

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská

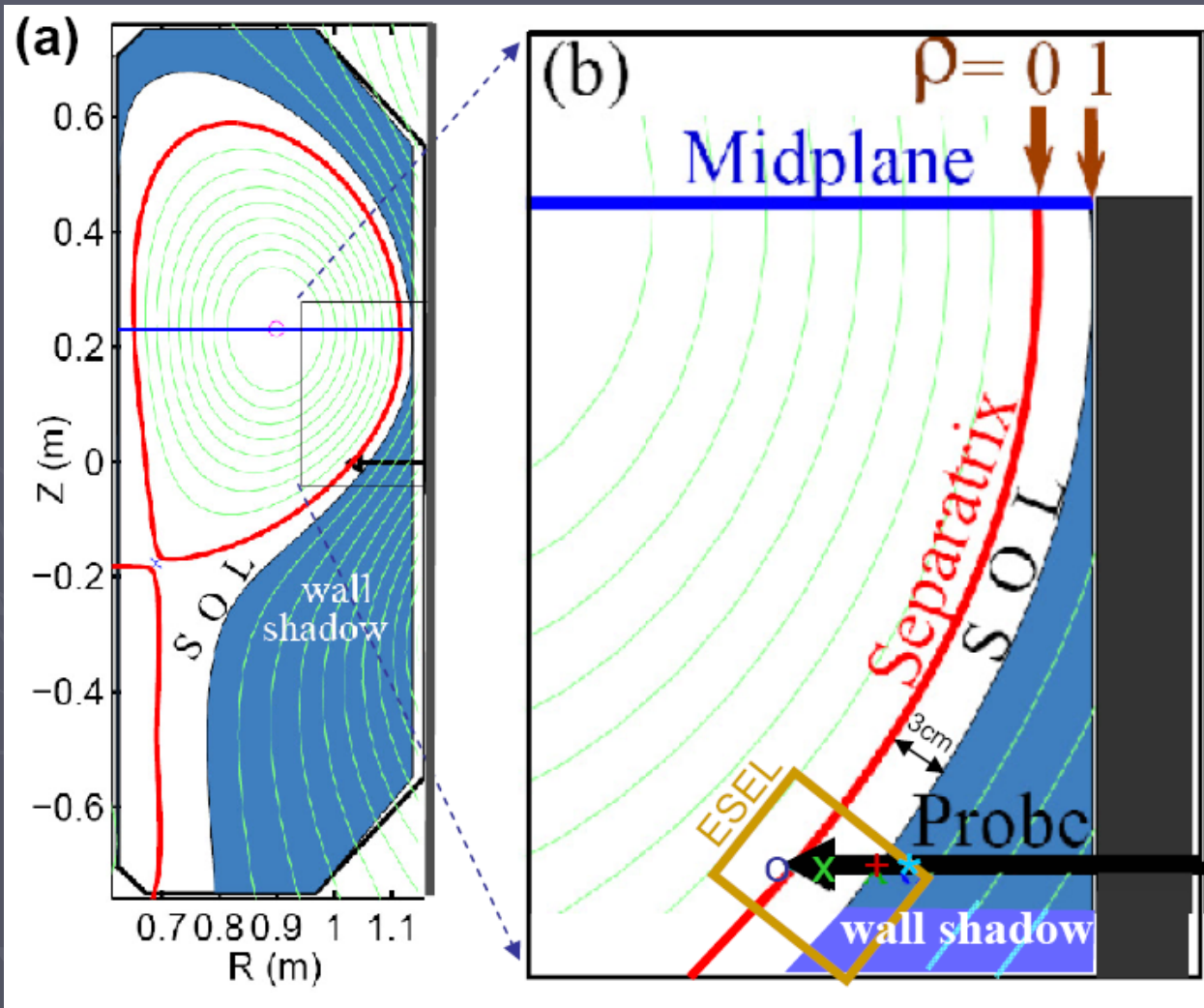
# Reciproké sondy tokamaku Compass

Petr Vondráček

# Malý přehled

- ▶ **Reciproká sonda** (Fast reciprocating langmuir probe)
  - Princip (Langmuirova sonda), funkce
  - Stavba
  - Parametry sond tokamaku Compass
- ▶ Má dosavadní činnost
- ▶ Co dál?

