Třídění databáze výstřelů tokamaku COMPASS

se zvláštním ohledem na reciproké sondy

Bc. Kateřina Jiráková

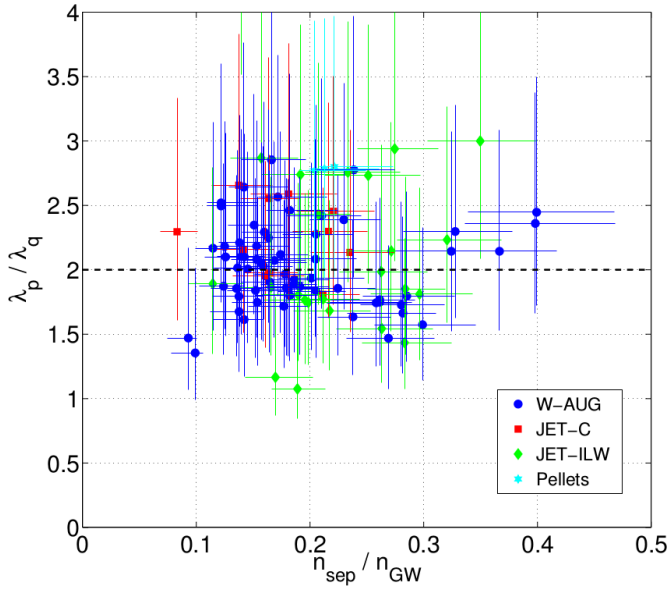
FJFI ČVUT
Školitel: Mgr. Jakub Seidl, Ph.D.

22. ledna 2018

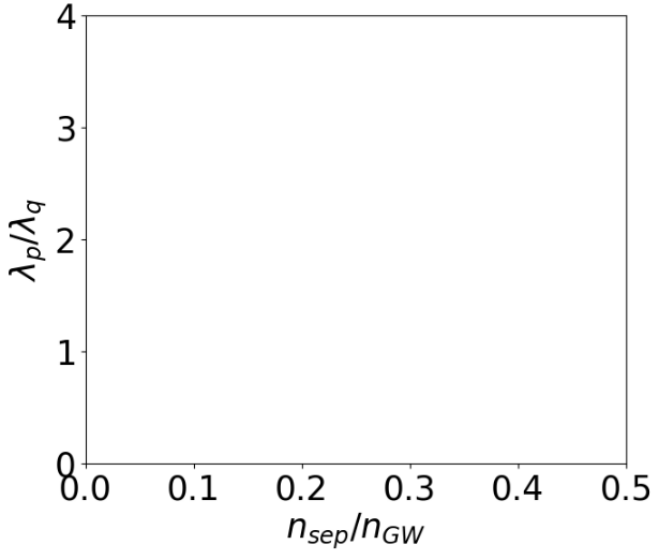
Motivace: Statistická analýza mnoha výstřelů

T. Eich et al, 2017:
„Šířka SOL $\lambda_q = \frac{1}{2}\lambda_p$ nezávisle na normalizované hustotě n_{sep}/n_{GW}."

JET + AUG



COMPASS

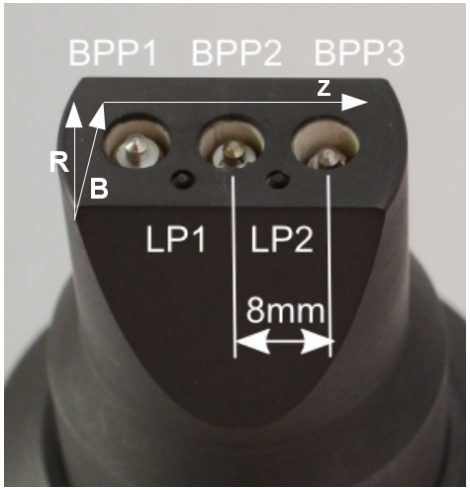


Lze reprodukovat na datech z tokamaku COMPASS?

Motivace: Získání dat pro analýzu

- databáze tokamaku COMPASS obsahuje **$\sim$16000 výstřelů**

  = obrovský statistický soubor!



Horizontální reciproká sonda - měření $\lambda_{q,p}$.

Motivace: Většina výstřelů neposkytne použitelná data

z 16000 výstřelů:

- v 2853 nevzniká plazma
- v 13566 HRCP neměří
- v 7644 nejsou vhodné podmínky pro měření HRCP

Otázka O:
„Které výstřely mohu použít pro svoji analýzu?“

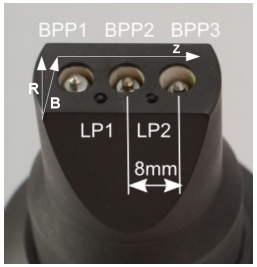
Požadavek P:
„Chci co nejvíce dat!“

Požadavky na dobré měření reciproké sondy

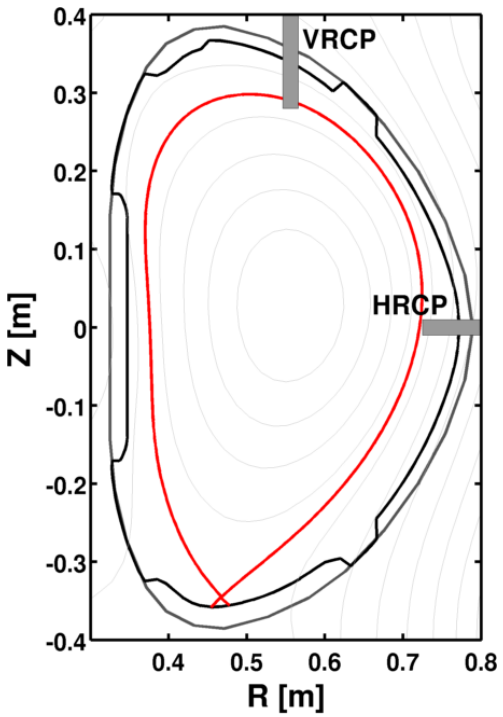
- reciproká sonda (RCP) měří během reciprokace = rychlý pohyb do okrajového plazmatu a ven
- plazma stacionární během reciprokace → RCP měří **radiální profil** (různých veličin)

Podmínky nutné pro kvalitní měření RCP

1. neměnné plazma během reciprokace = *flat top*
2. správné provedení reciprokace
3. správné měření sond nesených na RCP



Hlavice HRCP a VRCP, nesené sondy.



