

# Spektroskopické studie na tokamaku GOLEM

Dvořák J. <sup>1</sup>, Hujňák J. <sup>2a</sup>, Nezval J. <sup>2b</sup>, Smíšitel P. <sup>3</sup>, Kapr J. <sup>4</sup>

<sup>1</sup>Gymnázium Botičská, Praha, dvorak1430@seznam.cz

<sup>2a</sup>Gymnázium, Brno, tř. Kpt. Jaroše 14, j.hujnak@seznam.cz

<sup>2b</sup>Gymnázium, Brno, tř. Kpt. Jaroše 14, nezval.jirka@gmail.com

<sup>3</sup>Gymnázium Bučovice, smisa.p@seznam.cz

<sup>4</sup>Gymnázium a Střední odborná škola, Plasy

**Abstrakt:** S použitím slunečního spektra zkalibrujeme spektrometr, budeme jím pozorovat viditelné vyzařované spektrum tokamakového plazmatu a určíme přítomné nečistoty a jejich vliv na tvořené plazma. Poté zjistíme vliv vypékání tokamaku na množství přítomných nečistot.

## 1 Úvod

Spektroskopie je vědecký obor, který se zabývá měřením a analýzou a příčinou vzniku spekter elektromagnetického záření. Je to metoda založená na interakci elektromagnetického záření se vzorkem. K měření se nejběžněji používá přístroj zvaný monochromátor umožňující sledování jedné konkrétní úzce vymezené barvy anebo spektrometr umožňující měření celého pozorovaného spektra naráz.

## 2 Využití

V našem miniprojektu jsme se soustředili na spektroskopii tokamakového plazmatu. Jedná se o dost specifický problém, jehož teoretická analýza je mimořádně komplikovaná a bez perfektní znalosti vlastností pozorovaného plazmatu není jednoduché provést teoretickou analýzu pozorovaného spektra. Proto jsme se soustředili jen na relativní odhad množství nečistot v plazmatu. Intenzita záření je v aproximaci dané koronálním modelem dána

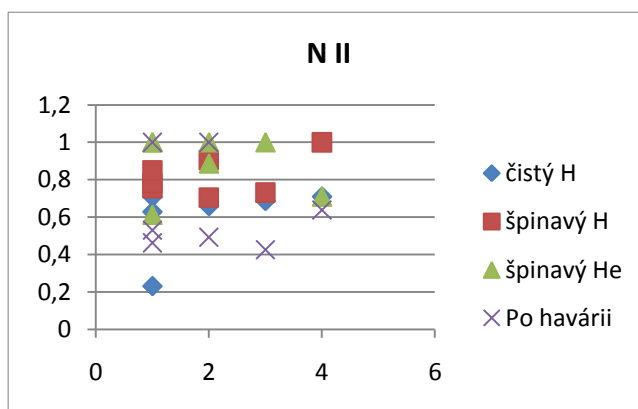
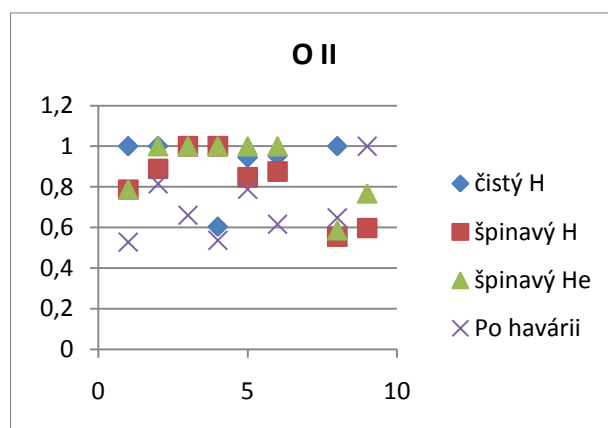
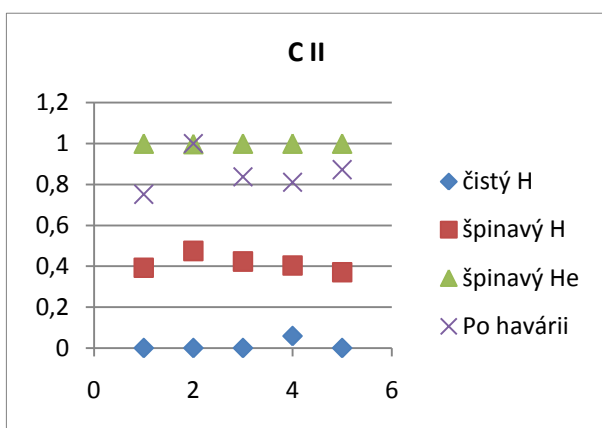
$$I_{ij} = 1/4\pi A_{ij} / \langle \sigma v \rangle n_e n_i^k$$

Takže je intenzita záření úměrná mimo jiné i koncentraci zkoumaného iontu  $n_i^k$ . A právě toho lze využít pro hrubý odhad jeho relativního množství.