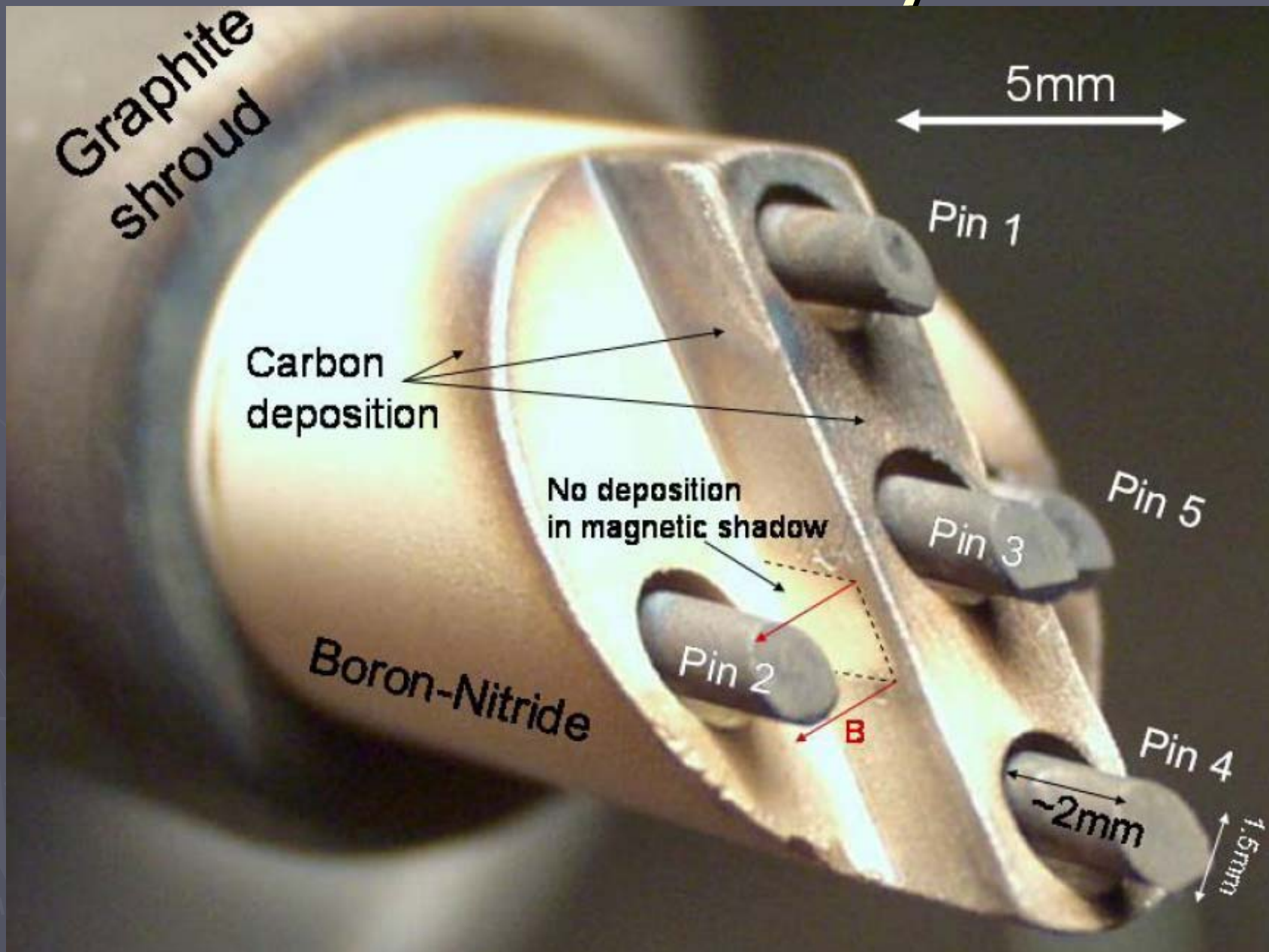
# Použití reciproké sondy



Diagnostika určená k měření parametrů okrajového plazmatu – pohybuje se dovnitř horkého plazmatu a rychle se vrací zpět dříve, nežli se žářem poškodí.

Poskytuje tak 1D profily základních parametrů plazmatu (teplota, hustota, atd.).

