

ROZVOJ VÝPOČETNÍCH METOD V ELEKTRONOVÉ OPTICE

B. Lencová

seminář ÚPT, 16. 2. 2001

- Programy a výpočty elektronových čoček a deflektorů, ale i Wienova filtru
- Co když chceme i „trasovat“ nabitě částice
- Co potřebujeme pro elektronovou optiku
- Jaké problémy považují za zajímavé

Co potřebujeme?

⌘ PŘESNĚ POČÍTAT ROZLOŽENÍ ELMAG POLE

- ☑ rotačně souměrné elektronové čočky
- ☑ vychylovací a multipólová pole

⌘ POČÍTAT OPTICKÉ VLASTNOSTI

- ☑ paraxiální vlastnosti a aberace

⌘ POČÍTAT PŘESNÉ TRAJEKTORIE

- ☑ návrh detektorů
- ☑ výpočty optických vlastností

Metody výpočtu polí?

- ⌘ Analytické metody
- ⌘ Metoda konečných diferencí (SIMION 3D, MEBS, SIM3D J. Zlámal, V. Kadlec,)
- ⌘ Metoda konečných prvků (ANSYS, Vector Fields, MEBS, programy ÚPT)
- ⌘ Metoda okrajového integrálu - hustoty náboje (CPO Read, 2D J. Chmelík)

Co to je – metoda konečných prvků?

⌘ PRO VÝPOČET ROZLOŽENÍ ELMAG POLE

$$E = 2\pi \iint \left(\frac{B^2}{2\mu} - \vec{J} \cdot \vec{A} \right) r \, dr \, dz$$

⌘ Síť z trojúhelníků, respektuje lokální vlastnosti (sycení) materiálů

⌘ Převede řešení parciální diferenciální rovnice na řešení potenciálů v uzlech sítě

Proč potřebujeme MKP v elektronové optice?

⌘ Chceme přesně určit rozložení elmag pole

- ☒ Magnetické čočky: sycení magnetických materiálů, permanentní magnety
- ☒ Lze počítat i elektrostatické čočky
- ☒ Jako 2D problém harmonické složky pro vychylovací a multipólová pole

⌘ Chceme přesně počítat i paraxiální vlastnosti a aberace

Proč potřebujeme vlastní programy?

⌘ \$\$\$!

⌘ Naše programy patří mezi nejrychlejší, nejlepší,...

☑ Okrajové podmínky

☑ Síť s proměnným krokem

☑ Nejvhodnější volba potenciálu a integrace energie

☑ Velmi rychlá metoda řešení soustav lineárních rovnic

☑ Grafický interfejs

☑ Ucelený a provázaný systém programů

⌘ Určení optických vlastností a aberací ...

Čím jsme se zabývali?

- ⌘ Koeficienty FEM – volba nejvhodnějšího typu potenciálu a volba integrace energie v trojúhelníku
- ⌘ Okrajovými podmínkami (kombinace MKP/MHP, nekonečné prvky)
- ⌘ Zavedením ICCG metody pro řešení velkých soustav lineárních rovnic
- ⌘ Grafickým interfejsem (G. Wisselink)
- ⌘ Výpočty optických vlastností, aberační teorie
- ⌘ TRASYS (G.W., J. Chmelík, J. Barth)
- ⌘

Historie

- ⌘ 1970 - PhD Eric Munro, U. Cambridge
- ⌘ 1974 - ÚPT - ZPA, IBM 370, ICL
- ⌘ 1983 – ELG – deflektory
- ⌘ 1984/5 – T. Mulvey – vývoz do Anglie, NL
- ⌘ 1987/8 – Royal Soc., Imperial College - PC
- ⌘ 1988/91 - TU Delft, interface, nadace
- ⌘ 1999 - ukončena činnost nadace
- ⌘ 2000 - www.lencova.cz