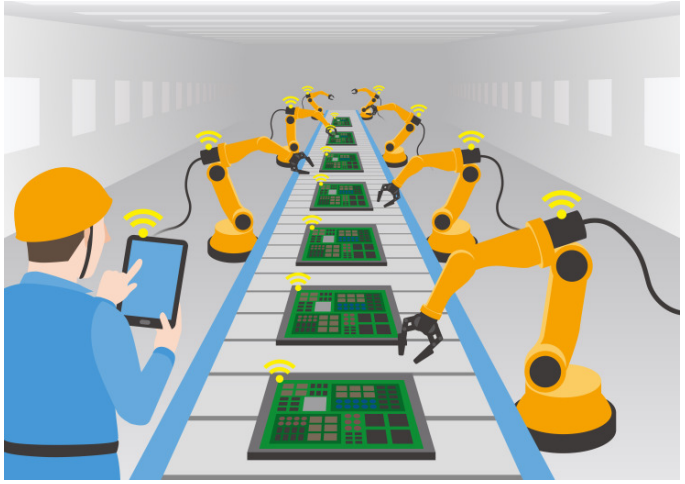
Poloha horizontální (HRCP) a vertikální (VRCP) reciproké sondy v tokamaku COMPASS.

Obsah prezentace

- Automatické vs. manuální metody
- Detekce *flat topu*
- Detekce reciprokace
- Exponát ze ZOO signálů

Flat top.

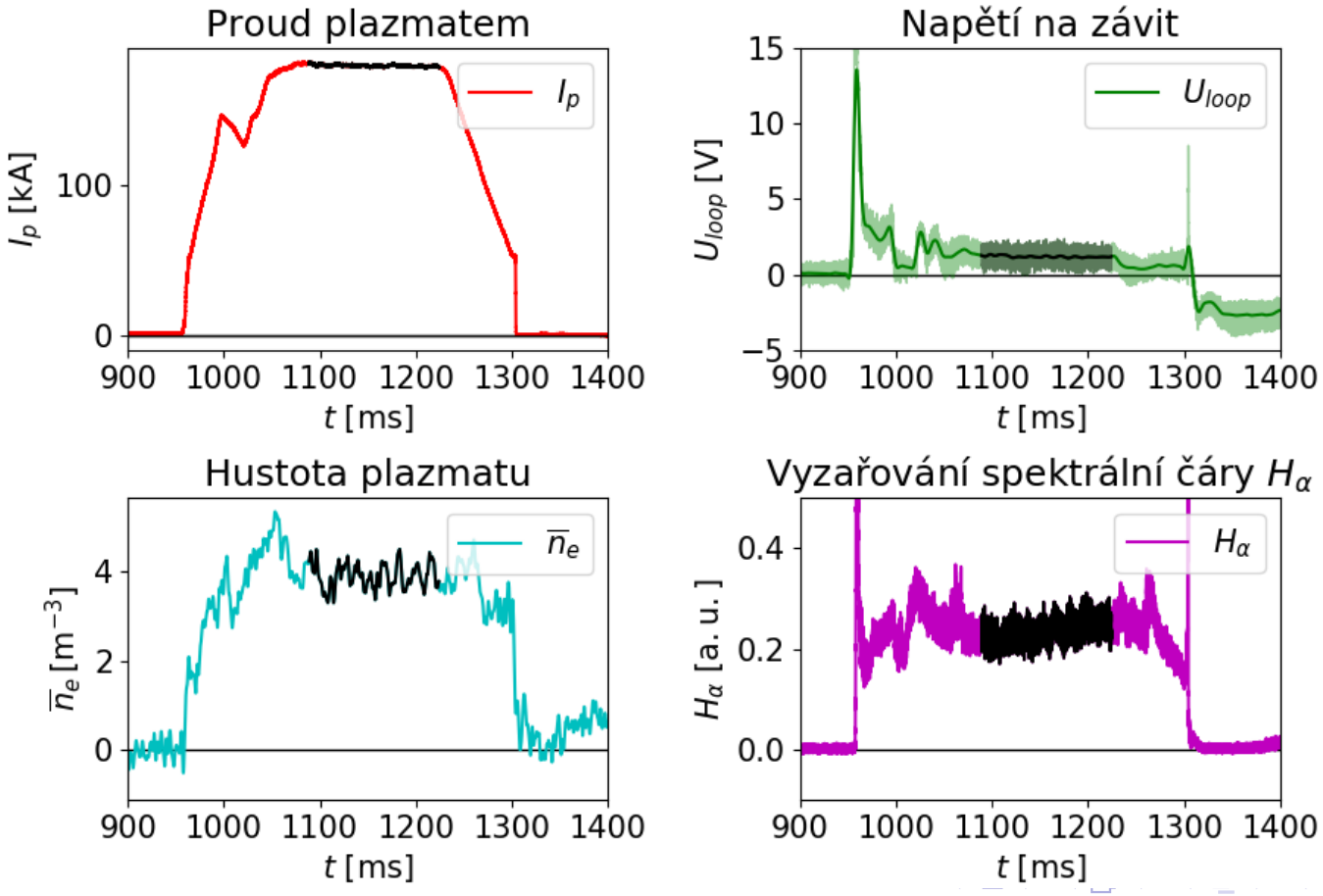
Automatické vs. manuální metody



- databáze COMPASSu se v čase pouze zvětšuje
  $\rightarrow$ je nutné navrhnout automatické procedury na její třídění
- můj dosavadní postup: **polo-automatická detekce**
  - automatický algoritmus vyrobí první přiblížení, pak ruční kontrola
  - spolehlivost algoritmů se různí (20 % - 95 %)

