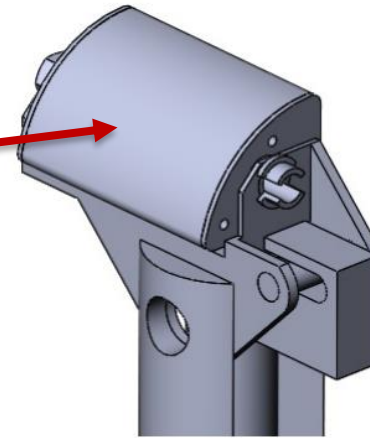


Měření vlastností modelu divertoru z tekutého lithia na tokamaku COMPASS

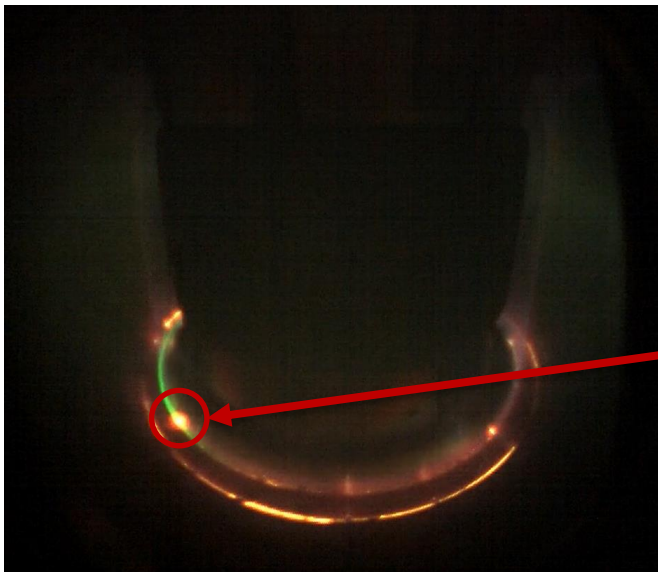
Samuel Lukeš, Mgr. Jan Horáček, Ph.D.,
Aleksandr Prishvitcyn,
Jiří Maliňák

- Od pátku 22. 11. 2019 do středy 27. 11. 2019
- Okolo 60 výstřelů

Kapilární pórovitá struktura (CPS)
naplněná tekutým lithiem



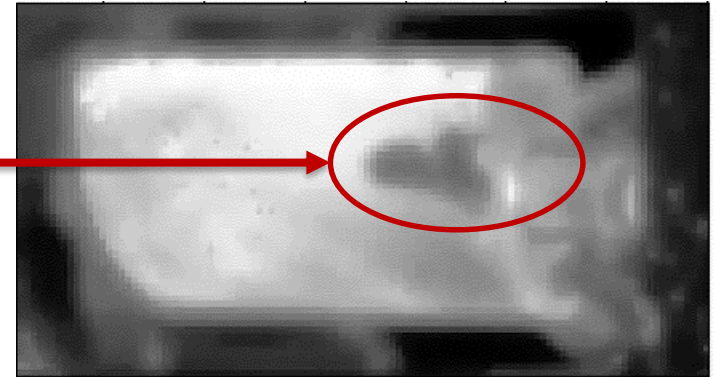
[1] Model držáku CPS



Čelící plazmatu na vnitřním strike-pointu
o tepelném toku až 19 MW/m^2

[2] Vakuová komora tokamaku během výboje

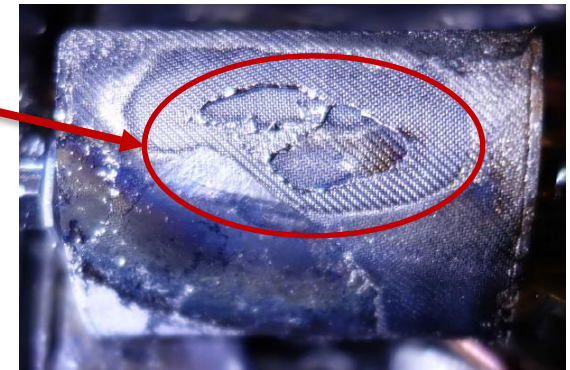
1. Kolik zbylo v CPS lithia po kampani?
 - kolik se vypařilo?
 - kolik odstříklo?
 - je možné dlouhodobé používání?



[3] Infra-kamera #19773

2. Teplota modelu divertoru po skončení výstřelu?
 - odpovídá teplota numerickým předpokladům?
 - nepřesáhla se teplota tavení CPS (molybdenu)?

