



PRPL - TOMOGRAFIE NA TOKAMAKU GOLEM

ÚVODNÍ PREZENTACE

Bc. Jakub Chlum & Bc. Michal Odložilík



Tomografie na tokamaku GOLEM

- Automatizace tomografie viditelného záření na tokamaku GOLEM
- Vyzkoušení dalších tomografických algoritmů
- Optimalizace finálních algoritmů

Data z kamer:



f

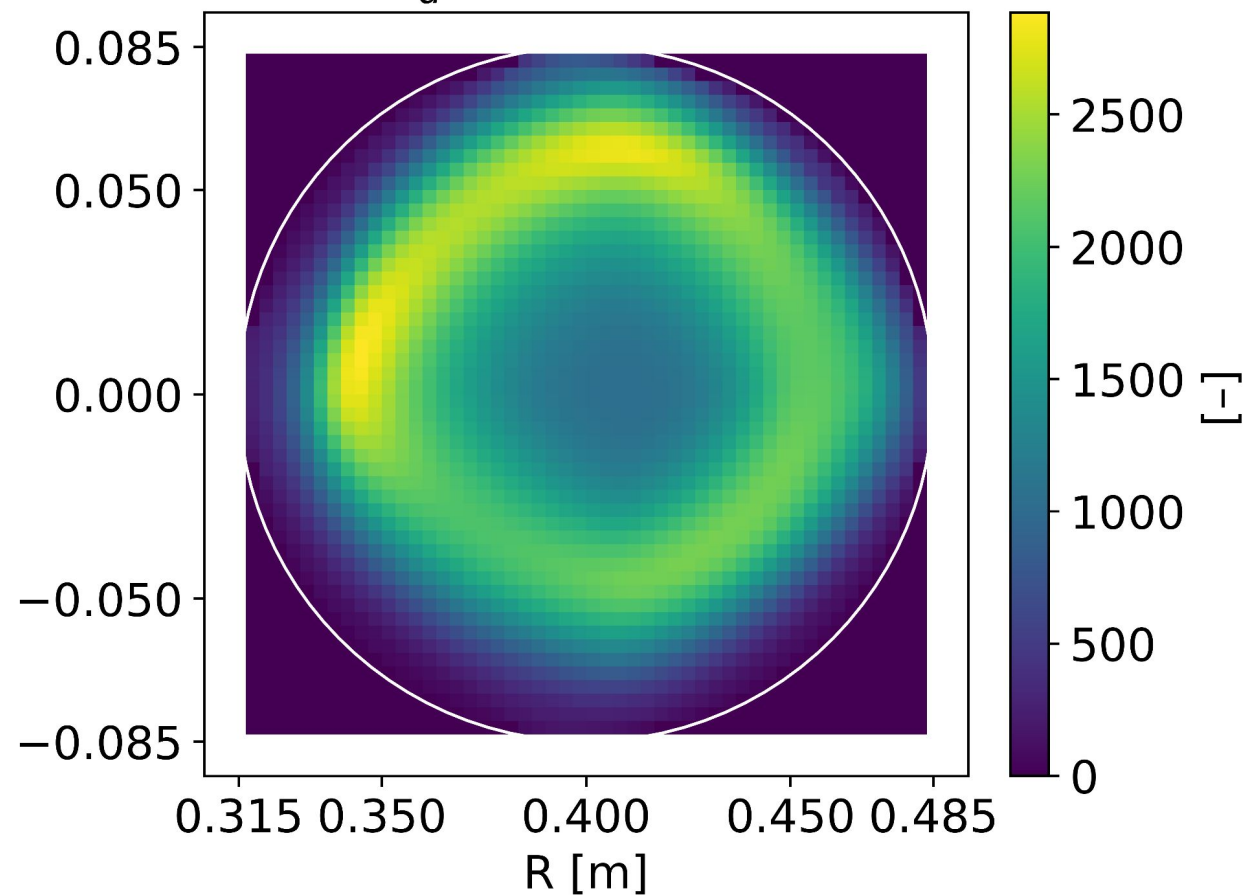


g

z [m]

