



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



Egy év hosszú GUMICS-4 globális MHD szimulációk összehasonlítása űrszondás és földi mérésekkel

**Gabor Facsko^{1*}, Liisa Juusola², Ilja Honkonen³,
Ari Viljanen², Esa Kallio⁴, Eija Tanskanen²⁵,
Pekka Janhunen², Minna Palmroth²,
Tatjana Zivkovic⁶, Laurianne Palin⁶, Karin Agren⁶,
Hermann Opgenoorth⁶, Steve Milan⁷**

*facsko.gabor@rcsfk.mta.hu

¹Geodetic and Geophysical Institute, RCAE, HAS, H-9400
Sopron Csatkai Endre u. 6-8., Hungary

²Finnish Meteorological Institute, Helsinki, Finland

³NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, USA

⁴Aalto University, Espoo, Finland

⁵University of Bergen, Bergen, Norway

⁶Swedish Institute of Space Physics, Uppsala, Sweden

⁷Department of Physics and Astronomy, University of
Leicester, Leicester, UK

Fiatal Csillagász és Asztofizikus Kutatók Találkozója,
Budapest, 2014. szeptember 17-19.



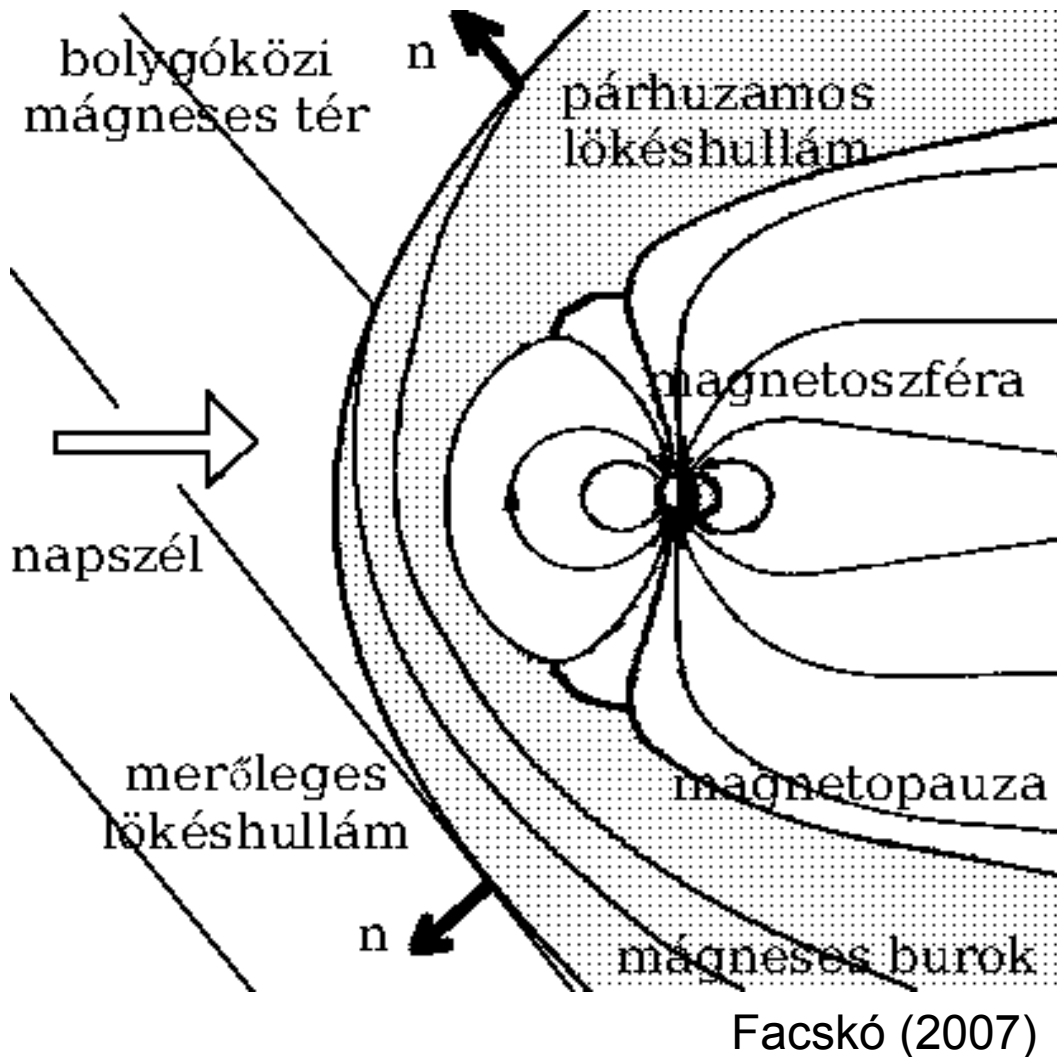
ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