3. Případná doba roztavení CPS?
 - stihne se roztavit během výstřelu?

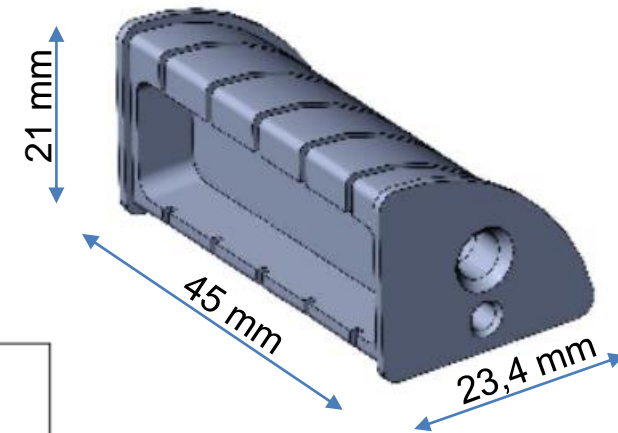
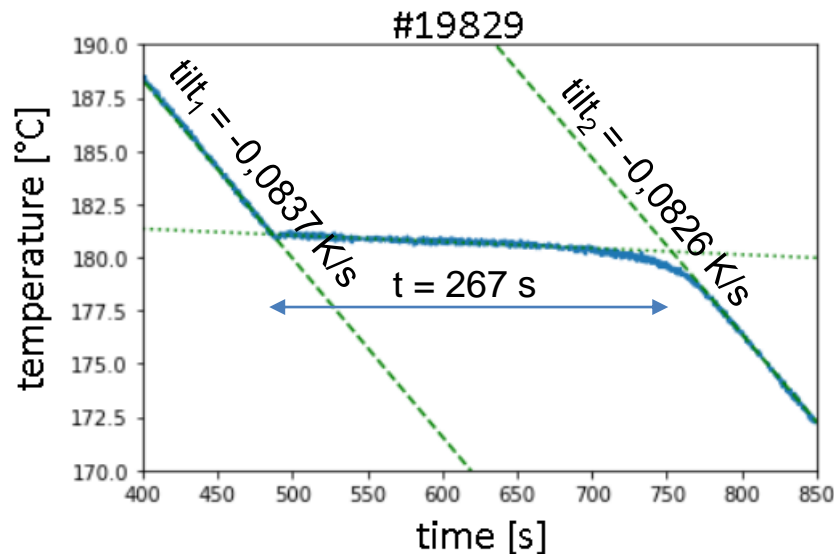


Roztavený model

a) Odhad původní hmotnosti dle technického výkresu:

$$534 \text{ kg/m}^3 \rightarrow m_0 = 2,85 \text{ g}$$

b) Parametry křivky chladnutí:



[5] Model molybdenové nádrže

c) Výpočet:

chladící výkon...
, ale taky...

$P = \text{sklon} \times \text{celková tepelná kapacita}$

$P = \text{hmotnost Li} \times \text{skupenské teplo tání Li} / \text{doba přeměny}$

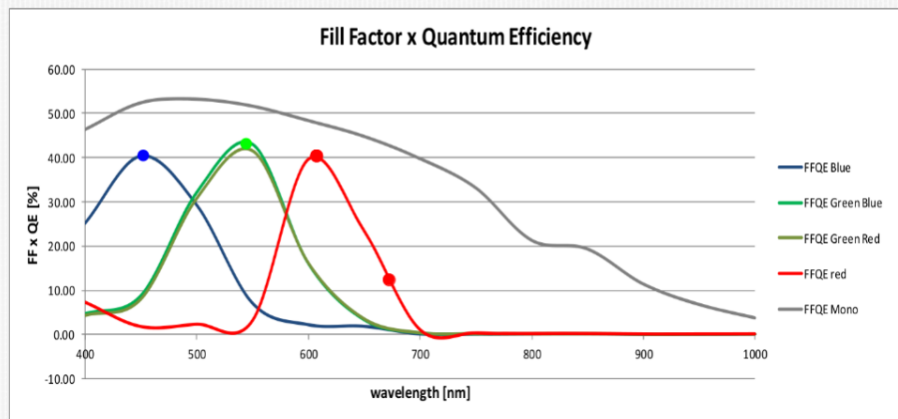
$$\rightarrow m = 2,44 \text{ g}$$

- 30x30 pixelů z vysokorychlostní kamery obsahující celý model
- Porovnáváme poměr intenzit barev:
 - modrá - zelená, červená - zelená a červená - modrá
- Žádná závislost emisivity na vlnové délce: $\epsilon = 0,35$
- Uvažujeme spektrální sensitivitu jako Gausián (dle manuálu kamery)
- Teplotu získáme z Planckova vyzařovacího zákona