# Hlavice sondy



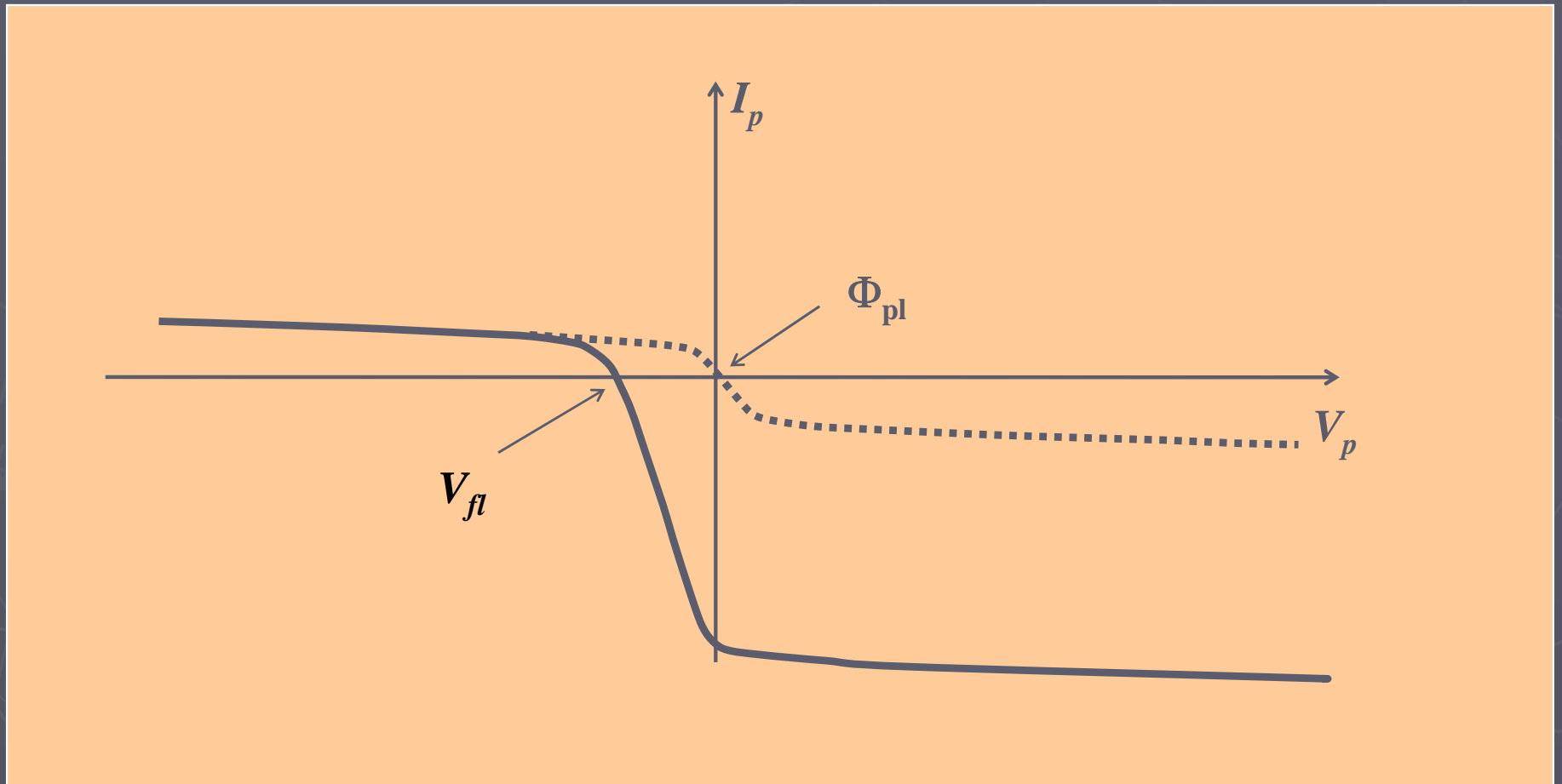
# Langmuirova sonda

- ▶ malá elektroda ponořená do plazmatu (rozměry řádově mm – dobré prostorové rozlišení)
- ▶ elektroda se nabije na plovoucí potenciál  $V_{fl}$
- ▶ rozmítáním napětí na sondě a měřením proudu získáme voltampérovou charakteristiku

$$I = I_{sat}^+ \left( 1 - \exp \left( \frac{V - V_{fl}}{T_e} \right) \right)$$

- ▶ z níž lze určit  $T_e$  ( $I_{sat}^+$  je iontový nasycený proud)

# Voltampérová charakteristika



# Langmuirova sonda

- ▶ Díky znalosti  $I_{sat}^+$  můžeme určit hustotu plazmatu

$$I_{sat} = n_e feA \sqrt{\frac{k_B (T_e + T_i)}{m_i}}$$

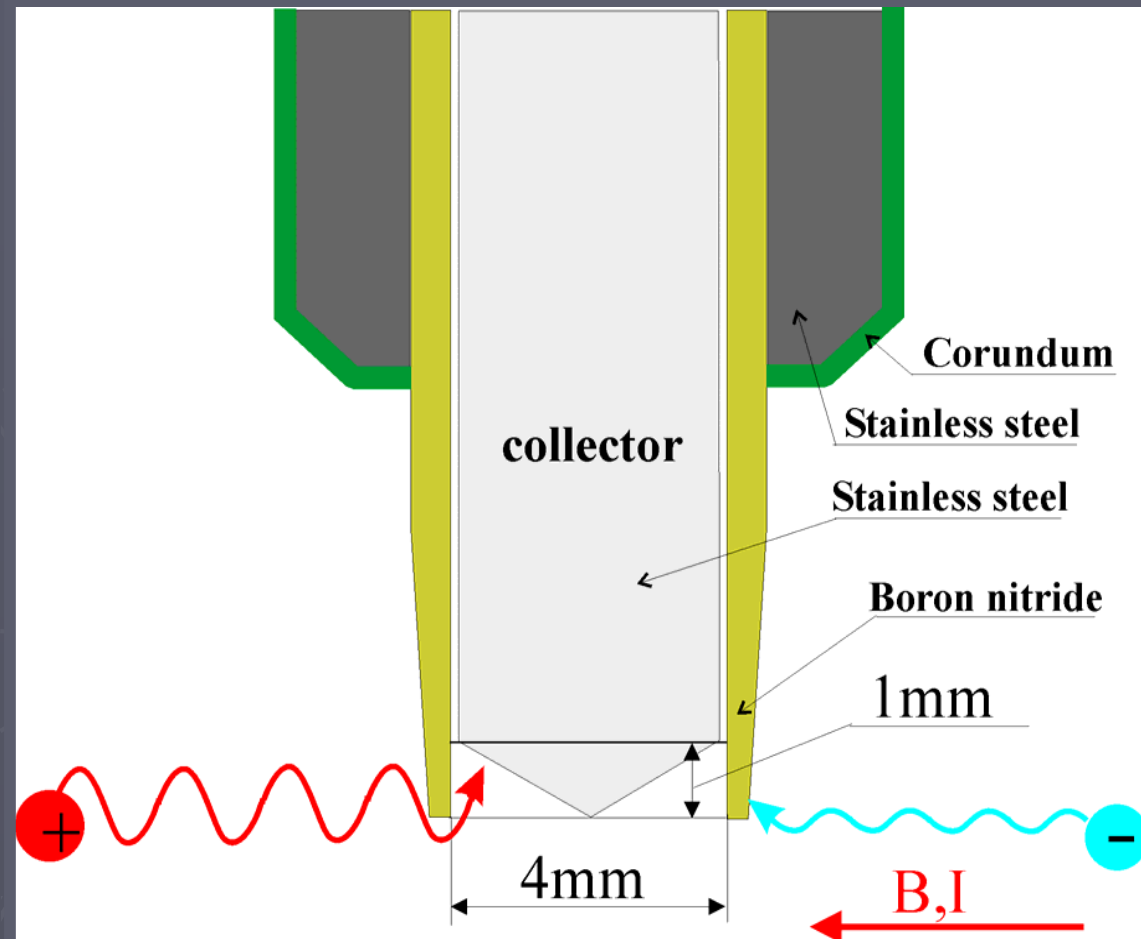
- ▶ Pro potenciál plazmatu  $\Phi$  platí