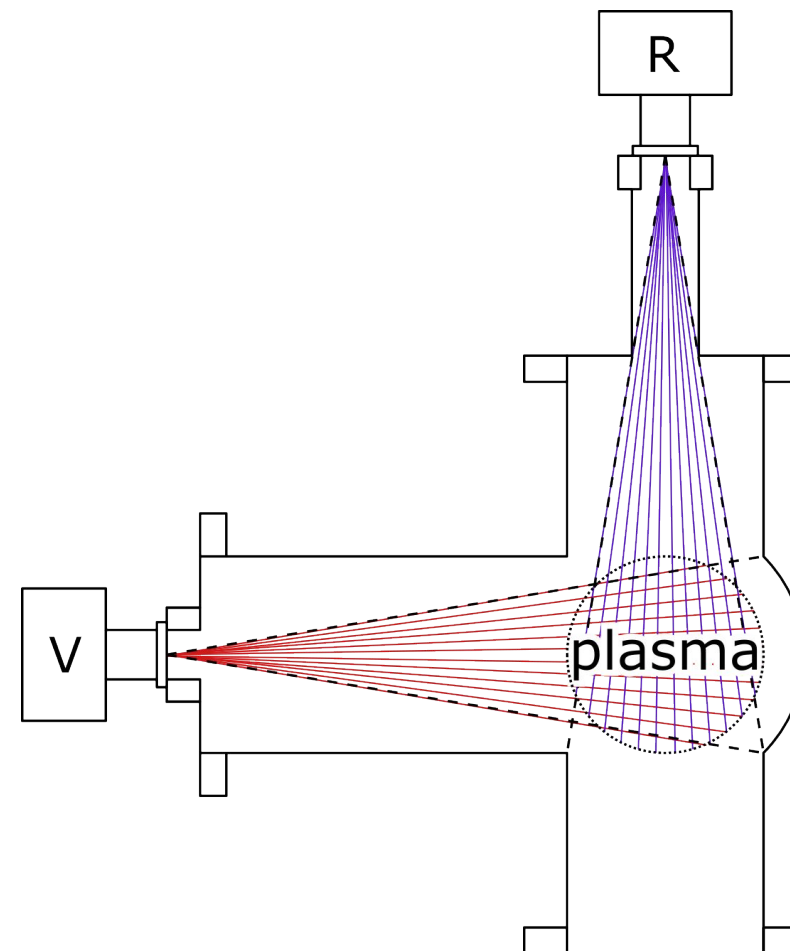
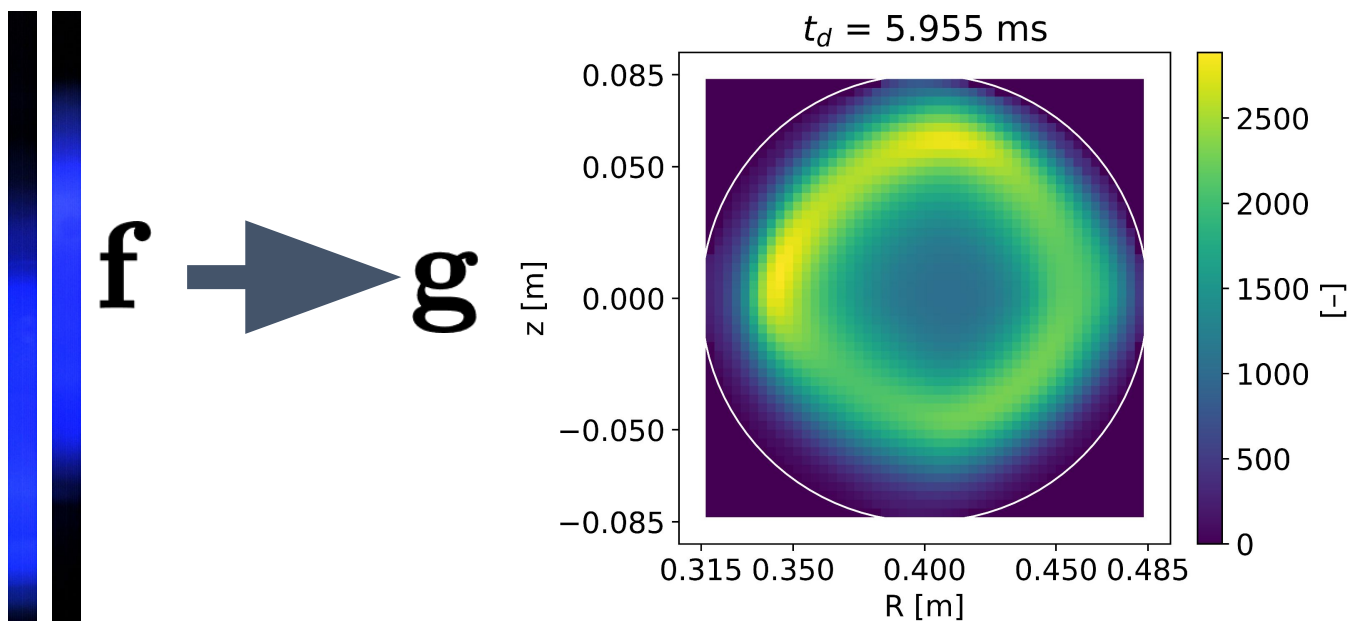
Emisivita plazmatu:

$t_d = 5.955$ ms



TOMOGRAFIE

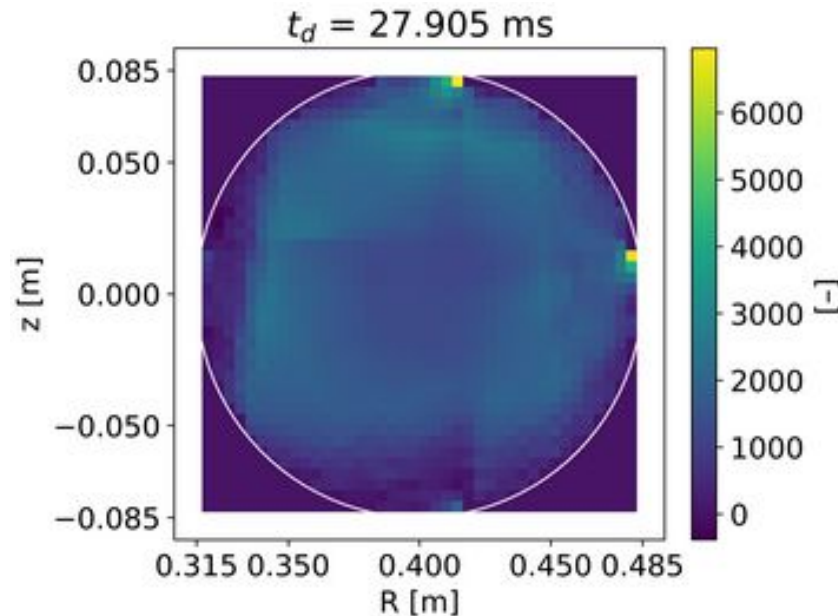
- Tomografická úloha: $\mathbf{f} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{g}$
- Často špatně podmíněná, nedourčená
→ Speciální metody řešení