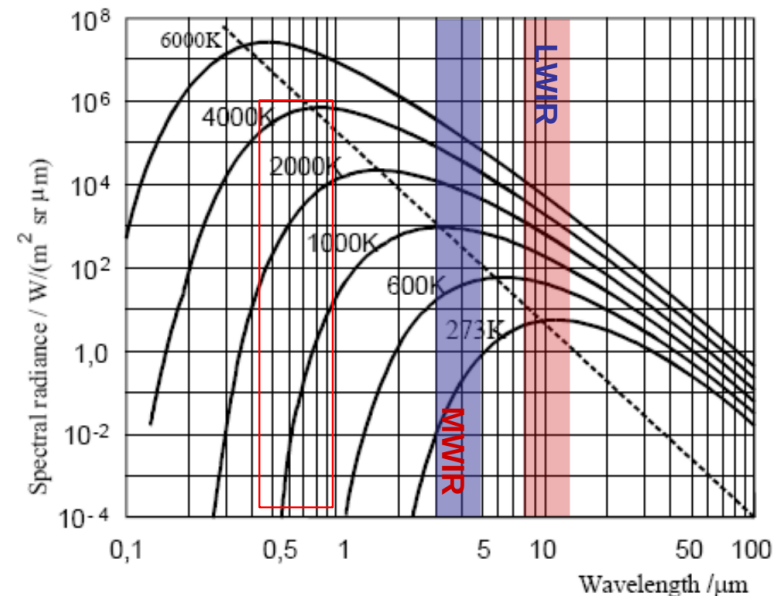
Použité spektrum:

- 610 nm ●
- 550 nm ●
- 450 nm ●

Spectral Sensitivity: FASTCAM Mini UX100



Planckův zákon:

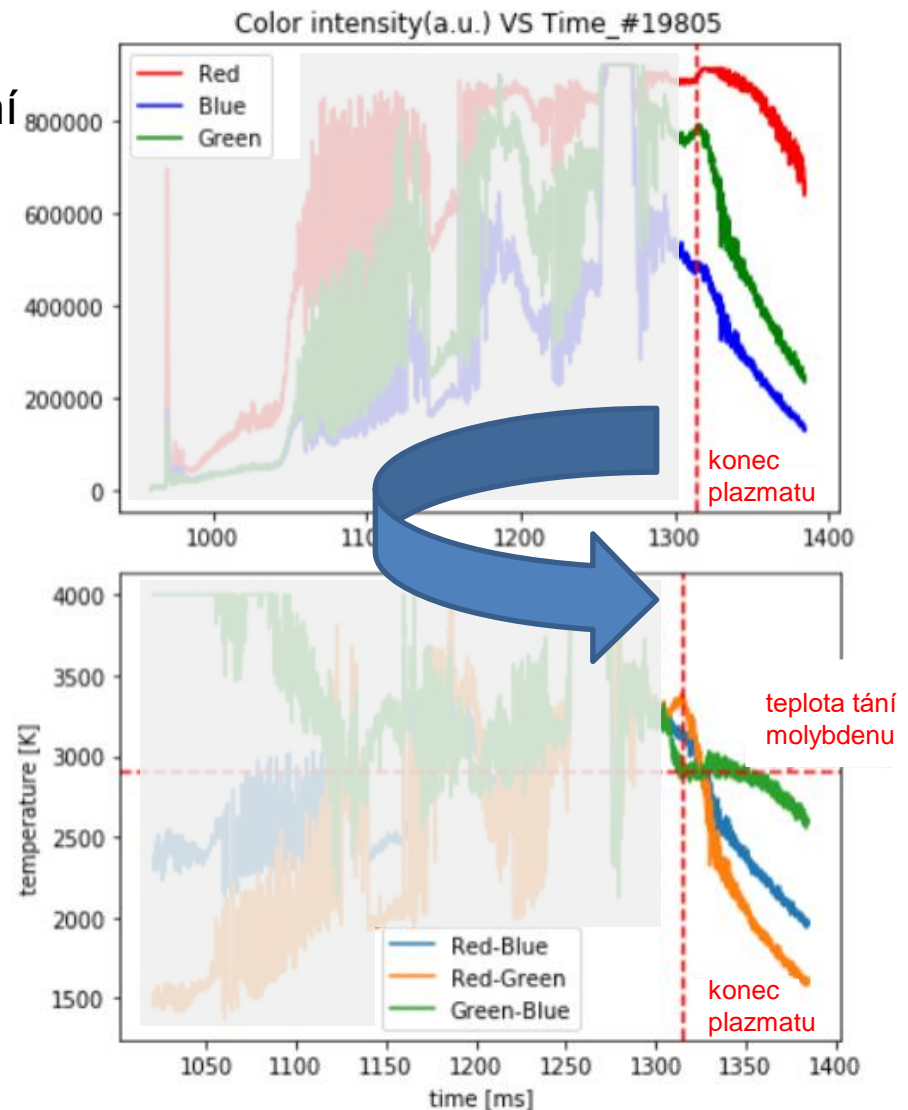
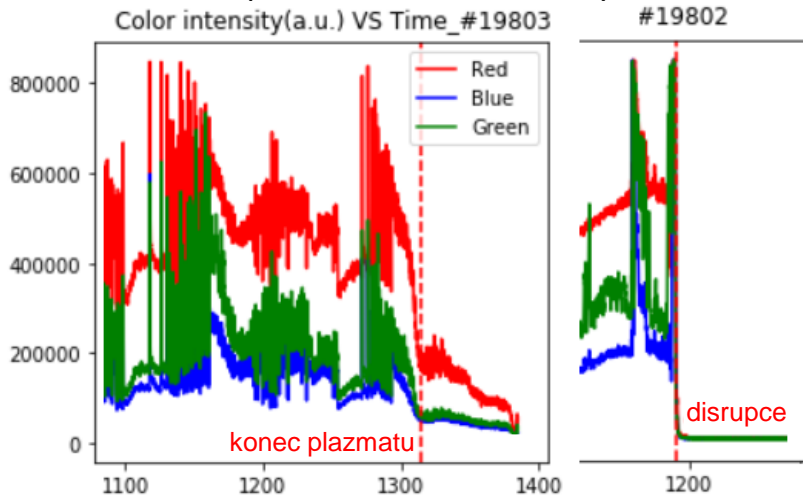