$$V_{fl} = \Phi - T_e \cdot \ln\left(\frac{I_{sat}^-}{I_{sat}^+}\right)$$

u vodíkového plazmatu je  $\ln(I_{sat}^+/I_{sat}^-) \approx 2.8$

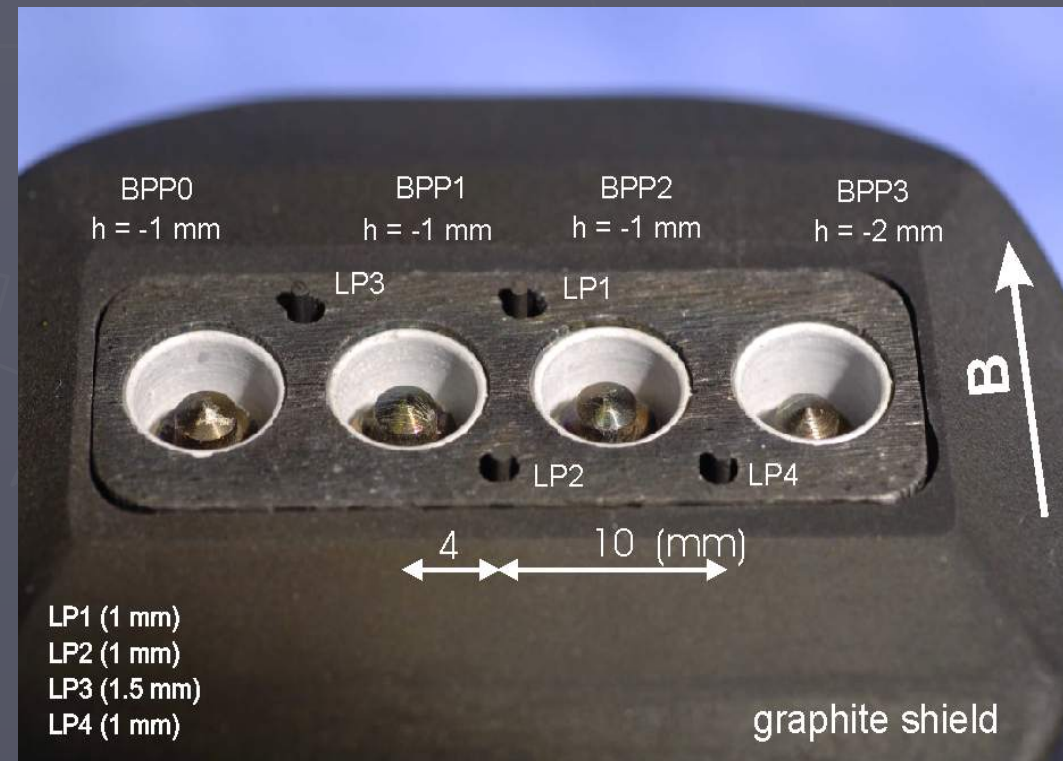
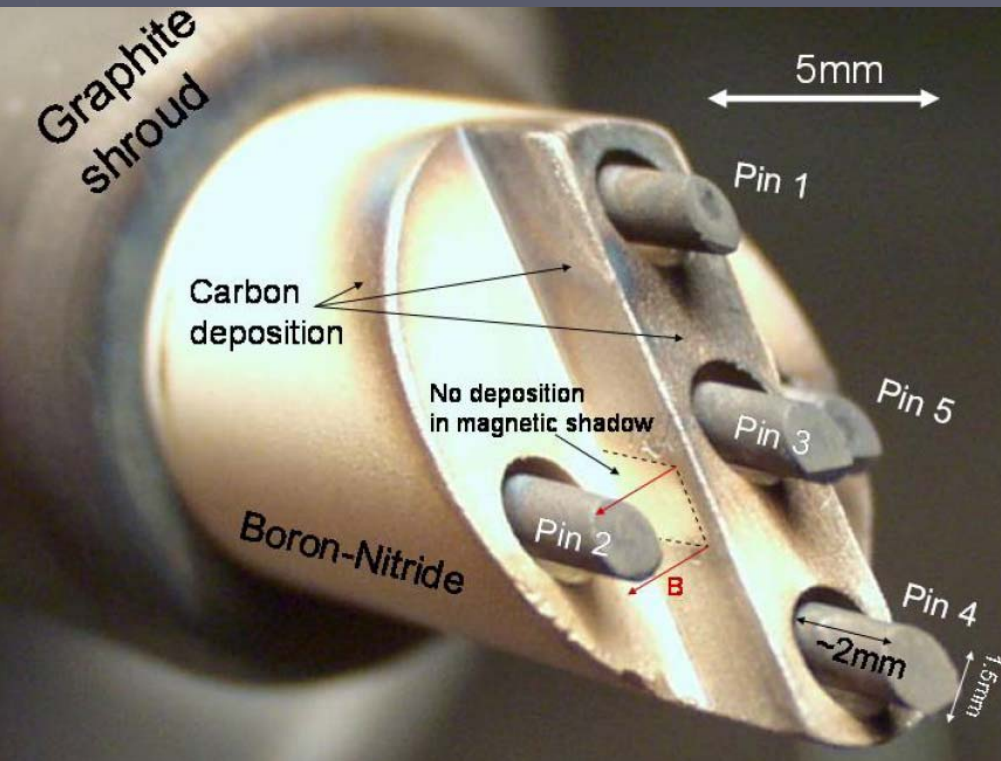
# Ball-pen sonda

$$V_{fl} = \Phi - T_e \cdot \ln\left(\frac{j_{sat}^- \cdot A_e(h)}{j_{sat}^+ \cdot A_i(h)}\right); \quad \frac{j_{sat}^- \cdot A_e(h)}{j_{sat}^+ \cdot A_i(h)} = 1 \Rightarrow V_{fl} = \Phi$$