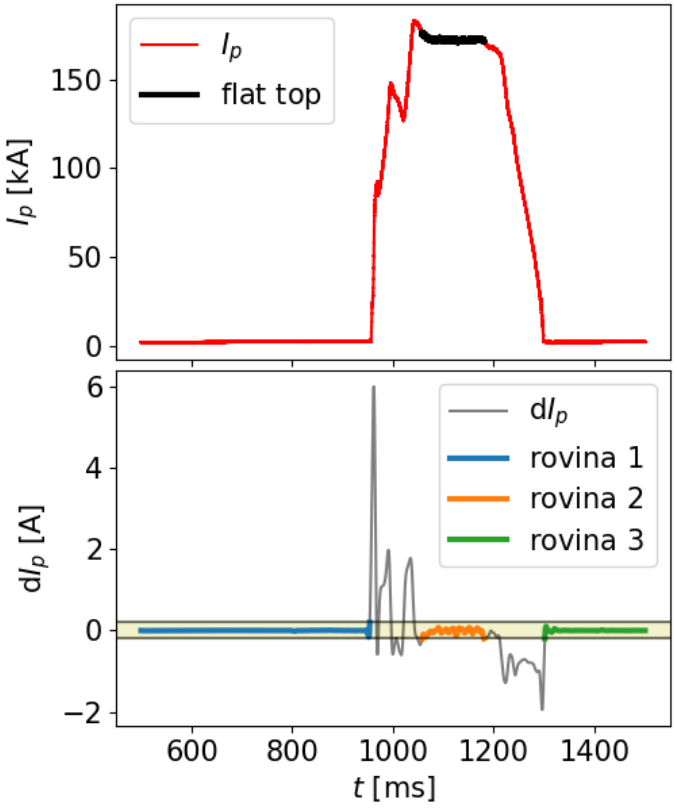
Flat top

- doba ve výstřelu, kdy je plazma udržováno v **neměnném stavu**
- pojmenován podle tvaru $I_p(t)$ (zde pro výstřel #14285)



Detekce *flat topu*

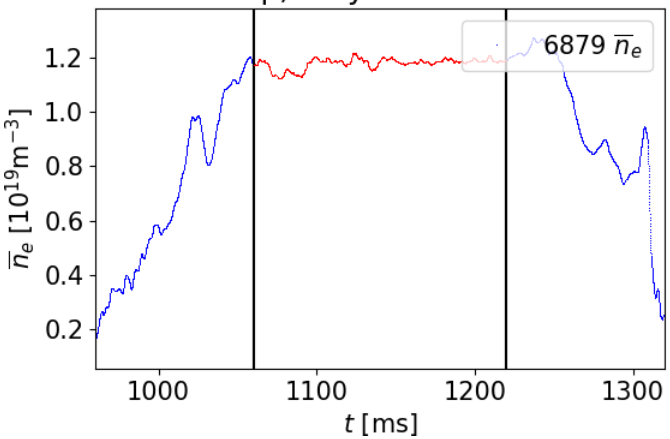
1. automatická detekce **konstantního I_p**
   - kritérium: $dI_p < C$ v právě třech oblastech signálu
   - signál nejprve vyhlazen lowpass filtrem s $f_{cutoff} = 200$ Hz
2. **ruční kontrola I_p** a I_{SFPS}
   - konstantní I_{SFPS} (proud cívkami tvarujícími plazma) ukazuje stálý tvar plazmatu
3. automatická detekce **konstantního $\overline{n}_e$**
   - relativní fluktuace $< 50\%$
   - hustota se mění max. o $30 - 50\%$
   - plně automatizované