Obr.: Schéma umístění kamer na velkém kříži tokamaku GOLEM

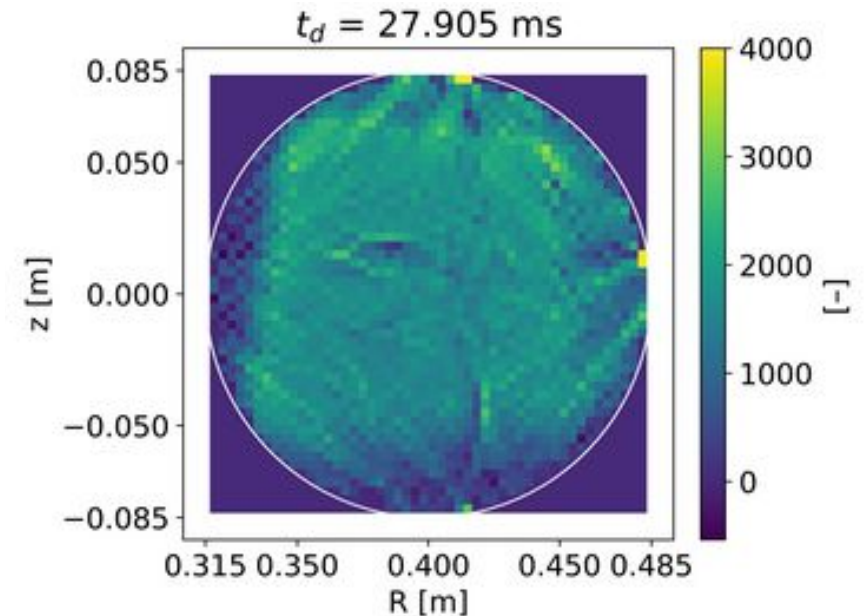
- SVD:
 - “Singular value decomposition”
 - Princip:

$$\mathbf{T} = \mathbf{U} \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{V}^T$$

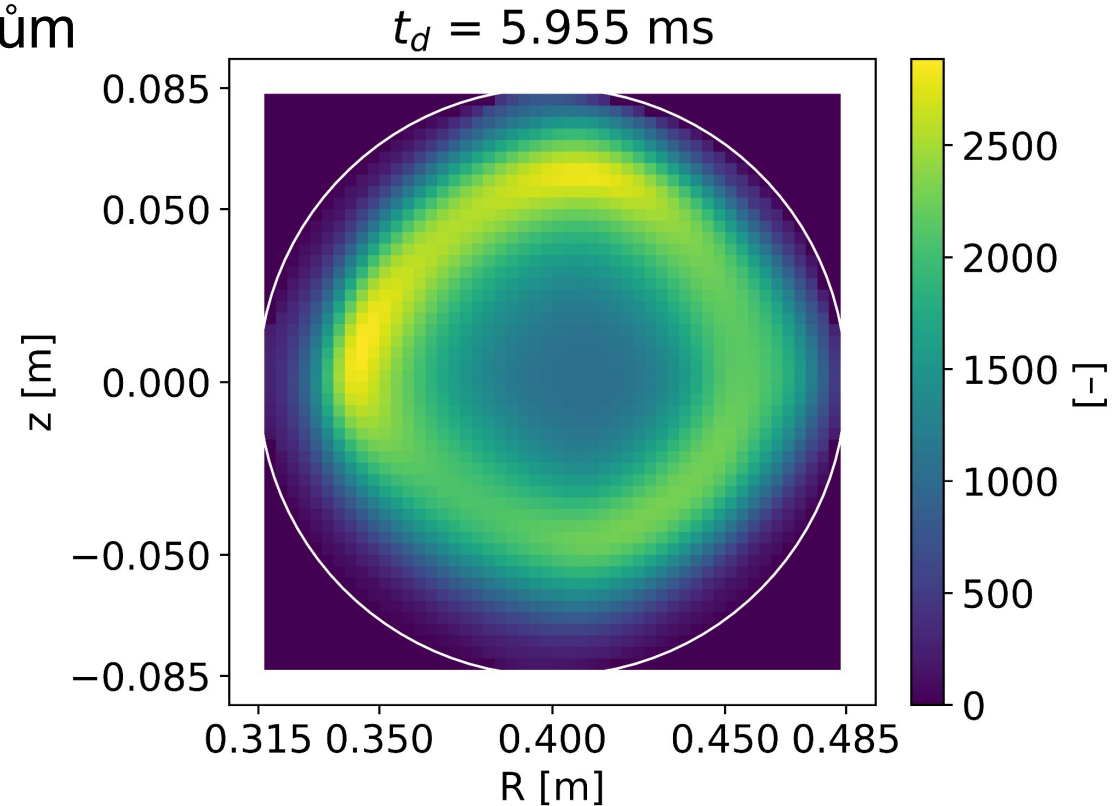


- BoB:
 - “BiOrthogonal basis decomposition”
 - Princip:

$$\mathbf{g} = \sum_i^{N_n} (\mathbf{b}_i \cdot \mathbf{g}) \cdot \mathbf{b}_i = \sum_i^{N_n} \frac{1}{k_i} (\hat{\mathbf{e}}_i \cdot \mathbf{f}) \cdot \mathbf{b}_i$$