# Hlavice sondy

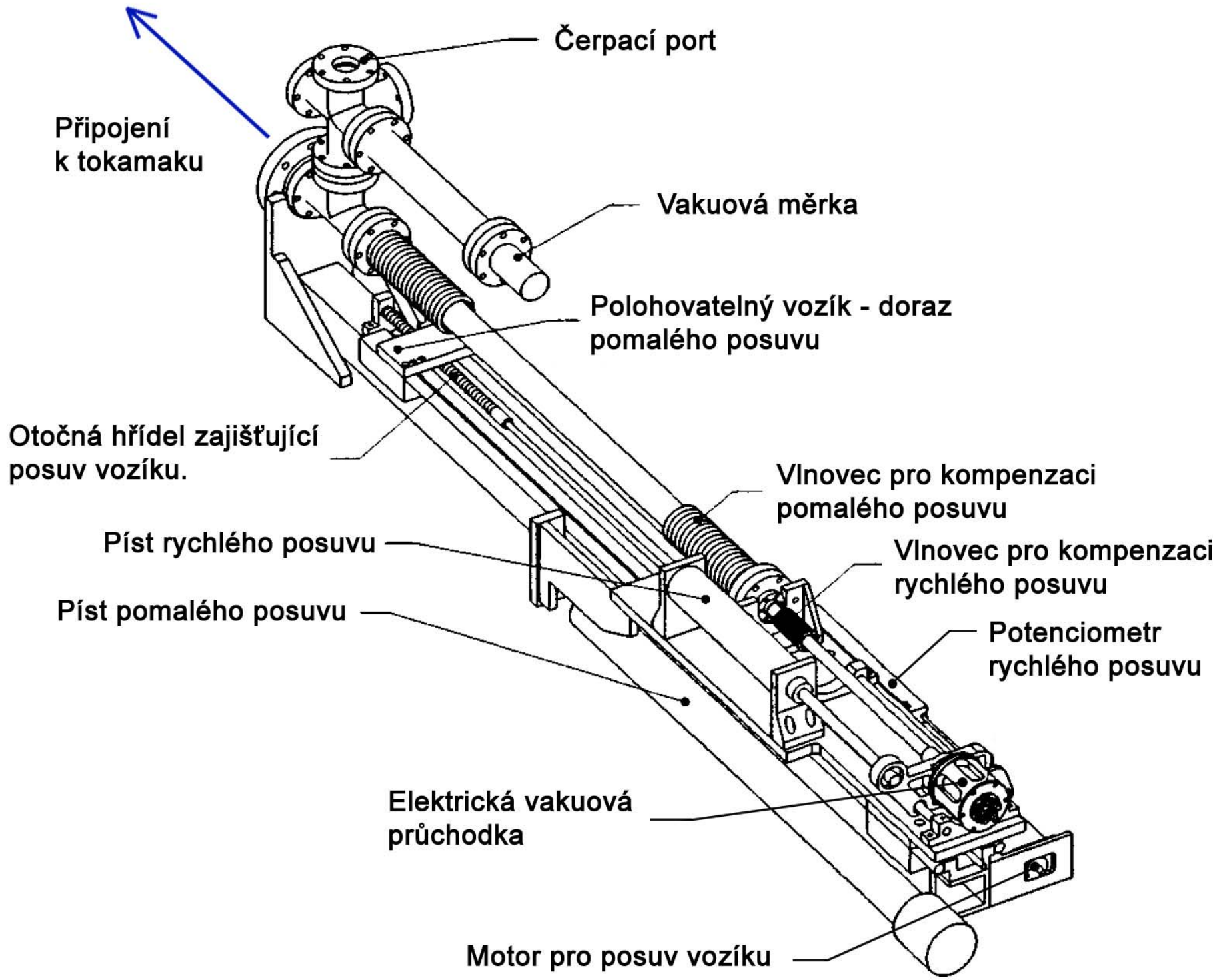


Původní hlavice vertikální sondy

Hlavice horizontální sondy osazená  
Ball pen sondami

Mgr. Jan Horacek, *Ph.D. Thesis No 3524 - Measurement of edge electrostatic turbulence in the TCV tokamak plasma boundary*, 2006

*J. Adámek et al. Ball-pen probe measurements in L-mode and H-mode on ASDEX Upgrade. Contributions to Plasma Physics. 2009*



# Horizontální reciproká sonda tokamaku Compass

- ▶ Původem z anglického Culhamu
- ▶ Osazena na jeden z bočních kruhových portů jižní strany komory tokamaku
- ▶ 18 koaxiálních signálních vodičů
- ▶ Pomalý posuv: pneumatický motor, rozsah 600mm
- ▶ Rychlý posuv: dvoucestný pneumatický píst, rozsah 60mm
  - prům. rychlost  $|v| = 0,7 \text{ m.s}^{-1}$
  - max. zrychlení  $|a| < 35 \text{ m.s}^{-2}$
  - Celý pohyb trvá  $\sim 170 \text{ ms}$   
(vzduch 5 bar, bez vyčerpání sondy!)