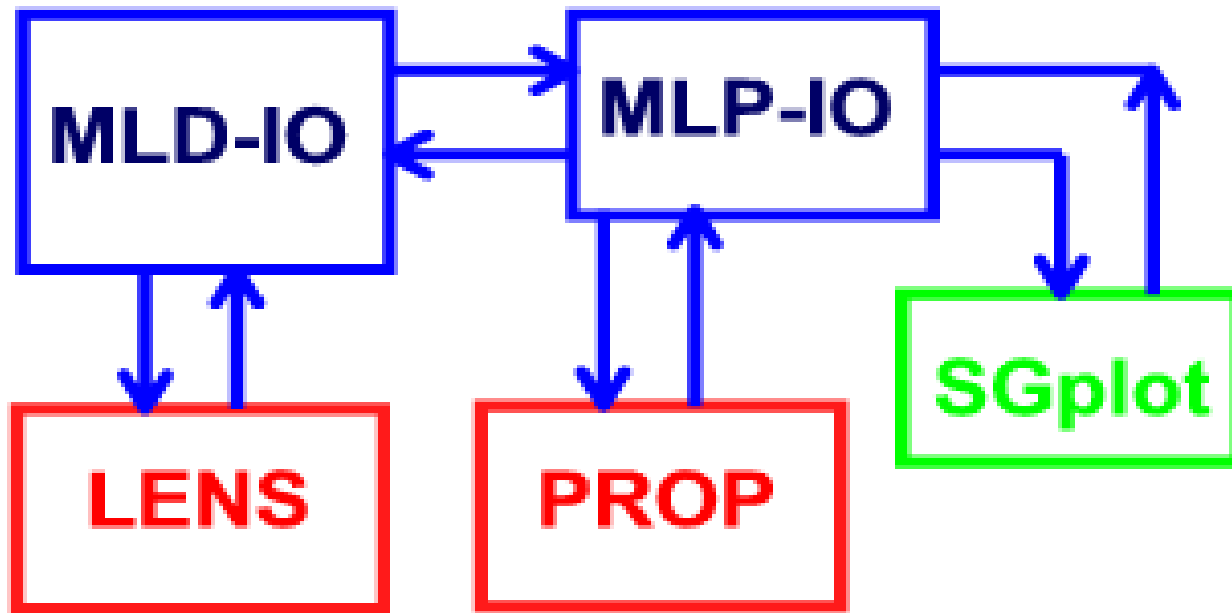
Historie - jinaak

- ⌘ 1974 - ZPA, 1600 bodů, 60 minut
- ⌘ 1981 – ICL, 5000 bodů, 2 minuty
- ⌘ 1988 – PC/AT, 8400 bodů, 15 minut
- ⌘ 1997 – PII 200 MHz, 100000 bodů, 1 minuta

Důležitost uživatelského interfejsu

- ⌘ Vizuální kontrola – vytvoříme správná data
- ⌘ Grafické vytváření a editování sítě
 - ☑ Vkládání čar, posun bodů a čar, interpolace v síti
 - ☑ Síť s proměnným krokem vytvářena automaticky
 - ☑ Vyplnění jednoduchých menu
 - ☑ Kontrola dat
 - ☑ Zobrazení a export výsledků
- ⌘ DOS