Příklady detekce konstantní hustoty plazmatu $\overline{n}_e$

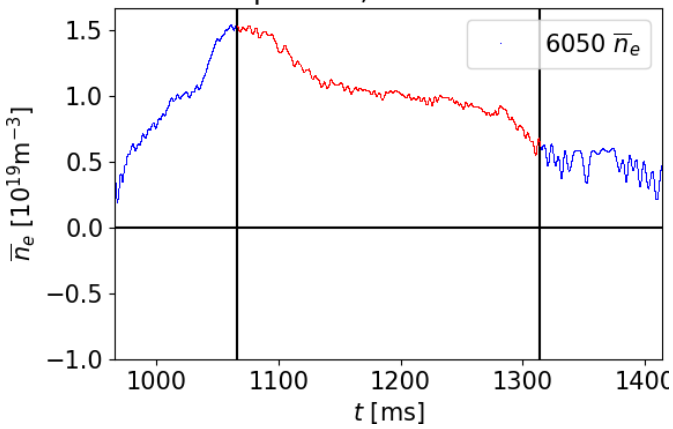
Konstantní $\overline{n}_e$

Flat top, very small variance



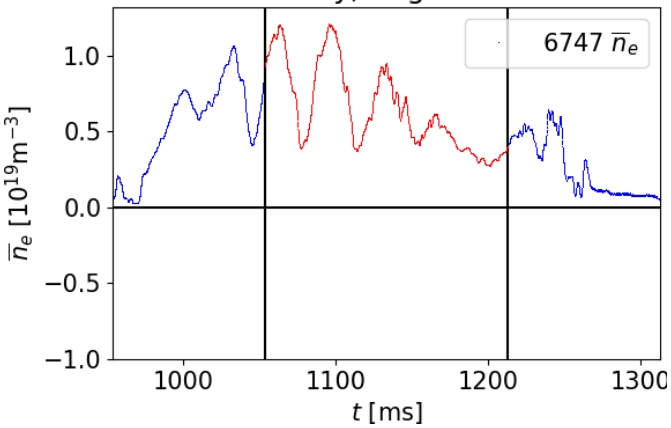
Klesající $\overline{n}_e$

Ramp-down, small variance



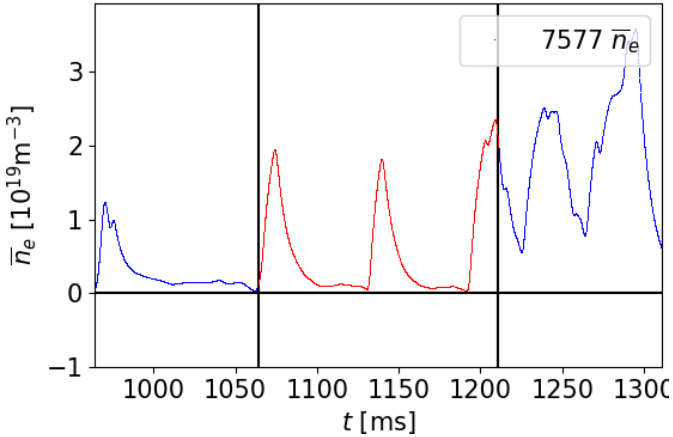
Oscilující $\overline{n}_e$ (feedback)

Oscillatory, large variance

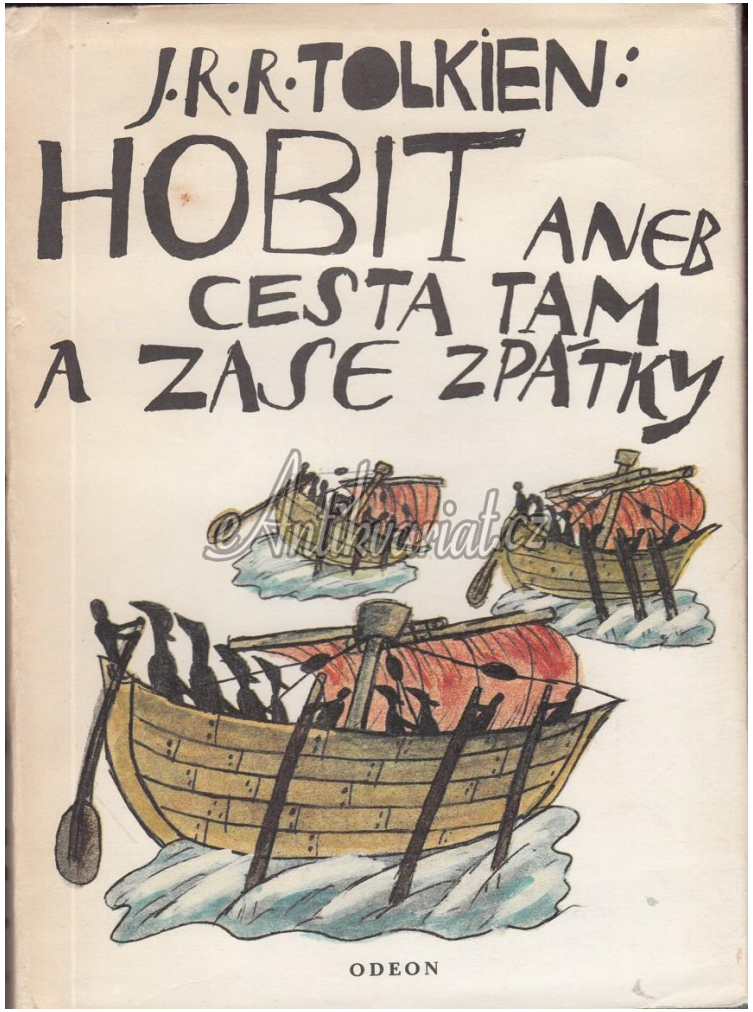


Nesprávné měření $\overline{n}_e$

Oscillatory, large variance

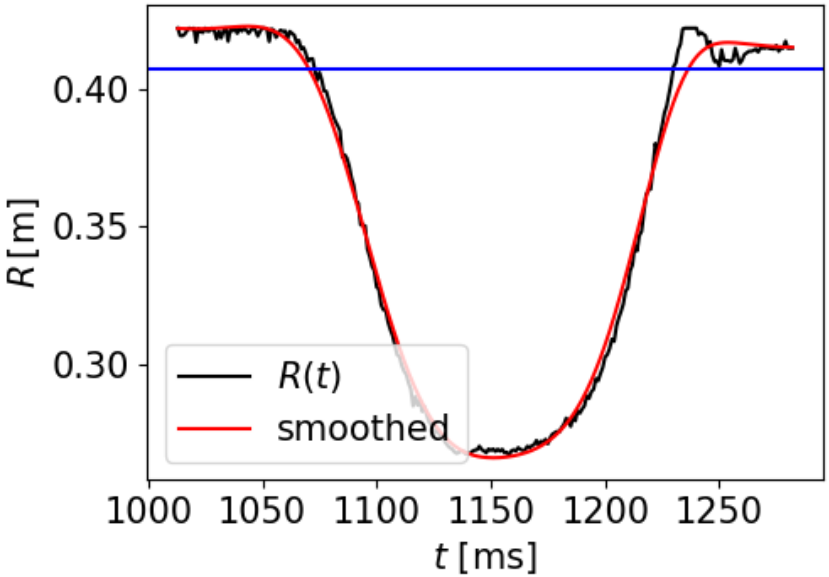


Detekce reciprokace (pohybu reciproké sondy)



Detekce reciprokace

1. **vyhladit $R(t)$** lowpass filtrem s $f_{cutoff} = 15$ Hz
2. začátek/konec reciprokace = sonda je na **10 % vysunuta**



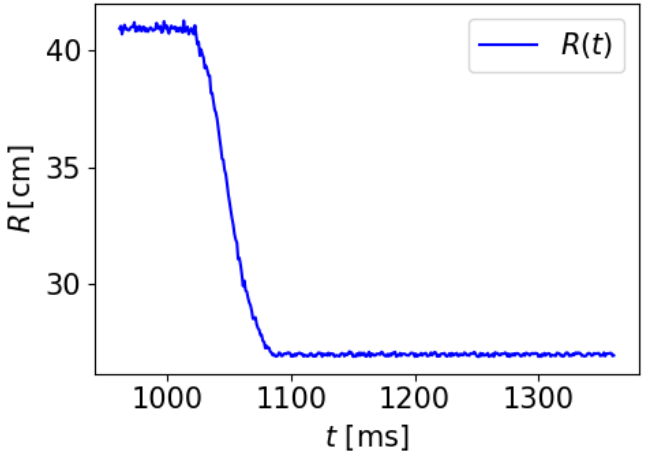
Reciprokace HRCP, záznam radiální polohy v čase $R(t)$.