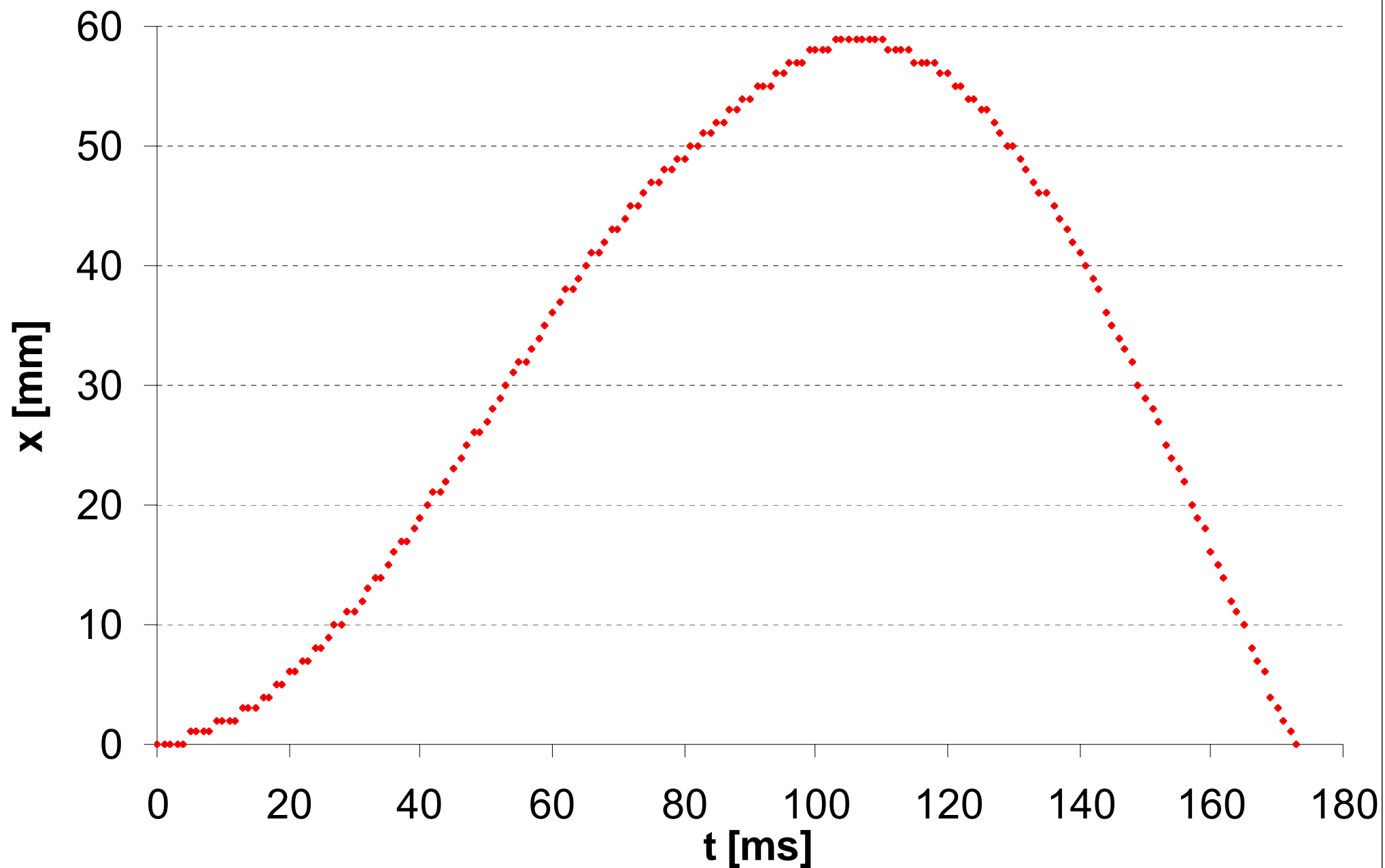
# Vertikální reciproká sonda tokamaku Compass

- ▶ Zkonstruována na University of California v USA, řadu let používána na tokamacích TEXTOR a DIII-D, s některými úpravami pak na TCV ve švýcarském Lausanne
- ▶ Osazena na jeden z horních portů tokamaku
- ▶ Pouze 5 koaxiálních signálních vodičů
- ▶ Pomalý posuv: dvoucestný pneumatický píst
- ▶ Rychlý posuv: dvoucestný pneumatický píst, rozsah 150mm
  - prům. rychlost  $|v| = 1 \text{ m.s}^{-1}$
  - max. zrychlení  $|a| < 40 \text{ m.s}^{-2}$
  - Celý pohyb trvá  $\sim 300 \text{ ms}$   
(helium 4 bar)