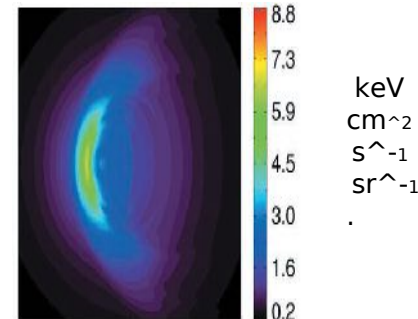
Bevezetés



Űrfizika = Ütközésmentes plazmák fizikája



- **Ütközésmentes plazma:** a szabad úthossz \sim a rendszer mérete (\sim CSE)
- A kölcsönhatásokat a mágneses és elektromos terek közvetítik
- Egy szondás, több szondás mérések: modellezni kell!
- Újabban: lágy röntgenben látszik a bow shock





Plazmaszimulációk

Milyen közelítéssel írjuk le a plazmát?

**Particle in cell
(PIC) kódok**

**Teljes részecske
kód: ionok +
elektronok**

Makrorészecskék

**Nagyon számítás
igényes**

Csakis lokális

Hibrid kódok

**Ionok részecskék +
töltés kiegyenlítő
elektronfolyadék**

Kinetikus jelenségek

**Gyengén mágnesezett
objektumok: Mars, Vénusz,
Titán, Merkúr**

MHD kódok

**Folyadék modell
Lokális és globális**

**Erősen
mágnesezett
objektumok: Föld,
Jupiter,
Szaturnusz**

**VLASIATOR, hibrid Maxwell-Vlasov solver:
Eloszlás függvények
Töltés kiegyenlítő elektron folyadék
Több ezer processzor és TB memória!!!**