Modrá čára = HRCP urazila 10 % cesty.

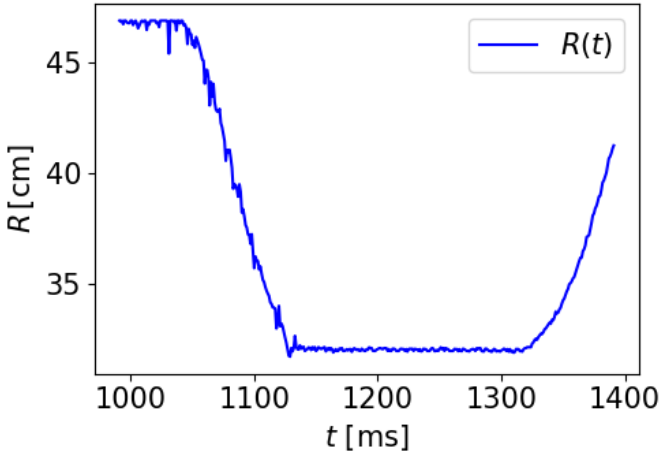
- algoritmus detekce je téměř 100% spolehlivý
- jediný problém představují neúplné nebo vícenásobné reciprokace

Příklady atypických reciprokací

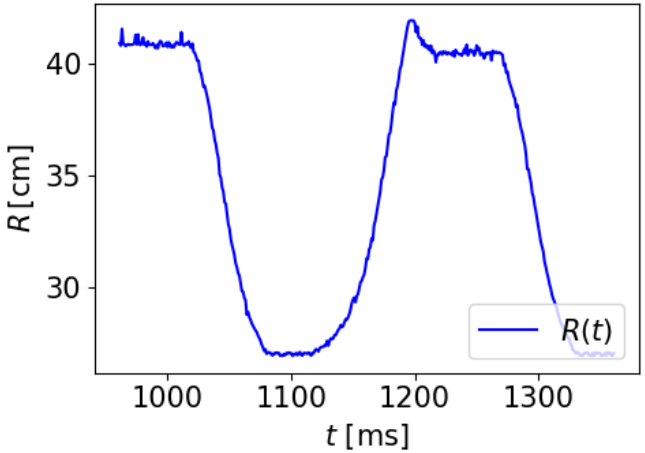
Poloviční reciprokace (VRCP, #7775)



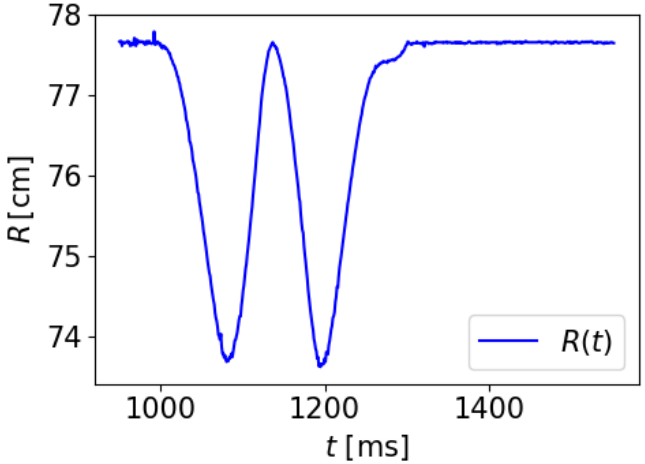
Neúplná reciprokace (VRCP, #8706)