- Tichonovova regularizace s minimalizací Fisherovy informace [4]
 - hladkost profilu emisivity
 - podle hodnot emisivity
 - vzhledem k magnetickým povrchům
- balíček Tomotok [1]

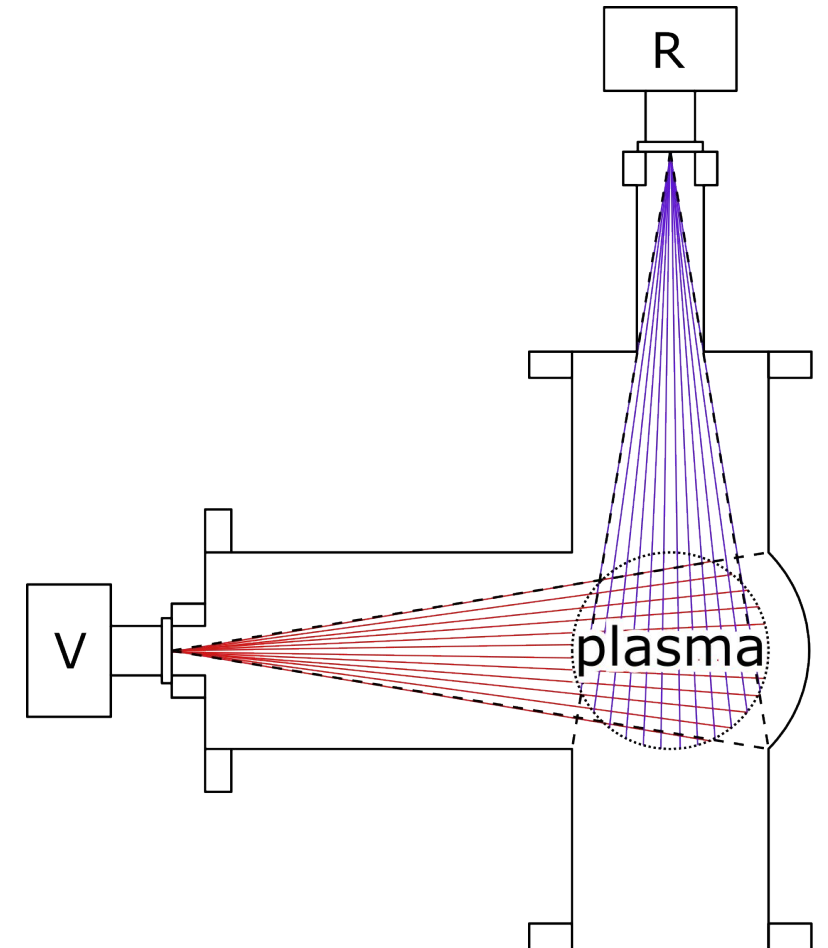


TOMOGRAFIE NA GOLEMU

- viditelné kamery
 - až ~100 000 fps, 1280 px
 - barevné i černobílé



Obr.: Rychlá kamera
Photron Mini UX100 [2]



Obr.: Schéma umístění kamer na
velkém kříži tokamaku GOLEM

- Cíl:
 - ➔ Automatizace tomografie
- Přípravná část:
 - ➔ Zprovoznit automatizaci tomografie
 - ➔ Připravit skripty na experimentální část (měření, testování)
 - ➔ Zjistit nejlepší metodu inverze (zřejmě MFR)



- Úprava stávajícího skriptu pro MFR
- Robustní nastavení parametrů (odhad chyby, anizotropie hladkosti,...)