# Postup prací

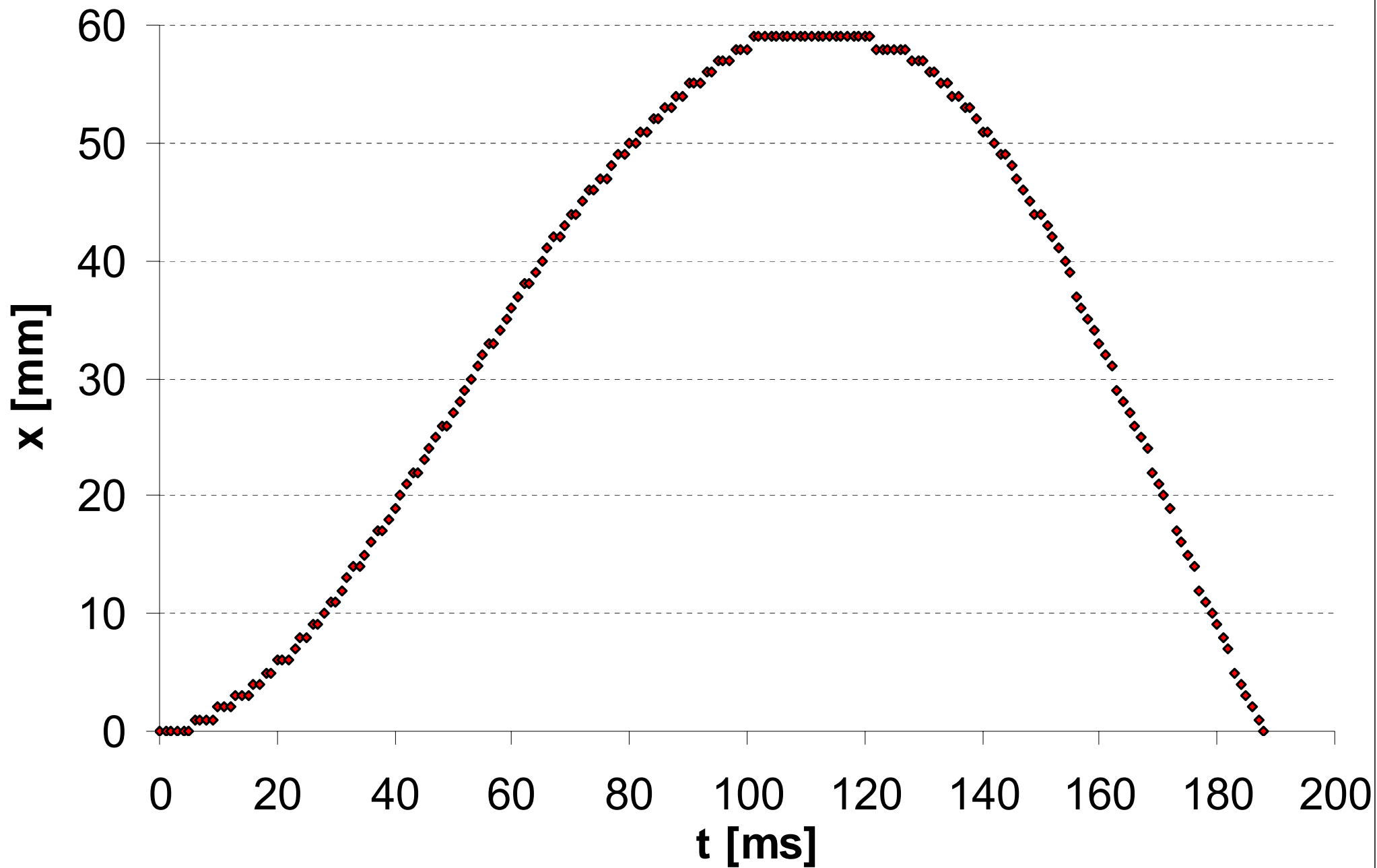
## Horizontální sonda

- ▶ prozkoumání zapojení sondy, test posuvu
- ▶ proměření přeslechů mezi stávajícími 11-ti koaxiálními kabely – přeslech max. 1:1000
- ▶ výměna vakuové průchodky za novou 19-ti pinovou, doplnění koax. kabelů
- ▶ orientační proměření parametrů rychlého posuvu pomocí oscilospoku
- ▶ výběr vakuové pumpy (magnetické pole!)
- ▶ návrh a zakoupení propojovacích vakuových dílů
- ▶ výroba podpůrné konstrukce (kovový stůl)
- ▶ vývoj systému ovládání sondy
- ▶ výměna netěsného vakuového dílu



Test rychlého reciprokého pohybu s nastavením přepnutí pneumatického ventilu po 60ms pohybu.



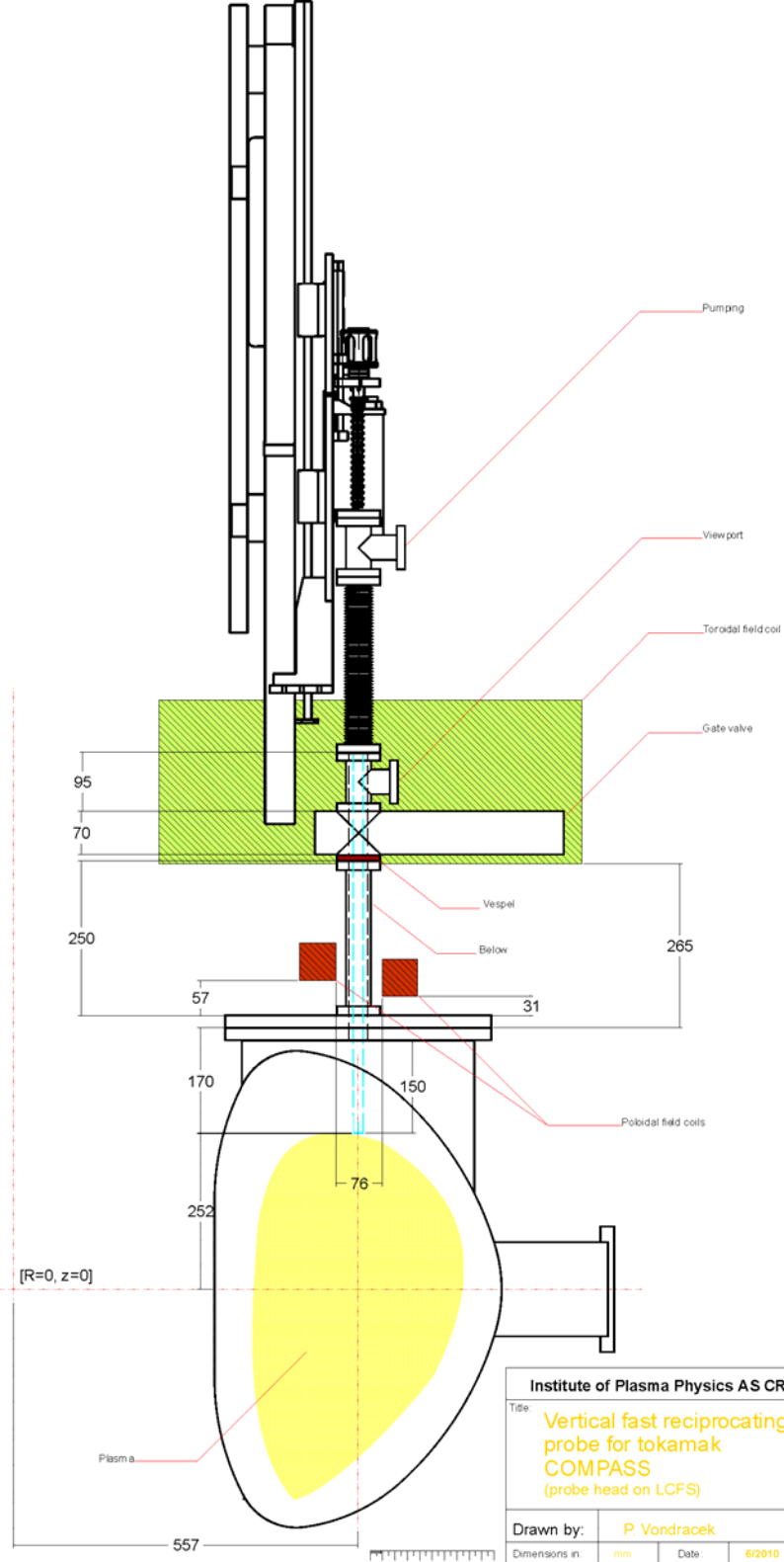


Test rychlého reciprokého pohybu s nastavením přepnutí pneumatického ventilu po 70ms pohybu.

# Postup prací

## Vertikální sonda

- ▶ výběr vakuové pumpy (TMP)
- ▶ proměření a zhodnocení různých způsobů osazení sondy na komoru, výkresová dokumentace
- ▶ návrh a zakoupení propojovacích vakuových dílů
- ▶ výroba podpůrné (závěsné) konstrukce
- ▶ vývoj systému ovládání sondy (Benoit Caylar)
- ▶ a další (např. web, papírová maketa☺...)