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE



GUMICS-4



GUMICS-4

• Grand Unified Magnetosphere Ionosphere Coupling simulation

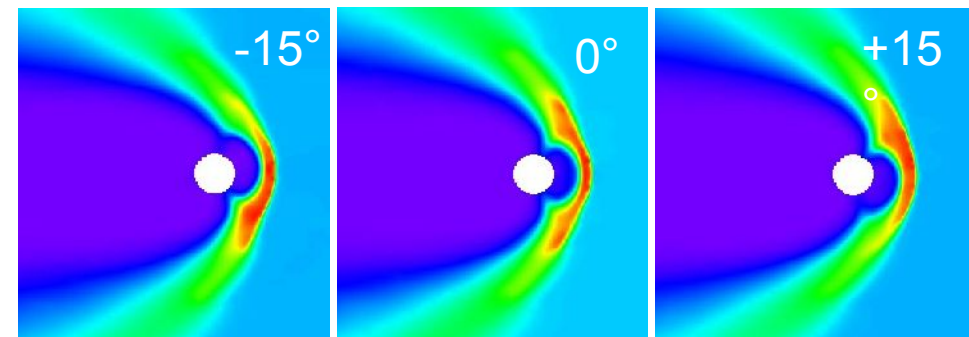
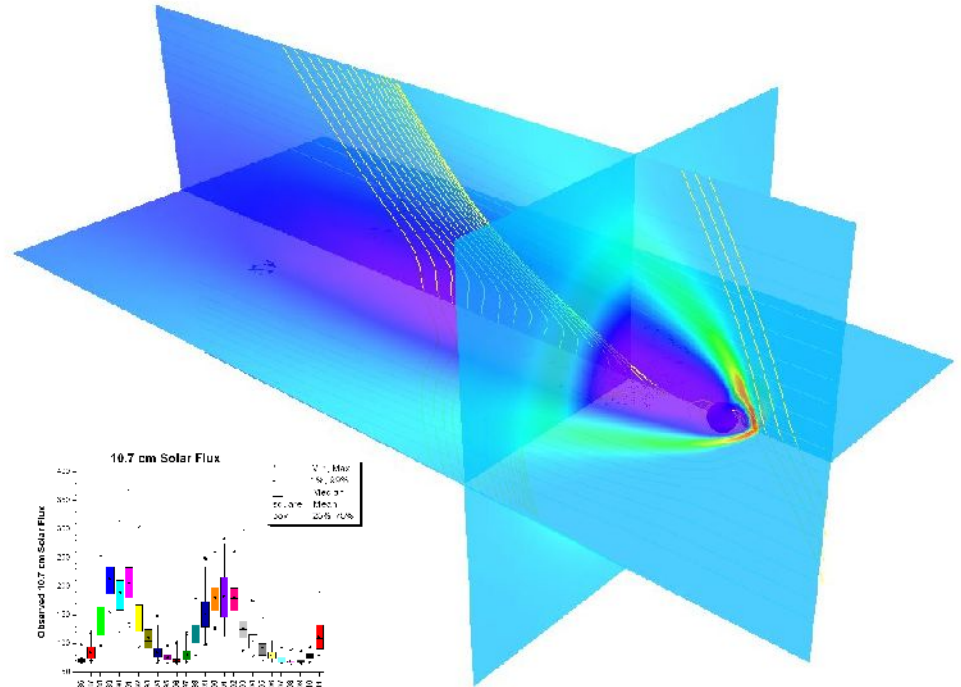
- 3D globális MHD szimuláció
- A Föld közeli űr plazmakörnyezetének modelje
- **Csatolt** magnetoszféra és ionoszféra
- A kód minden UNIX/Linux rendszeren fut
- **Nem párhuzamos**
- Descartes koordináták
- **Statikus mágneses dipólus**

• Konfigurációs file

- F10.7 fluxus
- Dipólus tilt szög

• Input file

- $n, T, V_x, V_y, V_z, B_x, B_y, B_z$



-15°, 0°, +15° a GSE X-Z síkban, 0° a GSE X-Z síkban



GUMICS-4 – Hol a helye a világban?

- **3D globális MHD szimulációk – a GUMICS az egyetlen Európai kód**
 - BATS_R_US, Gábor TÓTH, University of Michigan
 - B_x használható – ez az egyetlen kód, amely B_x komponenst használ
 - Egy nagyobb modell része
 - Sokféle ionoszféra modellt használ
 - OpenGGMC/CTIM – Joachim RAEDER, University of New Hampshire
 - Csatolt ionoszféra modellek
 - LFM/MIX - Lyon-Fedder-Mobarry kód
 - Magasabb rendű solver
 - Nem adaptív
 - Tubulencia és Kevin-Helmholtz instabilitás tanulmányozása
- **A magnetoszférát és az ionoszférát csatolják mindehol – nem egyedi**
- **Minden kód párhuzamos – a GUMICS nem része a “GEM Challenge”-nek**
- **Dinamikus tilt mindenhol**



ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE





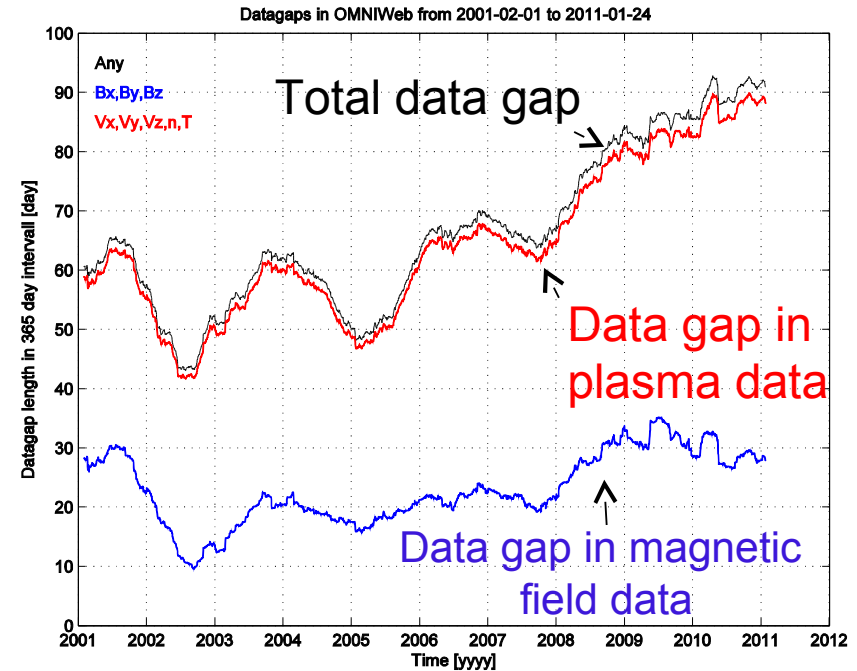
ILMATIETEEN LAITOS
METEOROLOGISKA INSTITUTET
FINNISH METEOROLOGICAL INSTITUTE

Space Climate szimuláció (4.7 TB – mentés öt percenként)



Dinamikus szimulációk

- A 2002 február 1 és 2003 január 31 közötti 365 napot válaszották ki
- Cluster pályákat szimuláltunk (57^h)
 - Adathiány kitöltés interpolációval
 - 12 processor/node → 12 szelet
 - 1-1 óra GUMICS inicializáció
 - Átlagos tilt szög minden szeletnek
 - Átlagos B_x minden szeletnek a konfigurációs file-ba írva
 - Status mentés öt percenként
- 1860 processzor lenne szükséges a Cray-en
- Korlátozott erőforrások → 40 node/480 processzor

