou hlavním nositelem výstupní energie termojaderné fúze.



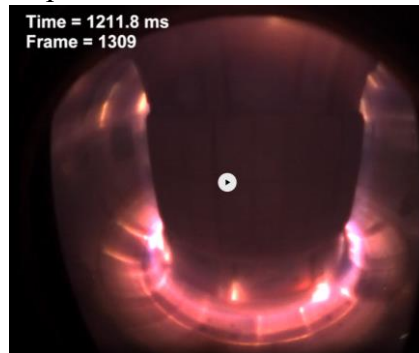
Obrázek 1 - průřez

## 2 Termonukleární fúze

Náš miniprojekt spočíval v analýze dat získaných při 5 shotech (16913, 16926, 16930, 16967, 17047) v tokamaku COMPASS. Při slučování jader deuteria docházelo k následující reakci:



Pracovali jsme s daty z plynových detektorů neutronů Chadwick a Oliphant, které fungují na bázi jaderné reakce a detekce produktů v plynovém proporcionálním počítači, do databáze se ukládají přímo časové a amplitudové souřadnice píků - signál zpracovává přímo elektronika detektoru (citlivost 0.9 cps/nv) (a). Neutrony jsou schopné uniknout z reaktoru díky tomu, že mají neutrální elektrický náboj. Z dat získaných z detektorů jsme schopni přibližně určit celkovou energii uvolněnou při reakci.



Obrázek 2 – výboj číslo 16 967

### Postup při analýze výboje:

Chadwick detekoval  $c_1$  neutronů a Oliphant  $c_2$ .  
Za předpokladu, že se neutrony šíří do všech směrů rovnoměrně a vzdálenosti detektorů od tokamaku je 5 m, jsme schopni vypočítat celkový počet neutronů uvolněných při reakci podle vzorce:

$$N = 4\pi r^2(c/\text{cps})$$

N....celkový počet neutronů  
c.....počet neutronů na detektorech na  $\text{cm}^2$   
cps....citlivost detektorů (0,9 cps/nv)

Počet neutronů naměřených na Oliphantu je vyšší kvůli uzavření detektoru v polyethylenové nádobě (= moderátoru).