Schema balíku Magnetic Lens Design



Výpočet optických vlastností

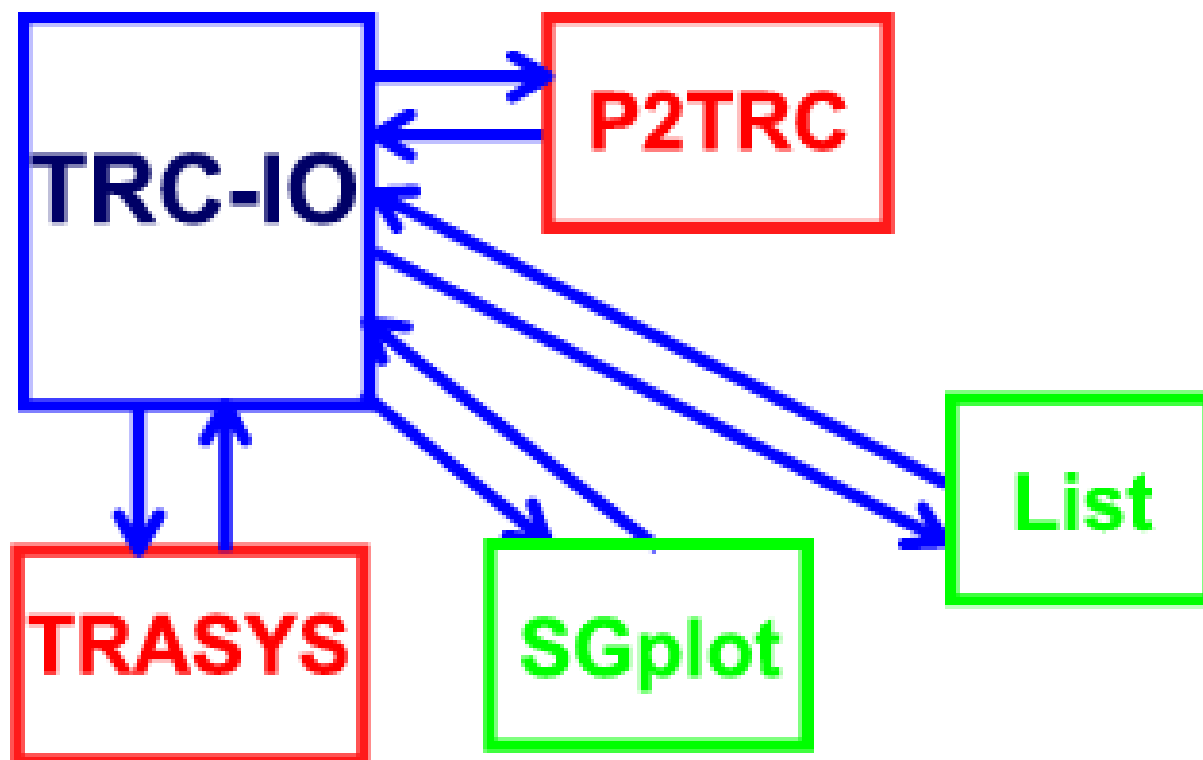
⌘ Z osového rozložení potenciálu a pole

- ☑ Paraxiální trajektorie, koeficienty vad
- ☑ Vyplnění jednoduchých menu
- ☑ Zobrazení optických vlastností graficky (SGPlot)

⌘ Z přesně spočtených trajektorií

- ☑ Systémy, kde nemáme aberační teorii
- ☑ Detektory

Schéma balíku TRC/TRASYS



Srovnání s jinými programy

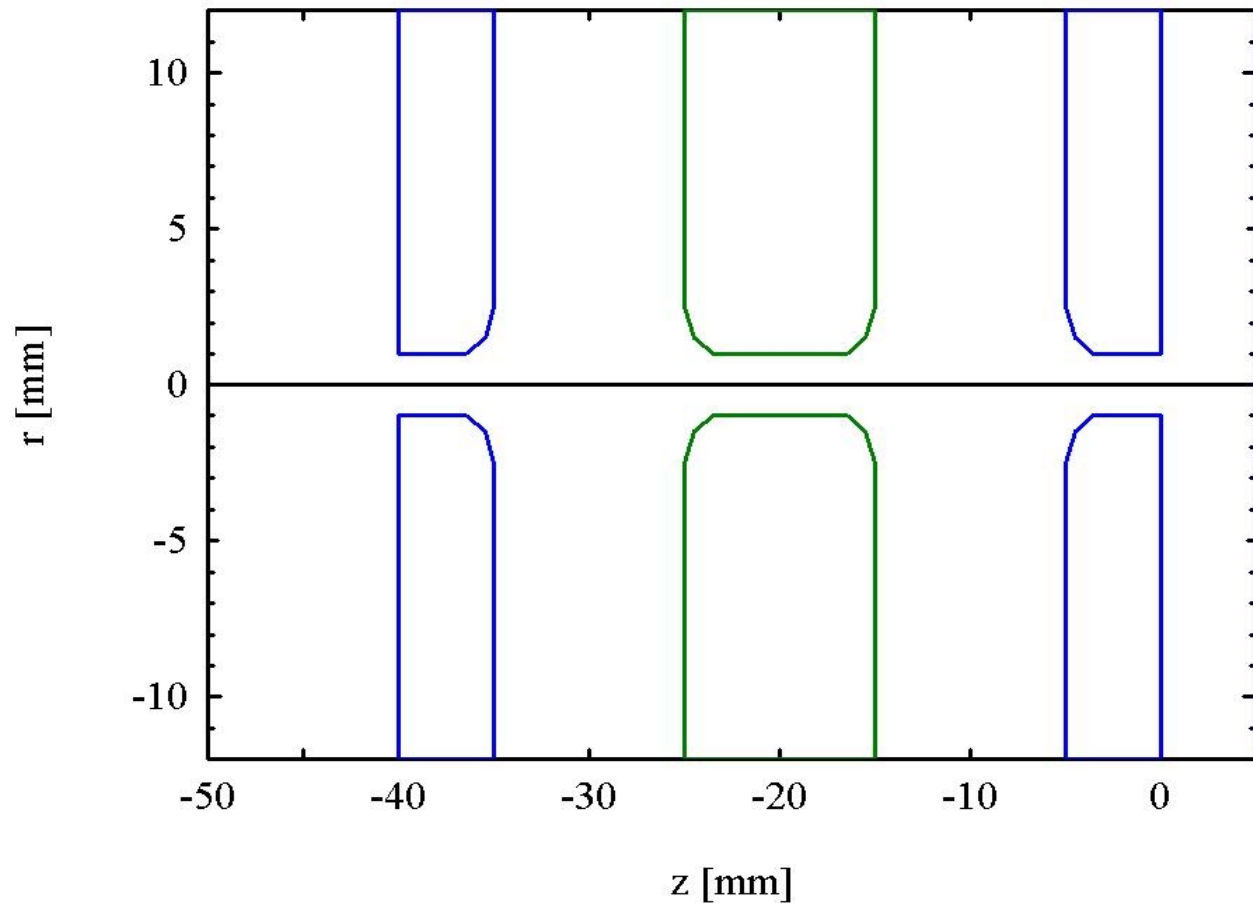
- ⌘ MEBS - skupina 4 lidí, 10 let, konzultační činnost
- ⌘ Nemají interfejs, automeshing
- ⌘ Jiní autoři?
- ⌘ www.cpo.tn.tudelft.nl - 1994