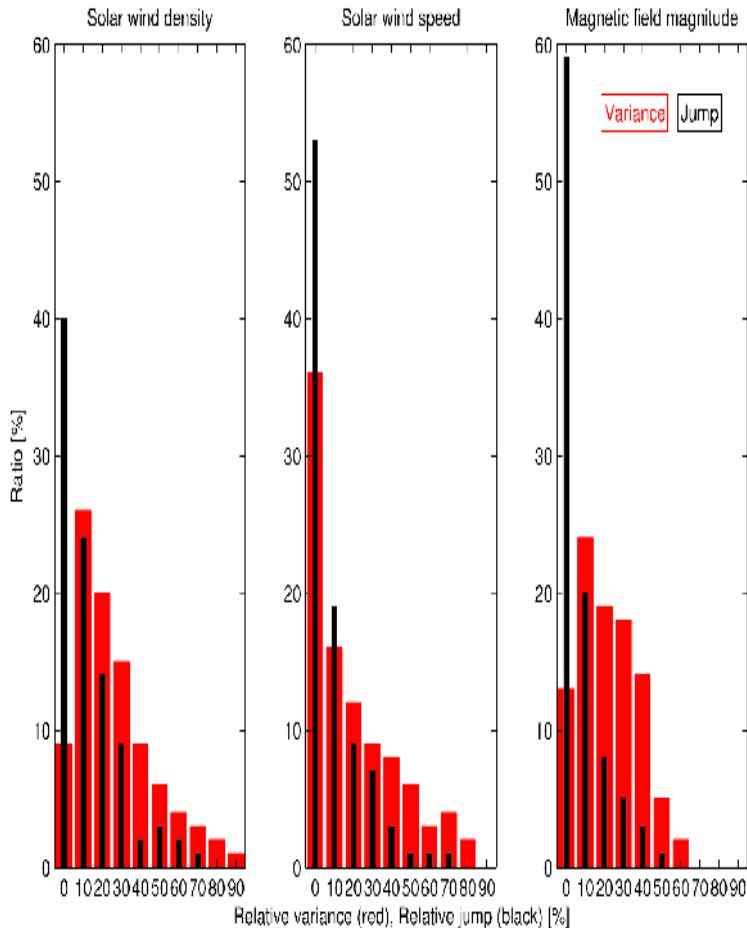


A GUMICS-nak mágneses **ÉS** plazma adatokra van szüksége

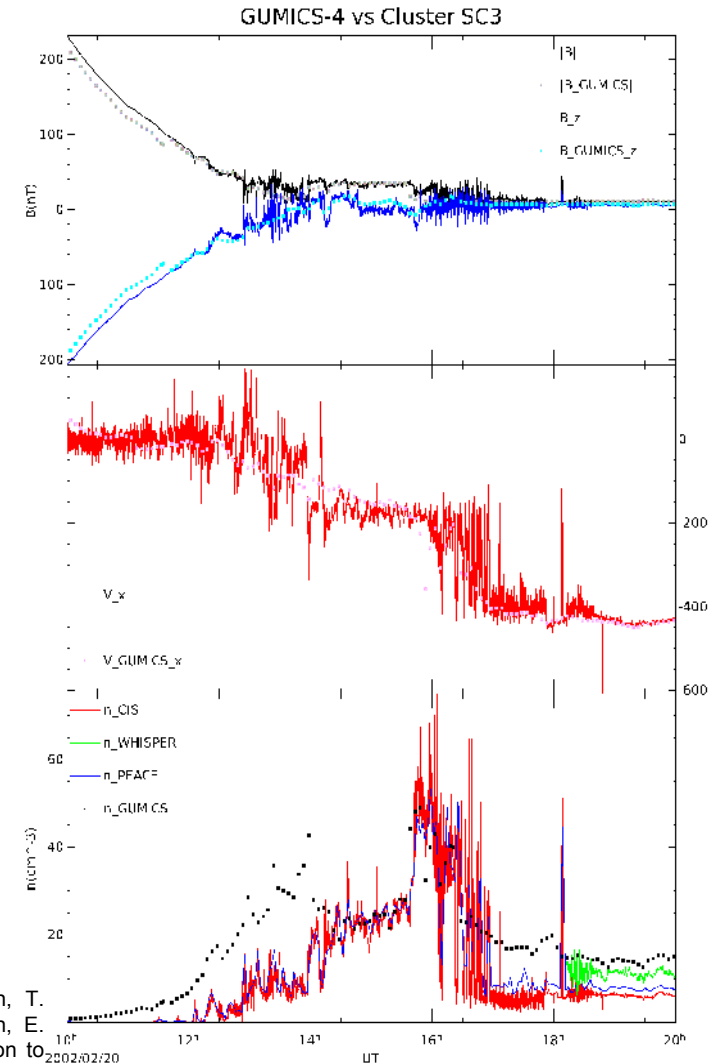
A teljes és műszer adathiányok hosszát összegeztem 365 napos intervallumokra 2001 február 1 és 2012 december 31 között az OMNIWeb időeltolt napszél adataiban



Mennyire függnek össze a szakaszok?



A Cluster SC3 mérések és a GUMICS-4 szimulációk összevetése az előbbi pályája mentén a szimulációs térben.
10:00-től 20:00-ig (UT) 2002. február 20-án



Facsko, G., I. Honkonen, L. Juusola, A. Viljanen, E. I. Tanskanen, L. Palin, T. Zivkovic, K. Agren, H. Opgenoorth, H. Vanhamaki, P. Janhunen, M. Palmroth, E. Kallio, S. Milan, Comparison of one year long GUMICS-4 global MHD simulation to spacecraft and ground based measurements, in preparation to JGR 2014