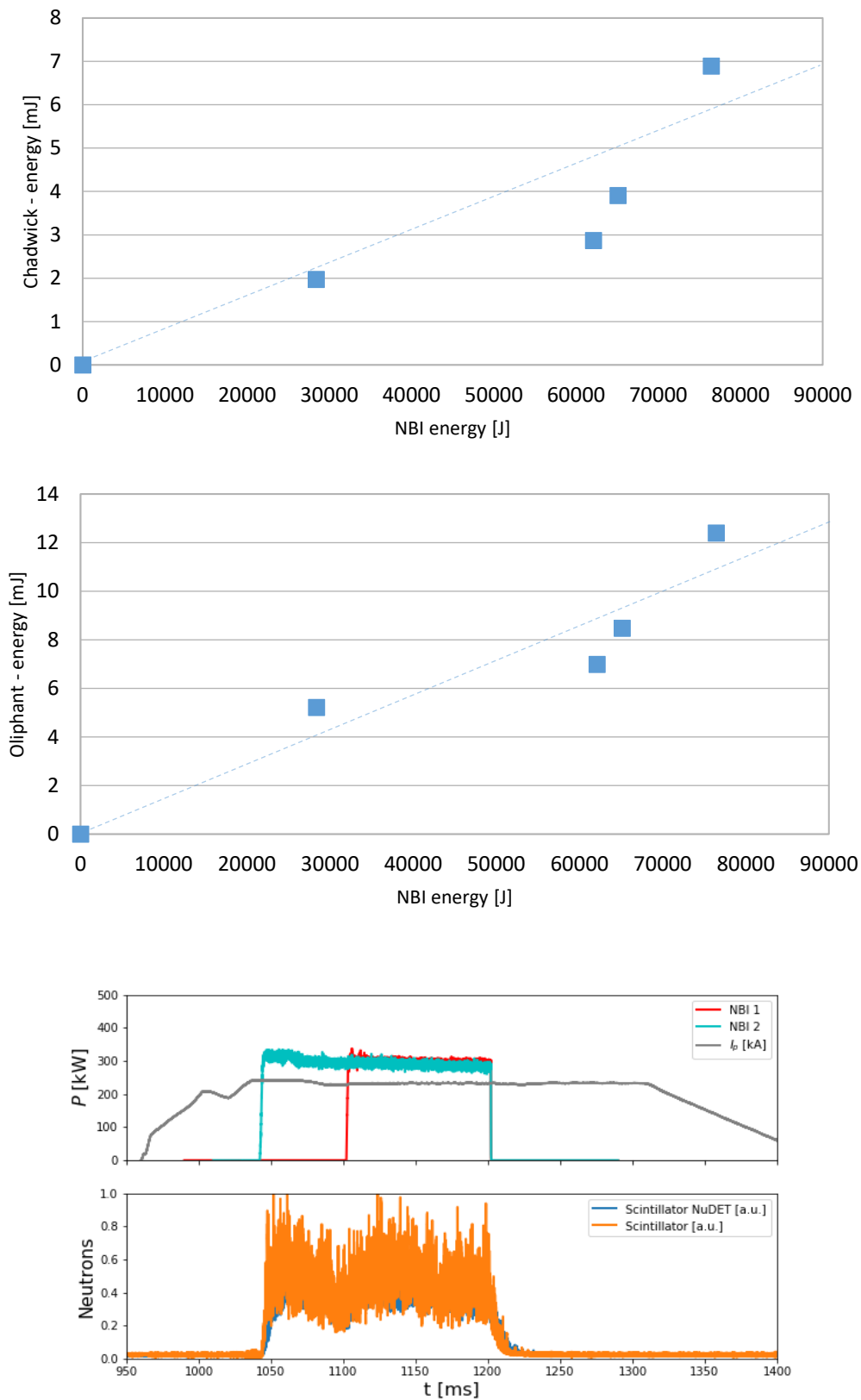
Z celkového počtu neutronů můžeme určit celkovou energii uvolněnou při reakci dle vzorce:

$$E = N \cdot E_{nr}$$

$$E_{nr} = 1,168 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

- celková uvolněná energie na 1 neutron (spočítali jsme si celkovou energii z obou reakcí a převedli jí z eV na J)

Celkovou uvolněnou energii jsme porovnávali s energií dodanou NBI1 a NBI2. Tuto závislost můžete vidět v následujících grafech:



Obrázek 3 – shot 16967, závislost počtu neutronů na čase provozu NBI

### 3 Shrnutí

Konečný výsledek nám ukázal, že při zvyšování dodaného výkonu se zvyšuje i počet fúzních neutronů. Tato vlastnost při dostatečné velikosti zvyšuje účinnost celé reakce. Cílem výzkumu termojaderné fúze je převýšení odebrané energie nad dodanou a díky této znalosti, kterou jsme právě dokázali, je tento cíl má již reálné základy (např. ITER) a energetika by se v blízké době mohla posunout na zcela novou a nevyčerpatelnou úroveň.

### 4 Poděkování

Jsme velmi vděční FJFI a ČVUT za tuto možnost si vyzkoušet vědeckou práci a zároveň vedoucímu našeho miniprojektu Ing. Ondřeji Fickerovi a Ing. Jaroslavu Čerovskému za provázení a učení v, pro nás, neprozkoumaných vodách a trpělivost.

### 5 Reference

**Obrázek 1 :**

<https://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/14704-zaklady-fuzni-energetiky-v-vyroba-elektriny>

**Obrázek 2:**

[http://logbook.tok.ipp.cas.cz/index.php?show=shot&shot\\_no=16967](http://logbook.tok.ipp.cas.cz/index.php?show=shot&shot_no=16967)

**Obrázek 3 :**

[http://localhost:8891/view/Downloads/Neutrons\\_NBI\\_16967.png](http://localhost:8891/view/Downloads/Neutrons_NBI_16967.png)

**a :**

<http://localhost:8891/notebooks/Downloads/F%C3%BAzn%C3%AD%20neutrony%20na%20tokamaku%20COMPASS.ipynb>