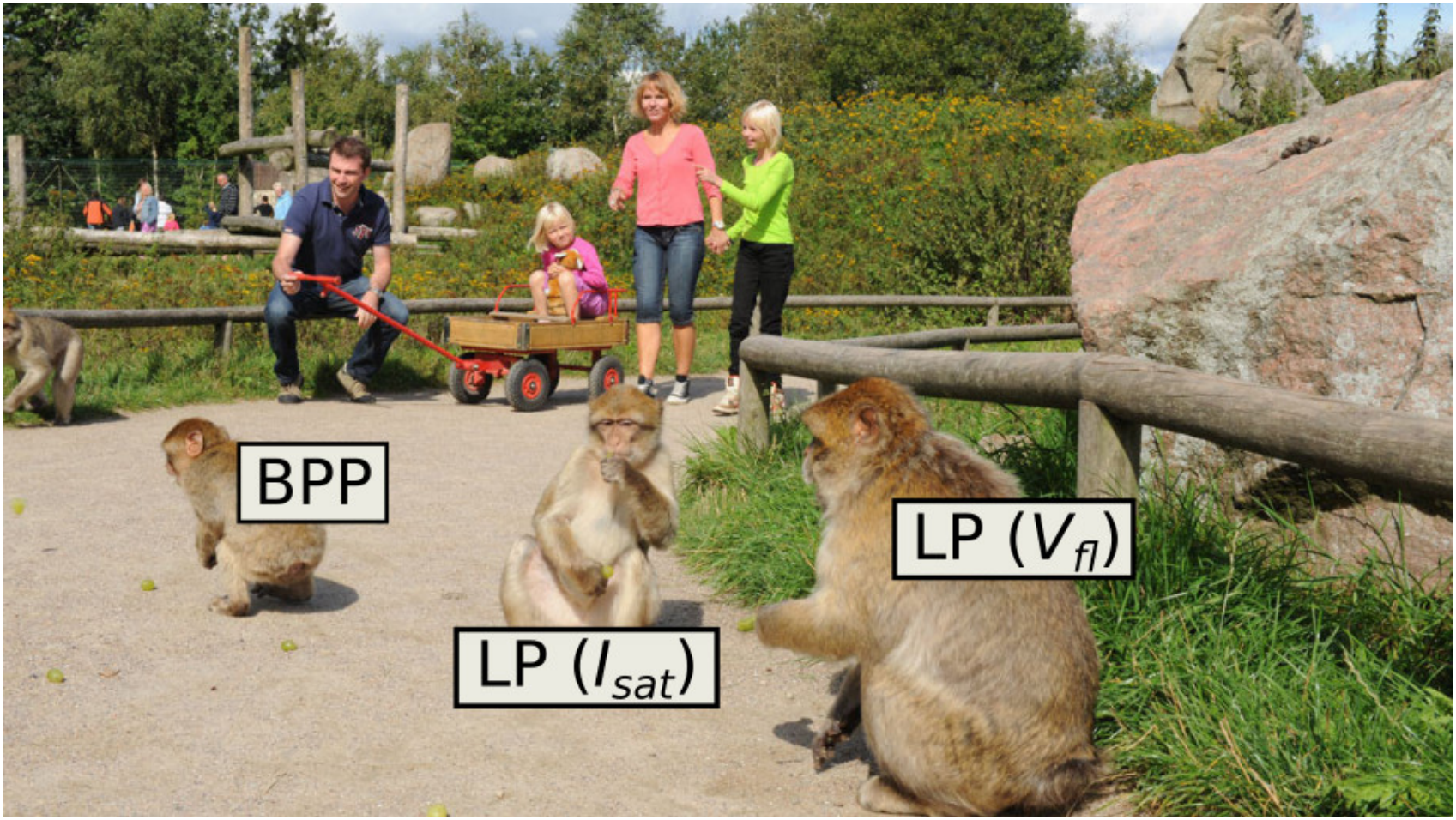
Půldruhá reciprokace (VRCP, #7778)



Dvojitá reciprokace (HRCP, #8136)

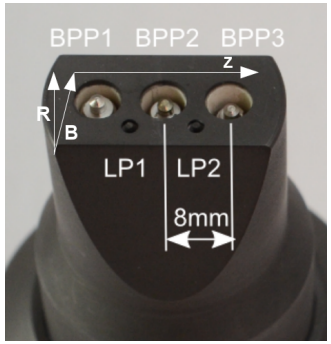


Vítejte v ZOO signálů!

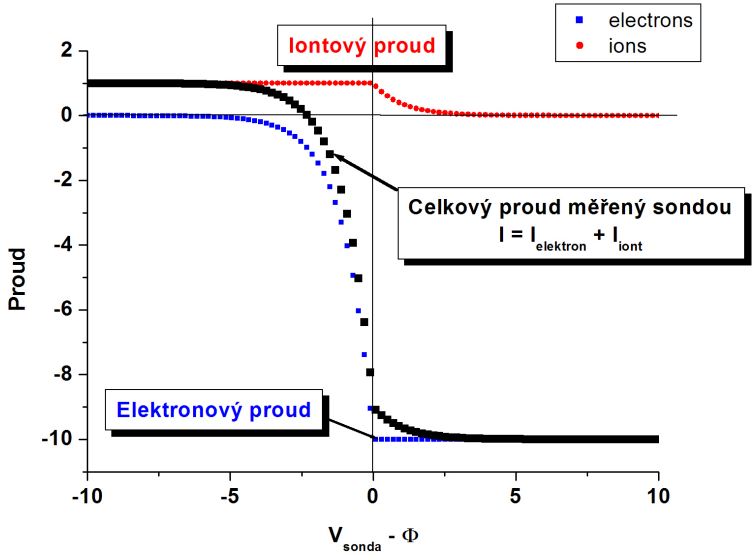


Sondy nesené na RCP tokamaku COMPASS

- ball-pen sondy (BPP)
  - měření potenciálu plazmatu Φ [Adámek 2004]
- Langmuirovy sondy (LP)
  - sonda plovoucí - měření plovoucího potenciálu V_{fl}
  - sonda držena na nízkém potenciálu ($V_{bias} \sim -200$ V) - měření iontově nasyceného proudu I_{sat}



HRCP:
3 BPP, 2 LP



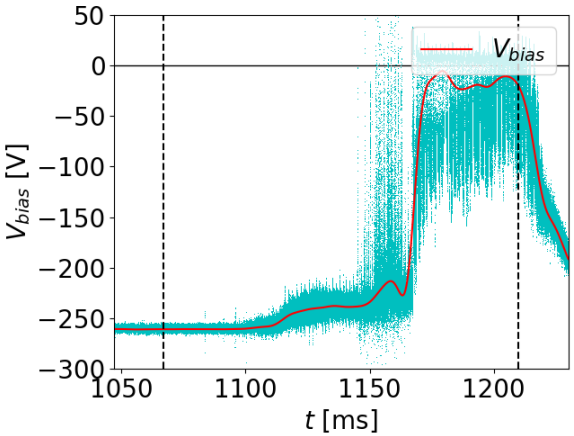
V-A charakteristika Langmuirovy sondy.

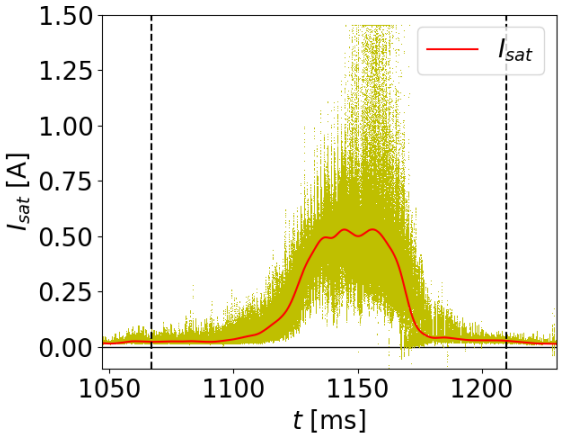
Levá větev ($V_{fl} \ll \Phi$) - měření iontově nasyceného proudu I_{sat}.