<b>Institute of Plasma Physics AS CR</b>			
Title	Vertical fast reciprocating probe for tokamak COMPASS (probe head on LCFS)		
Drawn by:	P. Vondracek		
Dimensions in	mm	Date	6/2010

# Společná elektronika sond, sběr dat

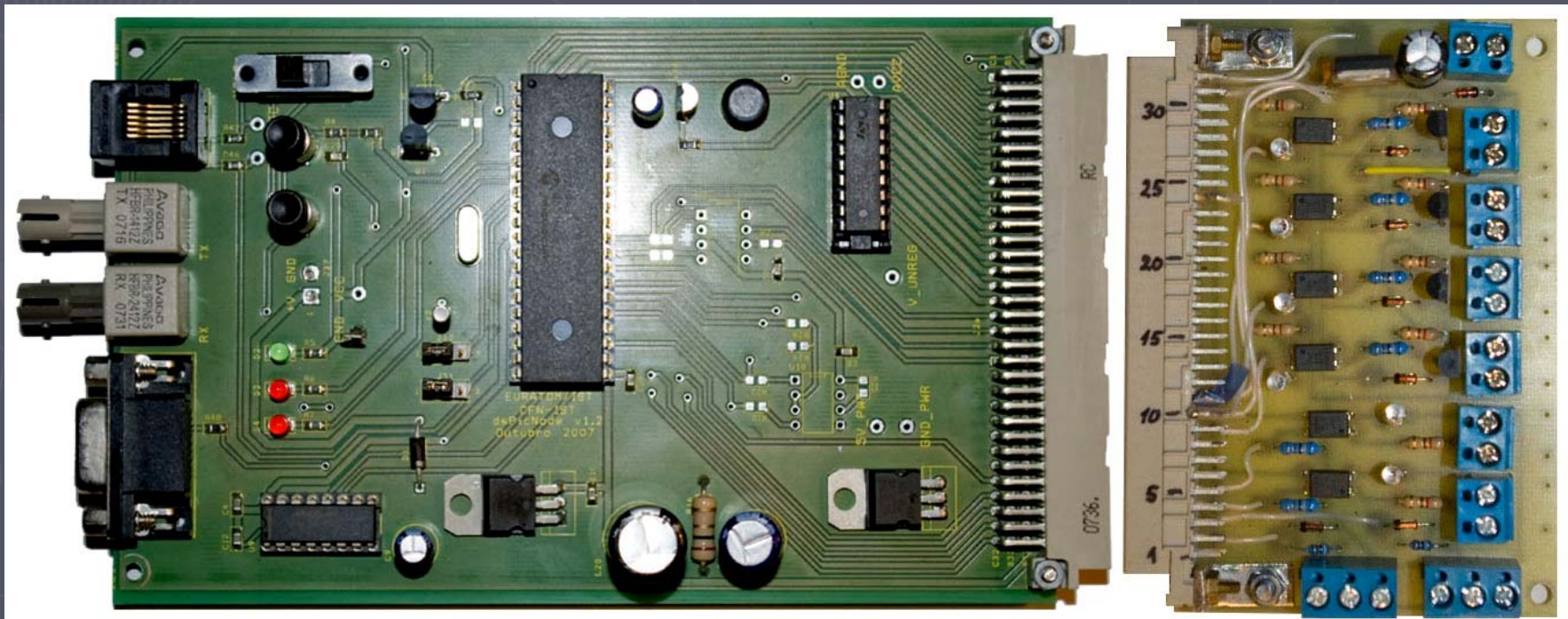
- ▶ Ke sběru dat nataženo 13 osmi žilových stíněných kabelů (každý cca 35m), zakončení konektory RJ-45, proměření správnosti zapojení atd.
- ▶ Pro napájení jednotlivých Langmuirových sond, rozmítání napětí, měření sledovaných veličin a jejich převod na napěťový signál (pro následné zpracování A/D převodníky) byla na ÚFP navržena speciální elektronika (J. Vlček)
- ▶ Zvláštní pozornost věnována uzemnění systému

# Ovládání horizontální sondy

- ▶ Při provozu sondy je třeba řídit a kontrolovat:
  - otevírání a uzavírání pneumatických ventilů
  - snímání polohy pomalého a rychlého posuvu
  - detekce triggeru a v nastaveném odstupu provedení reciprokého pohybu
  - hlídání dosažení krajní polohy pomalého posuvu
  - nastavení bodu obratu rychlého reciprokého pohybu
  - řízení nabíjení a vybíjení kondenzátoru sloužícího jako zdroj napětí zvolených Langmuirových sond, jeho připojování ve zvoleném čase během měření atd.
- ▶ vše obstarává mikrokontrolér dsPIC30F4013

# Ovládání

- ▶ dsPIC napojen přes sériové rozhraní k linuxovému serveru, na který se lze připojit z libovolného místa počítačové sítě pracoviště tokamaku a sondu řídit prostřednictvím některého komunikačního terminálu schopného vysílat a přijímat data přes sériový port (např. GTKterm).
- ▶ Řídící software zahrnuje cca 1100 řádků kódu v jazyce C



# Kam dál?

- ▶ První test horizontální sondy v plazmatu.
- ▶ Výměna hlavice vertikální sondy za novou s potřebným sklonem  $18^\circ$ .
- ▶ Upevnit vertikální sondu na nosnou konstrukci a připojit k ní ovládací elektroniku, čerpání a sběr dat.
- ▶ Tvorba grafického uživatelského rozhraní ovládacího softwaru.
- ▶ Optimalizace pohybu sond tak, aby bylo možné dosáhnout hlubších částí plazmatu.
- ▶ První fyzikální měření - radiální profil toku energie na stěnu komory (navázání na měření J.P. Gunna na Tore supra)

Děkuji za pozornost...