Údaje o množství nečistot je následně možné využít k nalezení efektivnější cesty čištění vakuové komory tokamaku. Je totiž možné provést několik čistících procedur – například *bombardování* stěn pomocí doutnavého výboje nebo *vypékání*, při kterém se komora ohřeje na vysokou teplotu, a nečistoty přilnuté na stěnách sublimují pryč.

### 3 Rozpoznávání složení plazmy

Z grafu vytvořeného na základě spekter pořízených spektrometrem můžeme vyčíst informace o složení plazmy. Jedinými pozorovanými příměsemi byly uhlík, dusík a kyslík. Vzhledem k relativně nízké teplotě kolem 20eV se v plazmatu vyskytovaly jen jedno a dvakrát ionizované stavy těchto lehkých prvků značení CII, OII, NII. Grafy relativní koncentrace pozorovaných čar pro charakteristické typy výbojů jsou v následujících grafech:

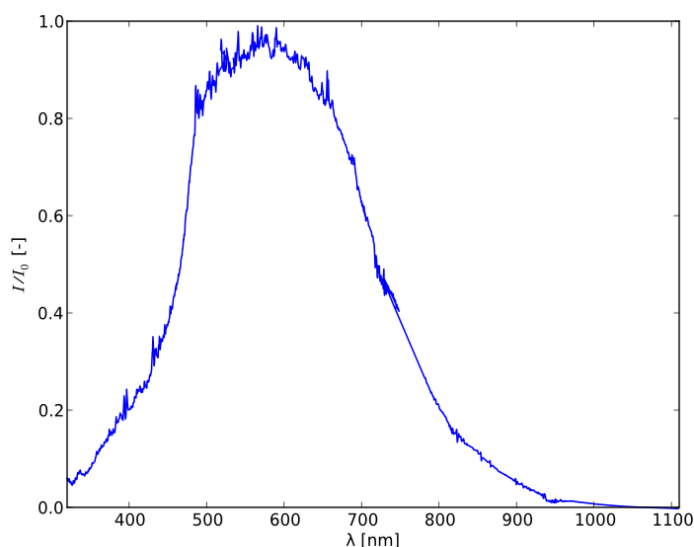


Porovnali jsme tedy spektrum při vodíkovém výboji bez jakéhokoli čištění stěn, vodíkový výboj po vypečení komory, heliový výboj bez čištění komory a porovnali původní stav se stavem po nedávné vakuové havárii.

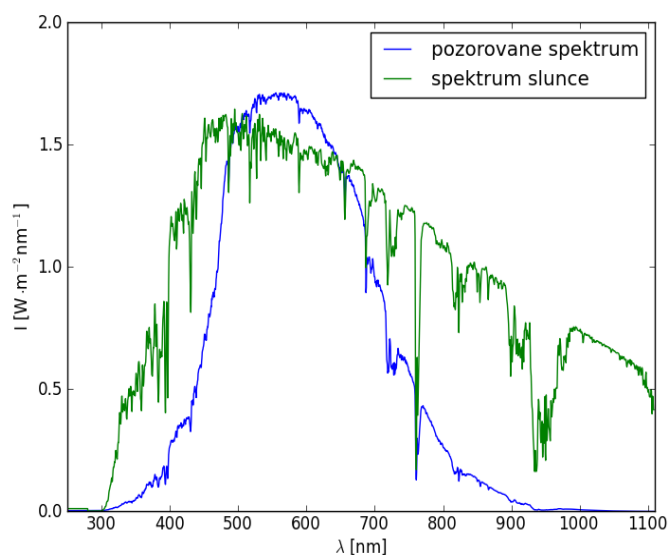
Je vidět, že koncentrace uhlíku razantně poklesla s vypečením komory, ale intenzity kyslíkových a dusíkových čar zůstaly více méně neovlivněny. Možné vysvětlení tohoto chování je, že uhlík, dusík a kyslík se povedlo vypečením ze stěn odstranit, ale nový dusík a kyslík natekly do tokamaku z vnější atmosféry. Množství uhlíku pocházejícího z atmosférického oxidu uhličitého je zanedbatelná, většina ho totiž pochází z par olejové pumpy používané k vyčerpávání tokamaku.

## 4 Relativní kalibrace spektrometru

Kalibraci citlivosti spektrometru je možné provést pomocí absolutně kalibrovaného zdroje bílého světla. Ale ten nebyl během našeho měření k dispozici. Proto jsme použili *volně dostupný* absolutně kalibrovaný zdroj světla. Tímto zdrojem není nic jiného než Slunce. Změřením slunečního záření pomocí našeho spektrometru a porovnáním s absolutně kalibrovanými daty dostupnými na internetu [1] můžeme získat odhad citlivosti pro vlnové délky delší než 300nm. Relativní citlivost je v Obr. č. 1.



Obr. 1 Relativní citlivost spektrometru



Obr. 2 Reálné a změřené spektrum slunce

## Poděkování

Chtěli bychom poděkovat Tomáši Odstrčilovi za strávený čas a informace, které nám sdělil a provedl nás fundamentální problematikou týkající se užití spektrometrie na tokamaku Golem.

## Reference:

- [1] NREL's Electricity, Resources & Building Systems Integration Center  
<http://rredc.nrel.gov/solar/spectra/>