VRCP:
1 BPP, 1 LP

Exponát ze ZOO signálů - výstřel #8734, HRCP

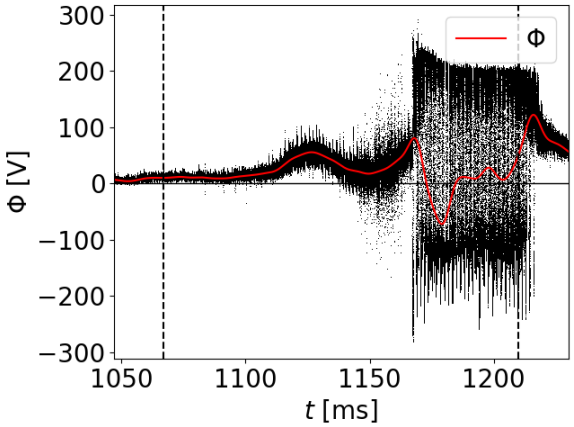
LP2: Přivedený potenciál V_{bias}

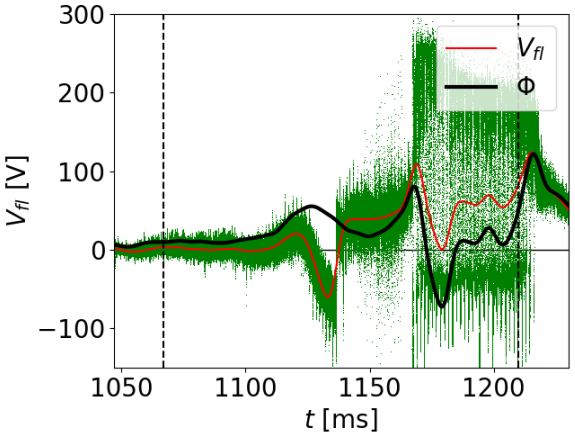




LP2: Iontově nasycený proud I_{sat}

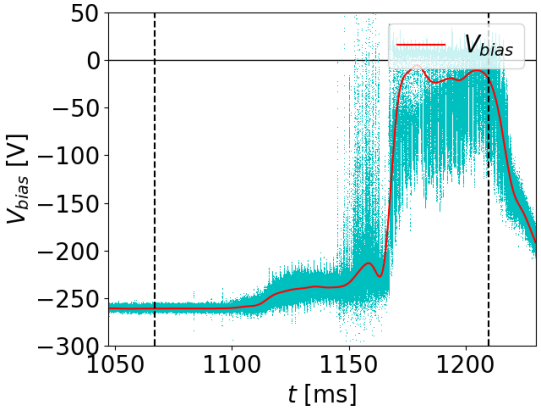
BPP1: Potenciál plazmatu Φ



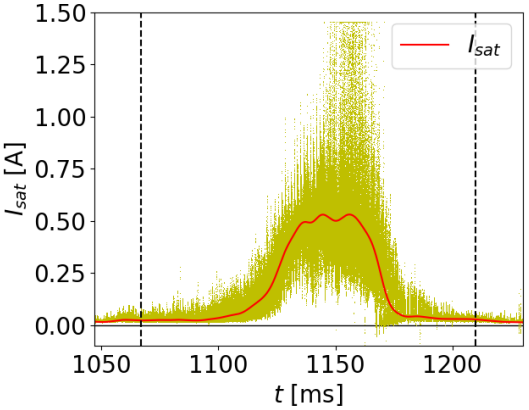


LP1: Plovoucí potenciál V_{fl}

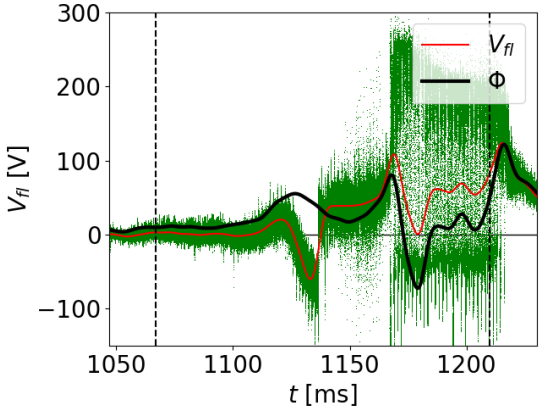
Výstřel #8734, vysvětlení jevů na sondě



LP2: V_{bias}.



LP2: I_{sat}.



LP1: V_{fl}.