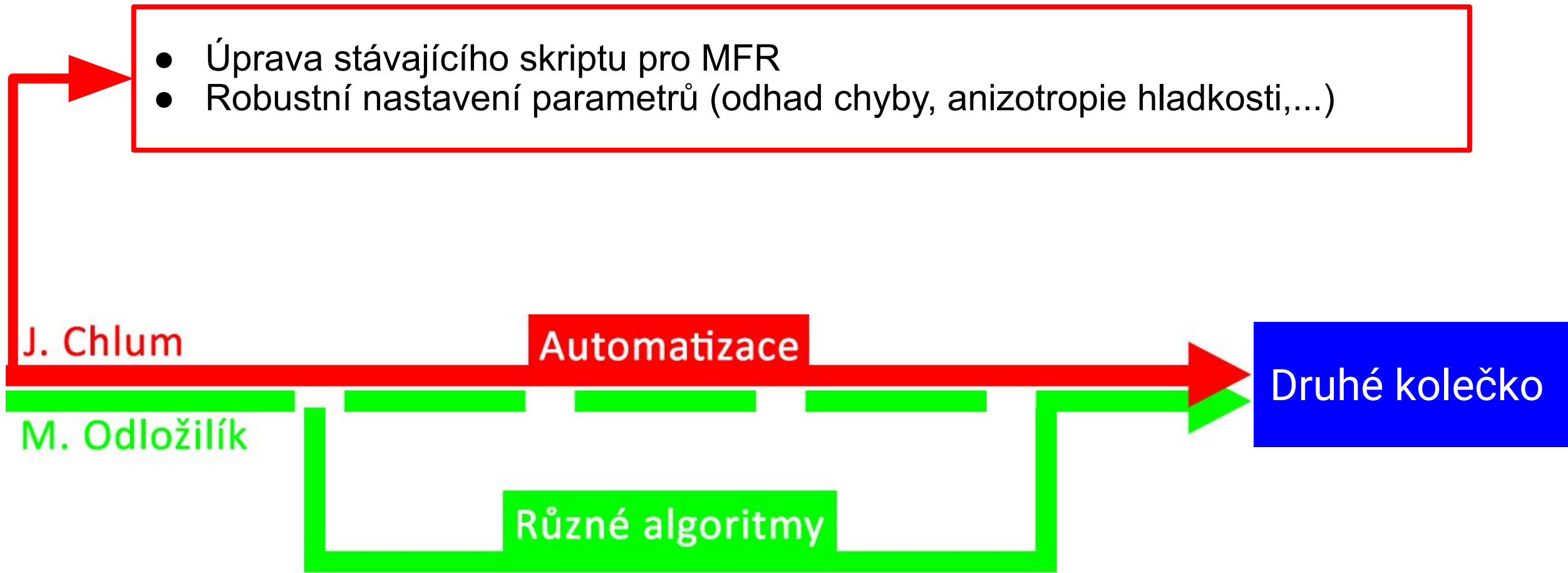
J. Chlum

Automatizace

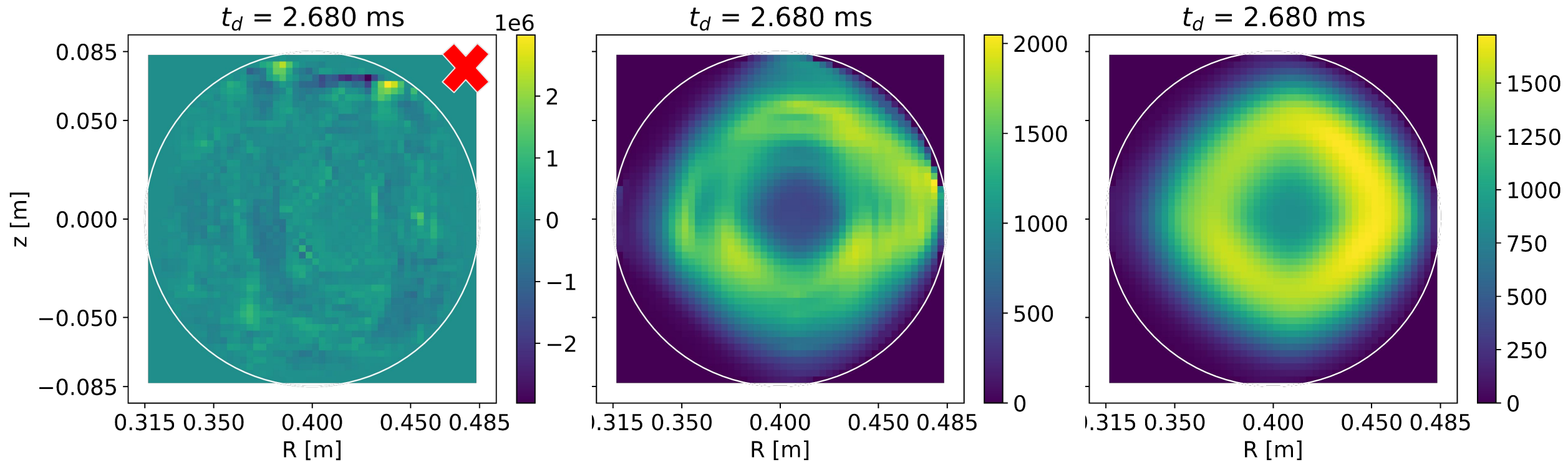
M. Odložilík

Různé algoritmy

Druhé kolečko



- Výrazný vliv odhadu chyb - důležité nastavit správně pro konkrétní data



Obr.: Příklady rekonstrukcí pro různé, vzestupné odhady chyby dat

- Úprava stávajícího skriptu pro MFR
- Robustní nastavení parametrů (odhad chyby, anizotropie hladkosti,...)