Összehasonlítás

Cluster SC3 pálya mentén

Folyamatban

Lökéshullám, magnetopauza és a semleges lepel helyzete

-

Ionoszféra

Kész

Geomagnetically Induced Currents

Folyamatban

Magnetic field mapping

Kész

High latitude variations

Folyamatban

Napszél adatok a Hold pálya mentén

Kész

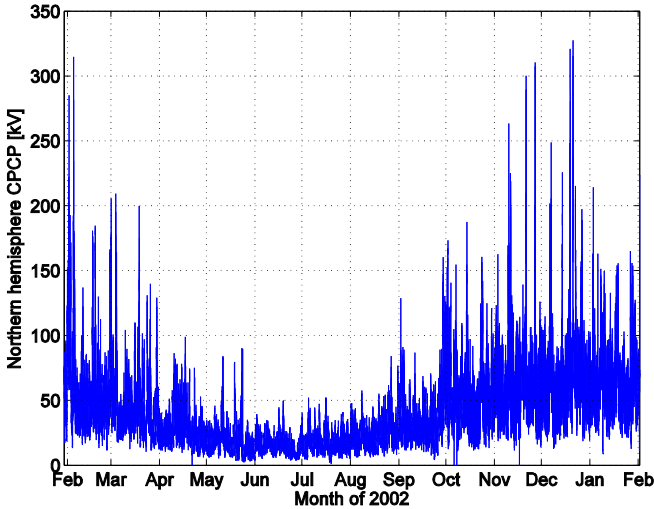
Juusola, L., **G. Facsko**, I. Honkonen, P. Janhunen, H. Vanhamaki, K. Kauristie, T. V. Laitinen, S. E. Milan, M. Palmroth, E. I. Tanskanen, and A. Viljanen, Statistical comparison of seasonal variations in the GUMICS-4 global MHD model ionosphere and measurement, *Space Weather*, doi:10.1002/2014SW001082



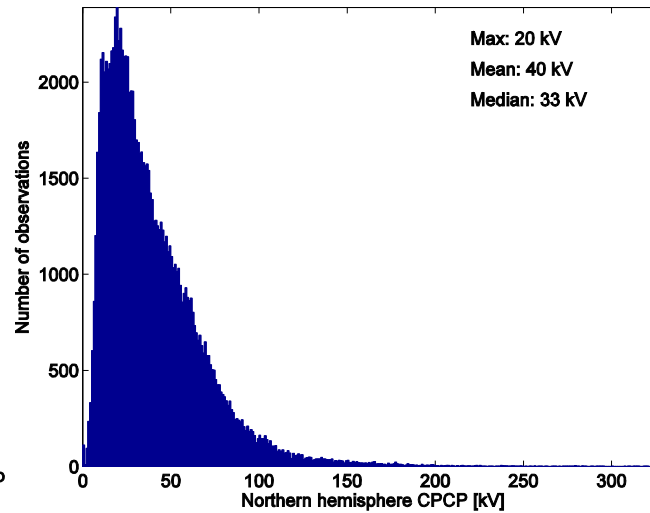
Cross Polar Cap Potential

(Fent balra) szimuláció (lent balra) SuperDARN Cross Polar Cap Potential.
Hisztogrammok: (jobbra fent) szimuláció (jobbra lent) SuperDARN.

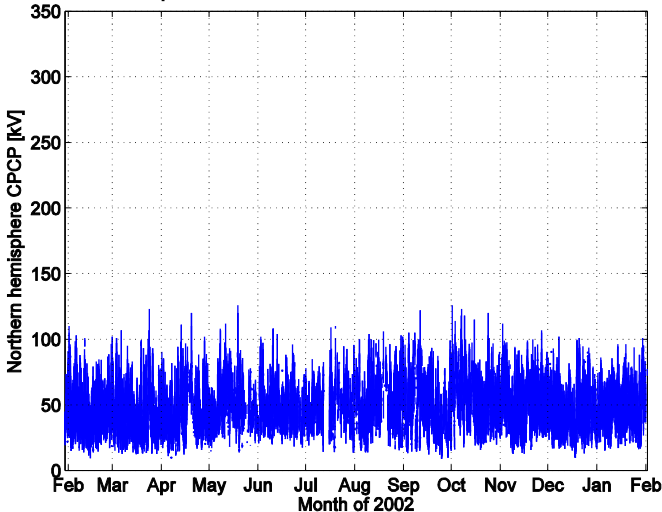
GUMICS ECLAT data: 30 Jan 2002 - 02 Feb 2003