LP2 v režimu I_{sat} - oblouk

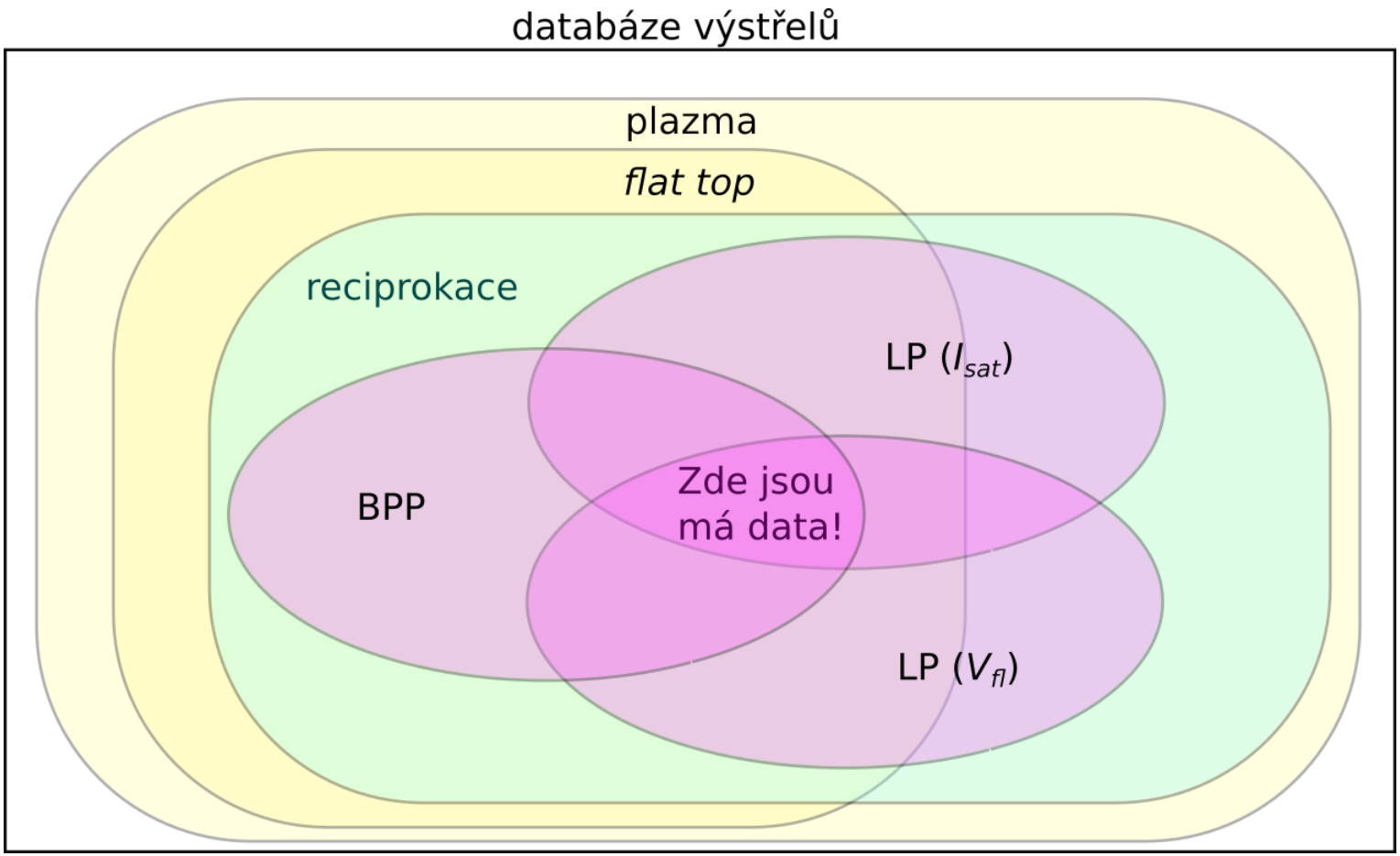
- hluboký zásun do plazmatu → jiskry mezi plazmatem a sondou
- $t = 1160$ ms - sepnutí ochrany napájecích kondenzátorů

LP1 v režimu V_{fl} - self-emise

- zahřátí částic na povrchu sondy na ~ 3000 K → emise elektronů
- měření potenciál plazmatu [Adámek 2014]

Nalezení množiny výstřelů s použitelnými daty

- pro měření $\lambda_{p,q}$ je třeba měření Φ, V_{fl} i I_{sat}



Závěr

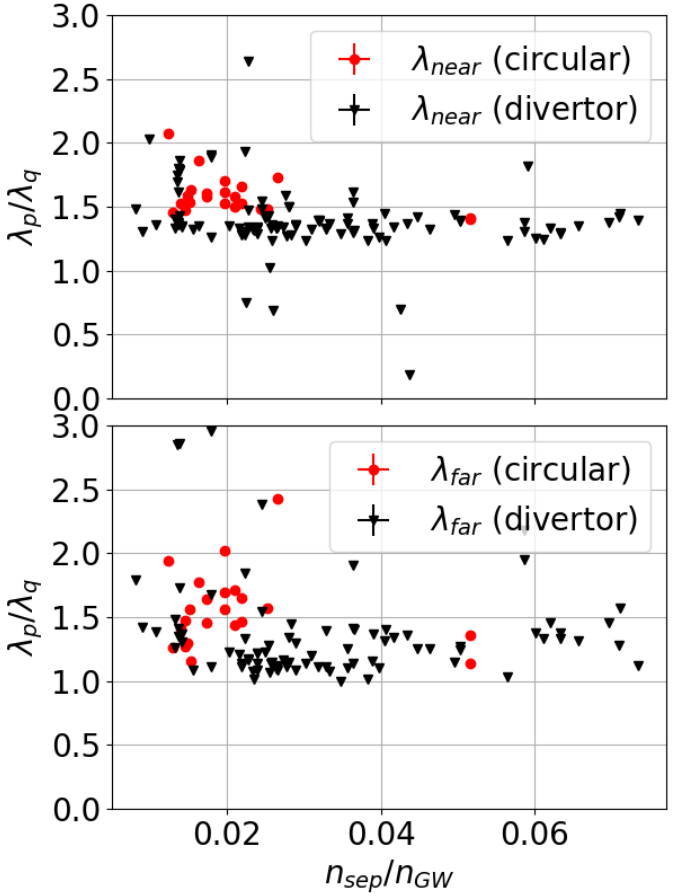
Třídění databáze výstřelů

- automatické vs. manuální metody
- detekce *flat topu*
- detekce reciprokace
- ZOO signálů
  - self-emisní režim
  - oblouk
  - přeslech fluktuací

Eich et al, 2017: $\lambda_q = \frac{1}{2}\lambda_p$

Tokamak COMPASS:

- blízká SOL: $\lambda_q = \frac{1}{1.6}\lambda_p$
- vzdálená SOL: $\lambda_q = \frac{1}{1.2}\lambda_p$



Korelační diagram λ_p/λ_q a n_{sep}/n_{GW} pro blízkou a vzdálenou SOL tokamaku COMPASS.