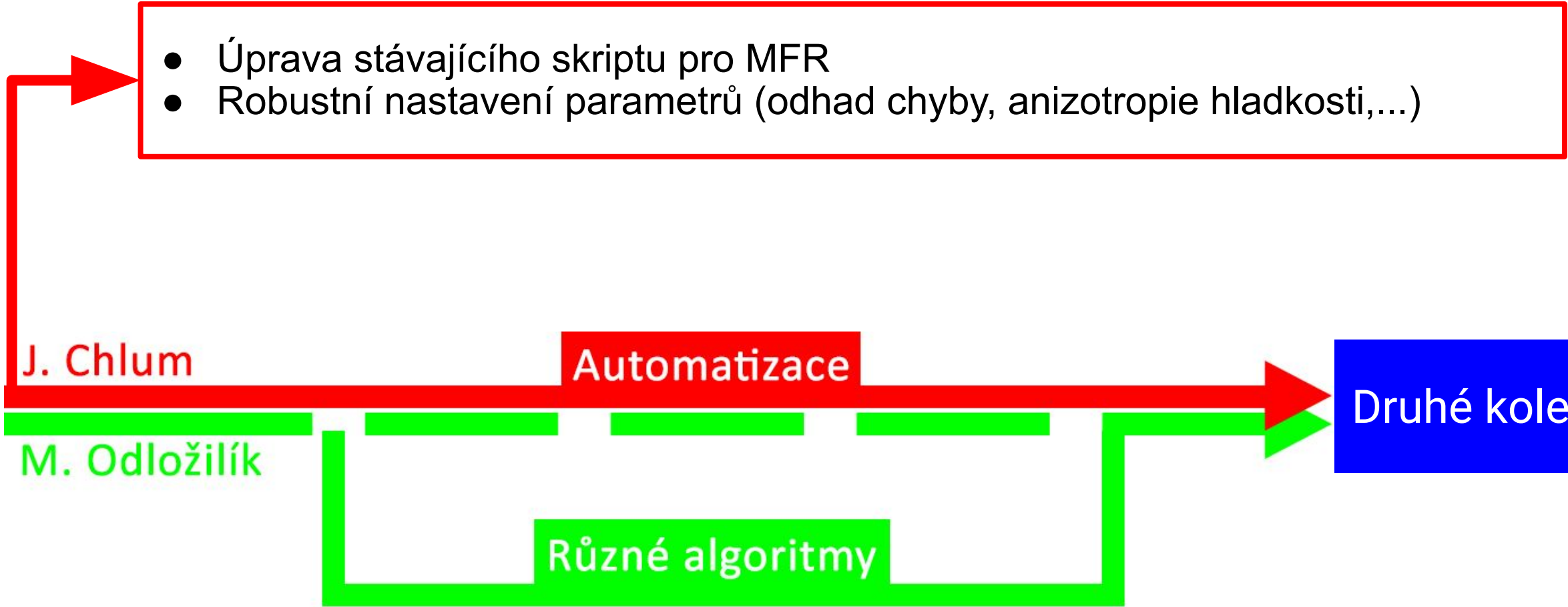
J. Chlum

Automatizace

M. Odložilík

Různé algoritmy

Druhé kolečko



- Mimo MFR existují algoritmy BoB, SVD, (GEV) (jiný princip)
- Šance, že ostatní metody nebudou konvergovat ke správnému výsledku
- MFR tedy zřejmě nejvhodnější, ale možnost porovnání
- Optimalizace MFR pomocí SVD?

J. Chlum

Automatizace

M. Odložilík

Různé algoritmy

Druhé kolečko

- Opravy a optimalizace
- Testování automatizace na různých výbojích
- Zpřesnění výsledků

J. Chlum

Automatizace

M. Odložilík

Různé algoritmy

Druhé kolečko



Tomografie na tokamaku GOLEM

- Automatizace tomografie viditelného záření na tokamaku GOLEM
- Vyzkoušení dalších tomografických algoritmů
- Optimalizace finálních algoritmů

- [1] SVOBODA, J. et al. Tomotok: Python package for tomography of tokamak plasma radiation. *Journal of Instrumentation*. 2021, 16 (C12015)
- [2] Photron Europe Limited. *Product Datasheet Mini UX Fastcam series by Photron*, [online]. 2021. [cit. 2022-06-27] Dostupné z: <https://photron.com/wp-content/uploads/2021/08/Mini-UX-2021.pdf>
- [3] SILBURN, S. et al. Calcam, 2.8.3, [software]. Zenodo, 2022. Dostupné z: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6405602>