Příklad: výpočet elektrostatické čočky

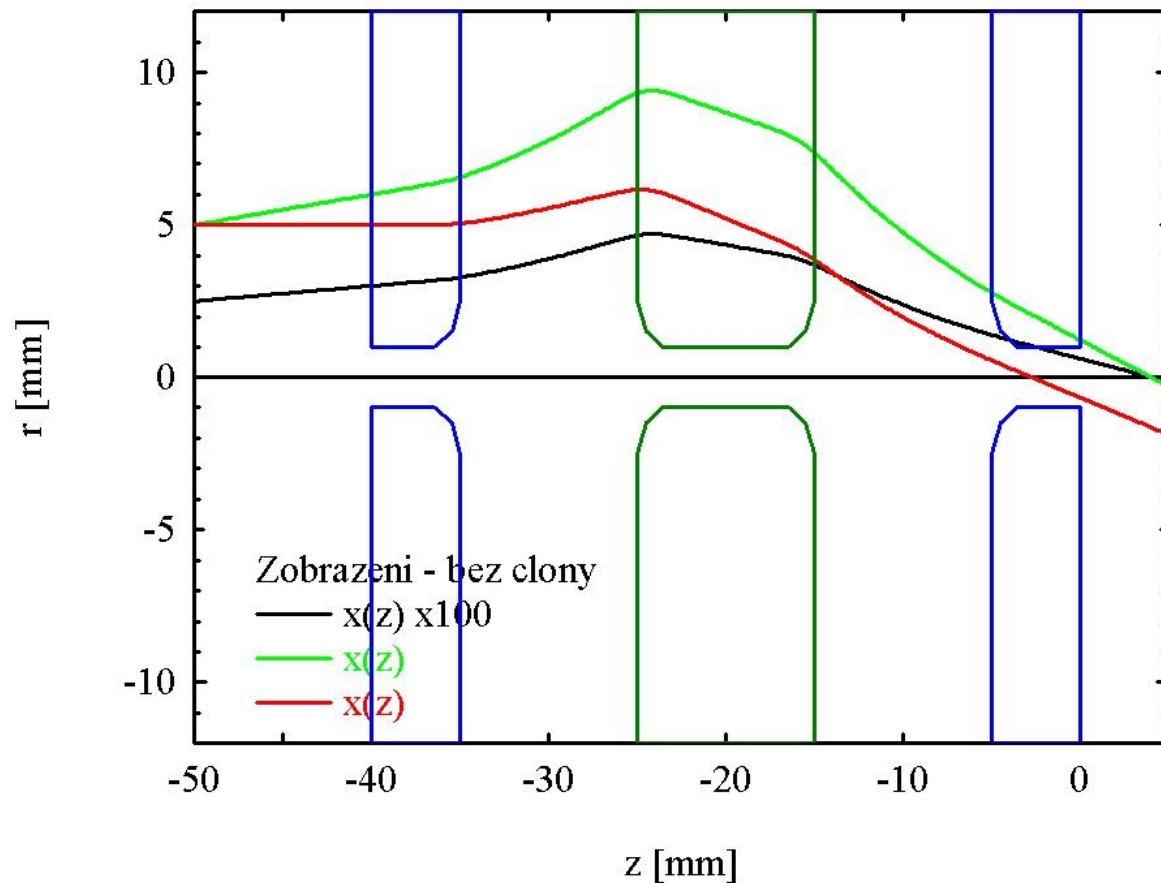
IONTOVÝ LITOGRAF pro 100 keV:

- ⌘ Problémy s výpočtem pole**
- ⌘ Určení koeficientů vad**
- ⌘ Vady z přesných výpočtů trajektorií**
- ⌘ Zobrazení aberačních obrazců**

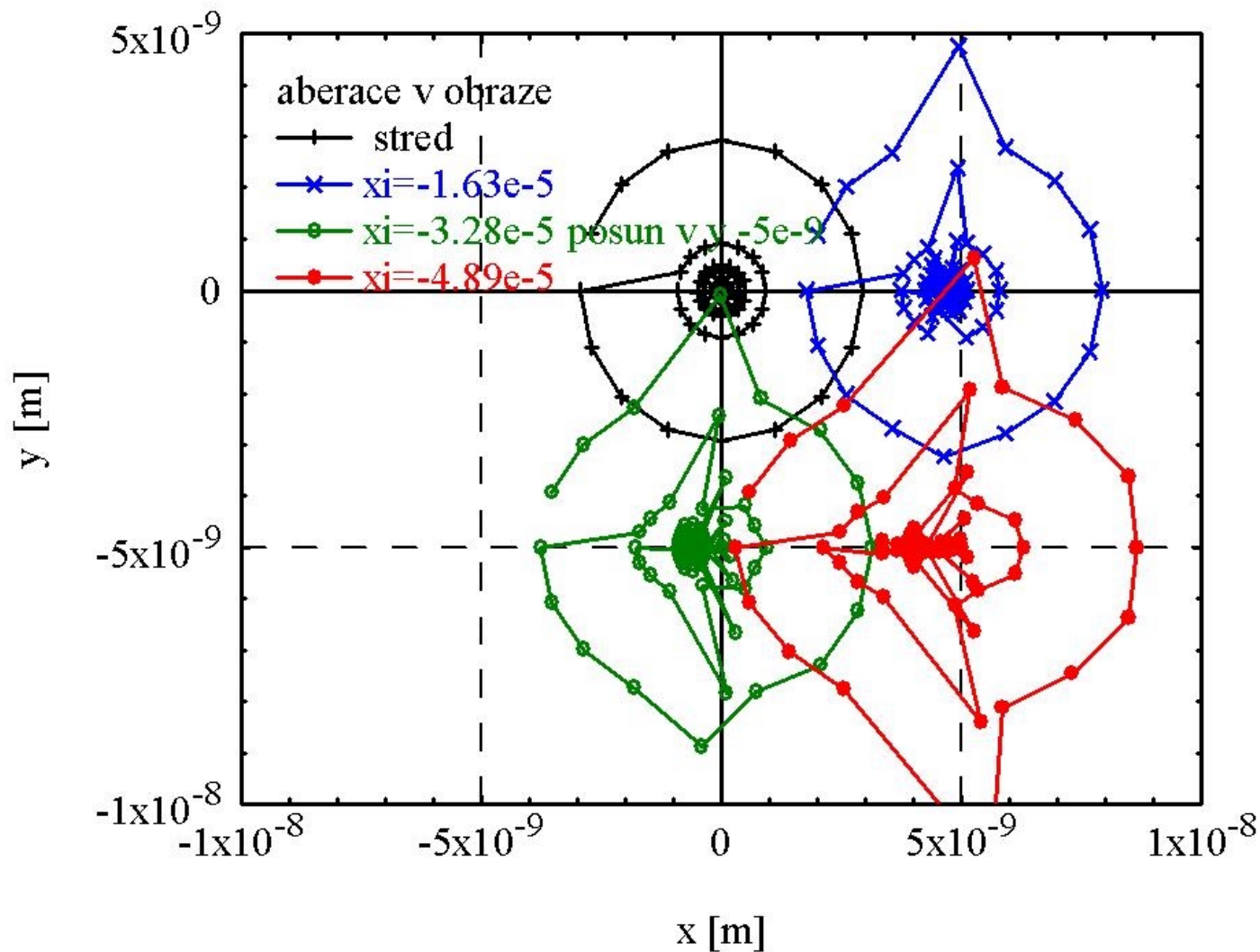
Elektrostatická čočka - geometrie