2. Teplota modelu divertoru po výstřelu

- Pro důvěryhodné výsledky je nutný záznam bez plazmatu vyzařující vlastní záření
- Ve výstřelu #19805 je pravděpodobně teplota **vyšší**, než-li teplota tání Mo

Pro srovnání:


Náhlá změna intenzity na konci předchozích výstřelů (#19803, #19802)



a) Předpoklady:

- tepelný tok... 15 MW/m²
- hustota Mo... 10 280 kg/m³
- měrné skupenské teplo tání Mo... 390 kJ/kg
- měrná tepelná kapacita Mo... 250 J/kg.K

0,15 mm



0,1 mm

b) Doba zvýšení teploty na teplotu tání 2 623°C:

- z počáteční teploty varu Li... 1 342°C

[6] Molybdenová mříž

$$t_{\text{nárůst}} = \text{energie potřebná ke zvýšení teploty} / (\text{tepelný tok} \times \text{povrch drátu})$$

$$= 21 \text{ ms}$$


c) Doba tavení:

$$t_{\text{tavení}} = \text{energie potřebná k roztavení} / (\text{tepelný tok} \times \text{povrch drátu})$$

$$= 17 \text{ ms}$$

d) Celková doba:

→ $t = t_{\text{nárůst}} + t_{\text{tavení}} = \mathbf{38 \text{ ms}}$

1. Z celého modelu se vypařilo(odkáplo) přibližně **0,5 g** Li (1 cm^3)
 - zkondenzovaná vrstva **nepoškodila diagnostiku**
 - kapky často dopadli blízko modelu, či vypařeny plazmatem
 2. Při výstřelu **#19805** (v půli kampaně) došlo k **nevratnému poškození CPS**
 - příčina pouze spekulativní
(Li nejspíše nebylo roztavené před výbojem)
 - odpařující(odtrhávající) se molybden měl za následek disrupce ve výbojích následujících
- 
3. Divertor z tekutého lithia **je schopen dlouhodobého provozu:**
 - při zajištění proti pohybu kapek po povrchu
(čištění vrstvy Li_2O , lepší ukončení hran či protažení modelu)
 - snesitelná ztráta lithia odpařením, i při zatížení několik MW/m^2
(kvůli pohybu strike-pointu před disrupcí nemáme výstřel s maximálním zatížením)

- Obrázek [1] – Liquid metal divertor target. *LMD target for COMPASS* od IPP CAS, delivery report of LMD target No 1 (2018, Říjen 5).
- Obrázek [2] – COMPASS tokamak vacuum chamber during 19802. *RIS #19802* od IPP CAS, COMPASS (2019, Listopad 27).
- Obrázek [3] – Infra-camera during 19773. *IC #19773* od IPP CAS, COMPASS (2019, Listopad 25).
- Obrázek [5] – Liquid metal divertor target – Mo part. *LMD target for COMPASS* od IPP CAS, delivery report of LMD target No 1 (2018, Říjen 5).
- Obrázek [6] – Molybdenum mesh. EVTIKHIN, V.A., etal. *Lithium divertor concept and results of supporting experiments*. Plasma Physics and Controlled Fusion, 2002, Vol. 44.(2018, Říjen 5).

Time = 950.0 ms
Frame = 0