- [4] MLYNÁŘ, J, et al. Current Research into Applications of Tomography for Fusion Diagnostics. *Journal of Fusion Energy*. 2018, 38(2019), 458–466.

- $\mathbf{f} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{g} + \boldsymbol{\xi}$
- $(\tilde{\mathbf{T}}^T \cdot \tilde{\mathbf{T}} + \alpha \mathbf{H}^{(n)}) \cdot \mathbf{g}^{(n+1)} = \tilde{\mathbf{T}}^T \cdot \tilde{\mathbf{f}}$
 - $\mathbf{H}^{(n)}$ – regularizační matice
 - α – regularizační parametr
- $\mathbf{H}^{(n)} = S(\eta) \mathbf{B}_{\parallel}^T \cdot \mathbf{W}^{(n)} \cdot \mathbf{B}_{\parallel} + S(-\eta) \mathbf{B}_{\perp}^T \cdot \mathbf{W}^{(n)} \cdot \mathbf{B}_{\perp}$
- $W_{ij}^{(n)} = \frac{1}{g_i^{(n-1)}} \cdot \delta_{ij}$
- $S(\eta) = \frac{1}{1+e^{-\eta}}$
- α z minimalizace $|\chi^2 - 1| = \left| \frac{1}{n_l} (\tilde{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{g} - \tilde{\mathbf{f}})^T \cdot (\tilde{\mathbf{T}} \cdot \mathbf{g} - \tilde{\mathbf{f}}) - 1 \right|$

TOMOGRAFIE

- Tomografická úloha: $\mathbf{f} = \mathbf{T} \cdot \mathbf{g}$
- Často špatně podmíněná, nedourčená
→ Speciální metody řešení

Př. reálného pohledu