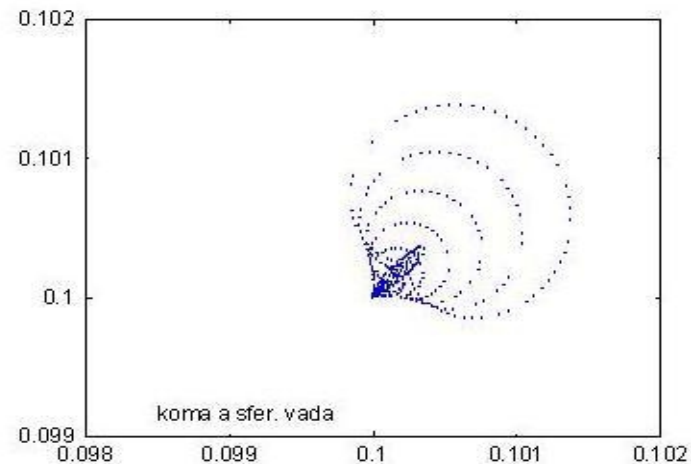
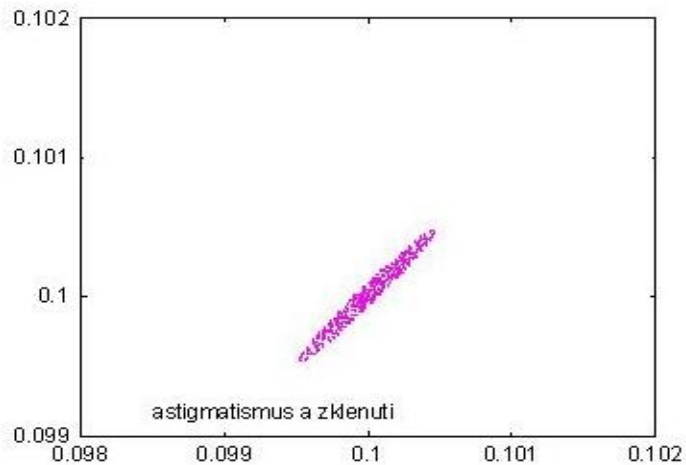
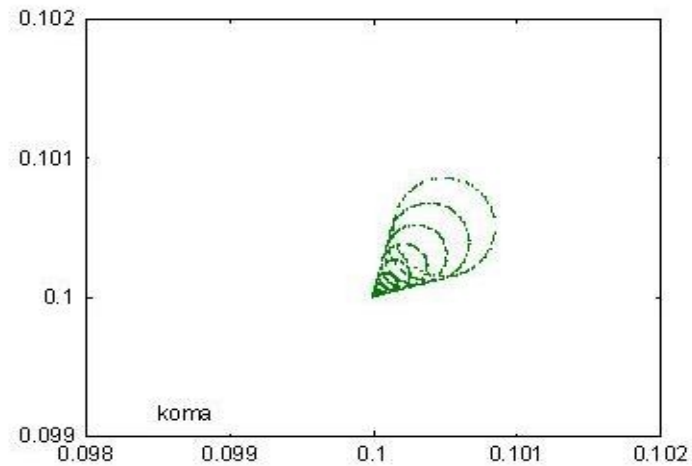
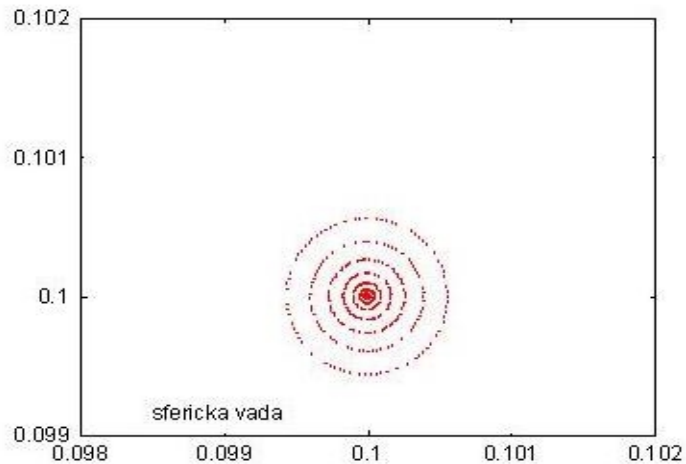
Elektrostatická čočka - trajektorie



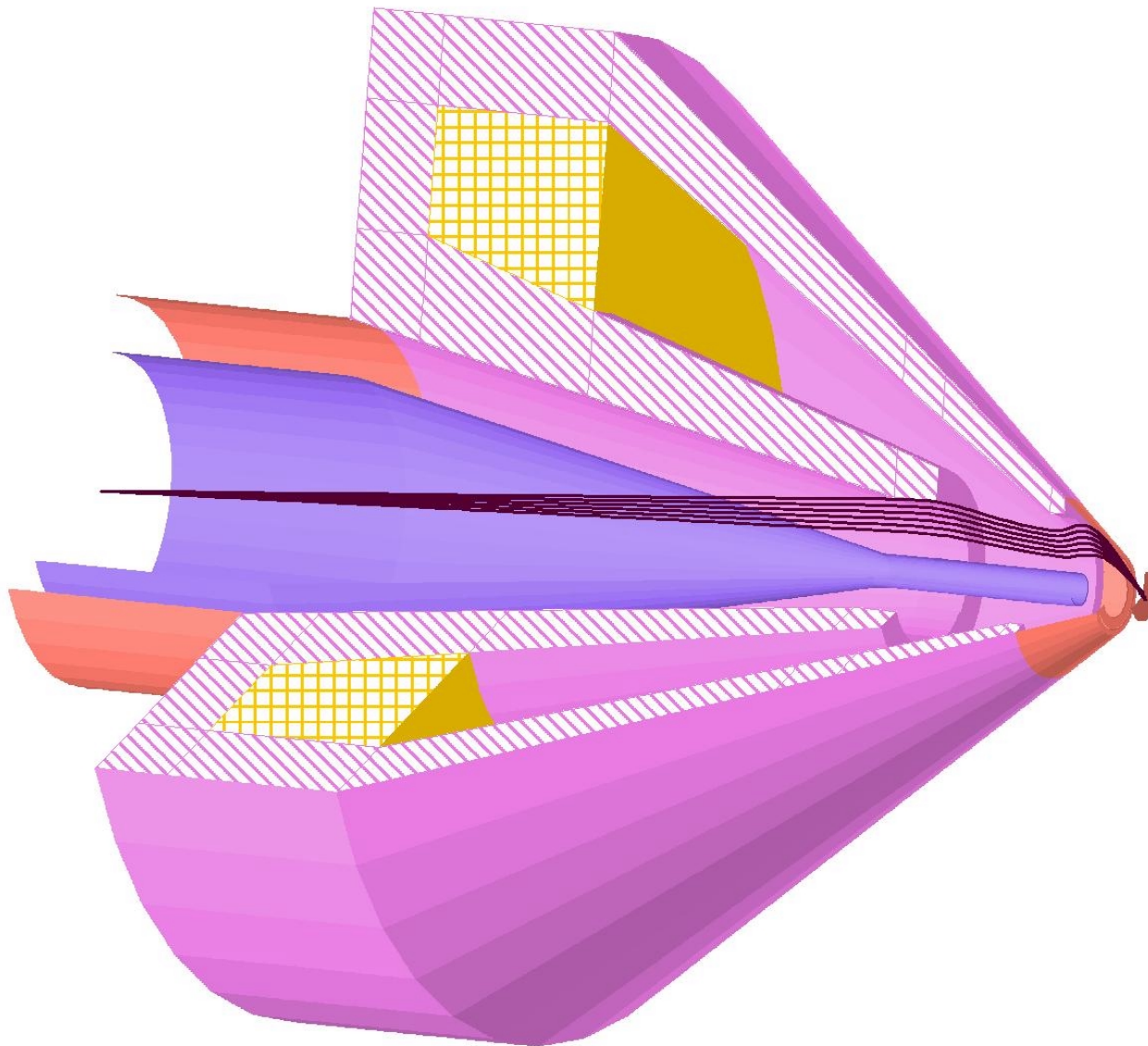
Čočka a elektrostatické vychýlení



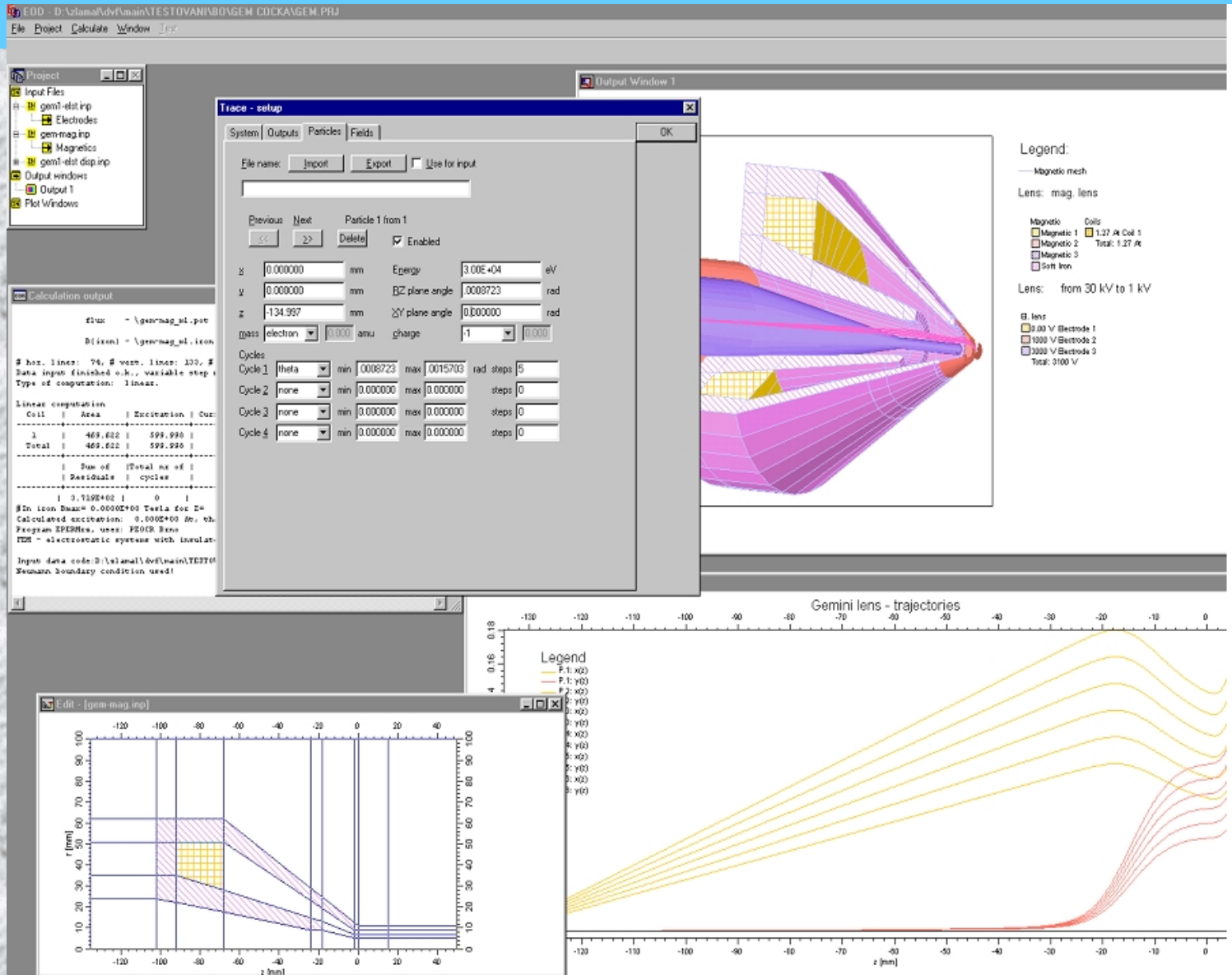
Vady čočky v mimoosovém bodě



EOD - numerické výpočty a prezentace výsledků



EOD - numerické výpočty a prezentace výsledků



Připravujeme :

- ⌘ Optické vlastnosti systémů
- ⌘ Výpočty kombinovaných systémů
- ⌘ Prostorový náboj
- ⌘ Vady seřízení
- ⌘ Zobrazení vad

Složení týmu

Prof. V. Drahoš, T. Mulvey

ÚPT (M.Lenc, J.Chmelík)

TU Delft (KvdMast, P.Kruit,
JBarth, GWisselink, MvdStam,
JCh)

P.Adamec, J.Zlámal, I.Vlček, D.Dvořák,
M.Mynář, R.Kolařík, P.Urban

A specialist is someone who
does everything else worse ...

KONEC