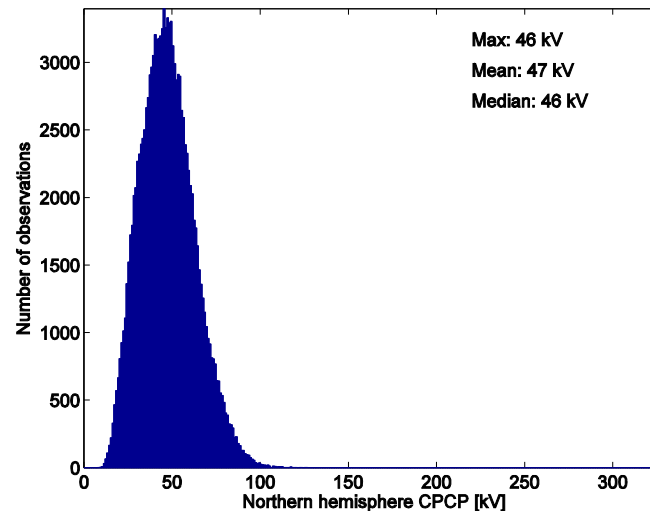
GUMICS ECLAT data: 30 Jan 2002 - 02 Feb 2003



SuperDARN ECLAT data: 30 Jan 2002 - 02 Feb 2003



SuperDARN ECLAT data: 30 Jan 2002 - 02 Feb 2003

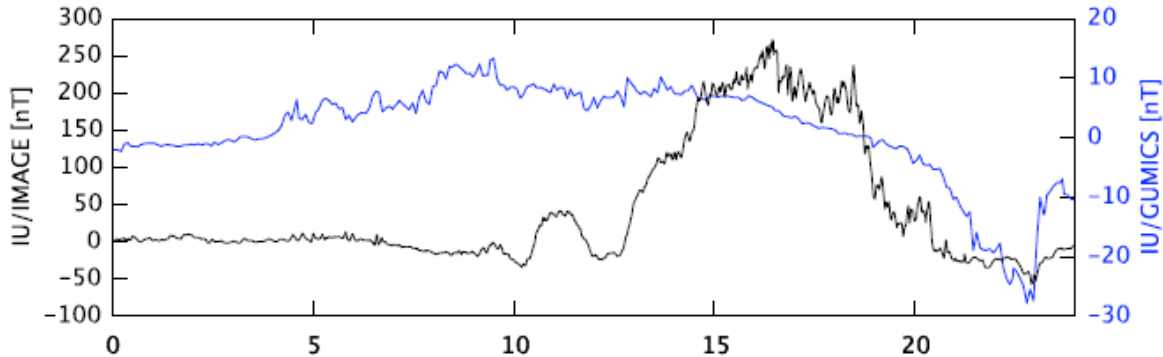


Máshol van az eloszlásfüggvények maximuma. A GUMICS szimulációk egyszerűen látják az alacsonyabb értékeket is.

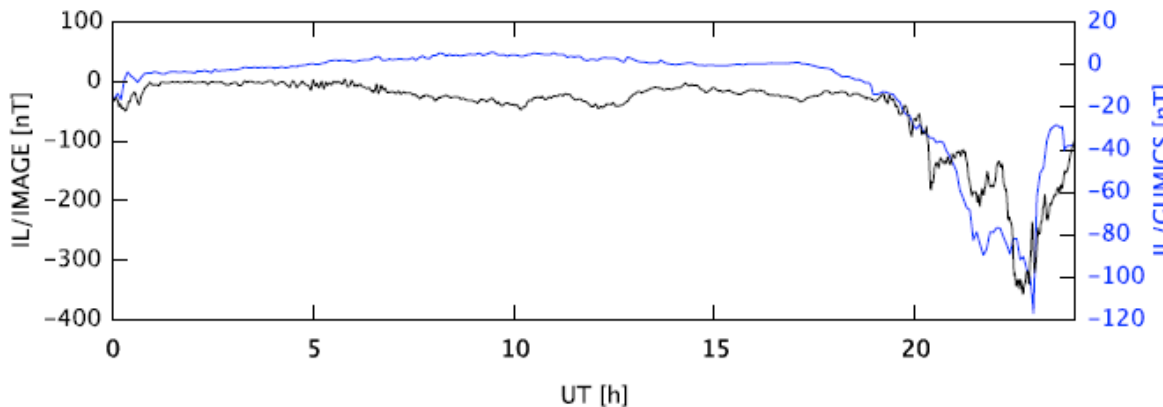


Geomagnetically Induced Currents

20020303 (C = 0.287)



C = 0.901



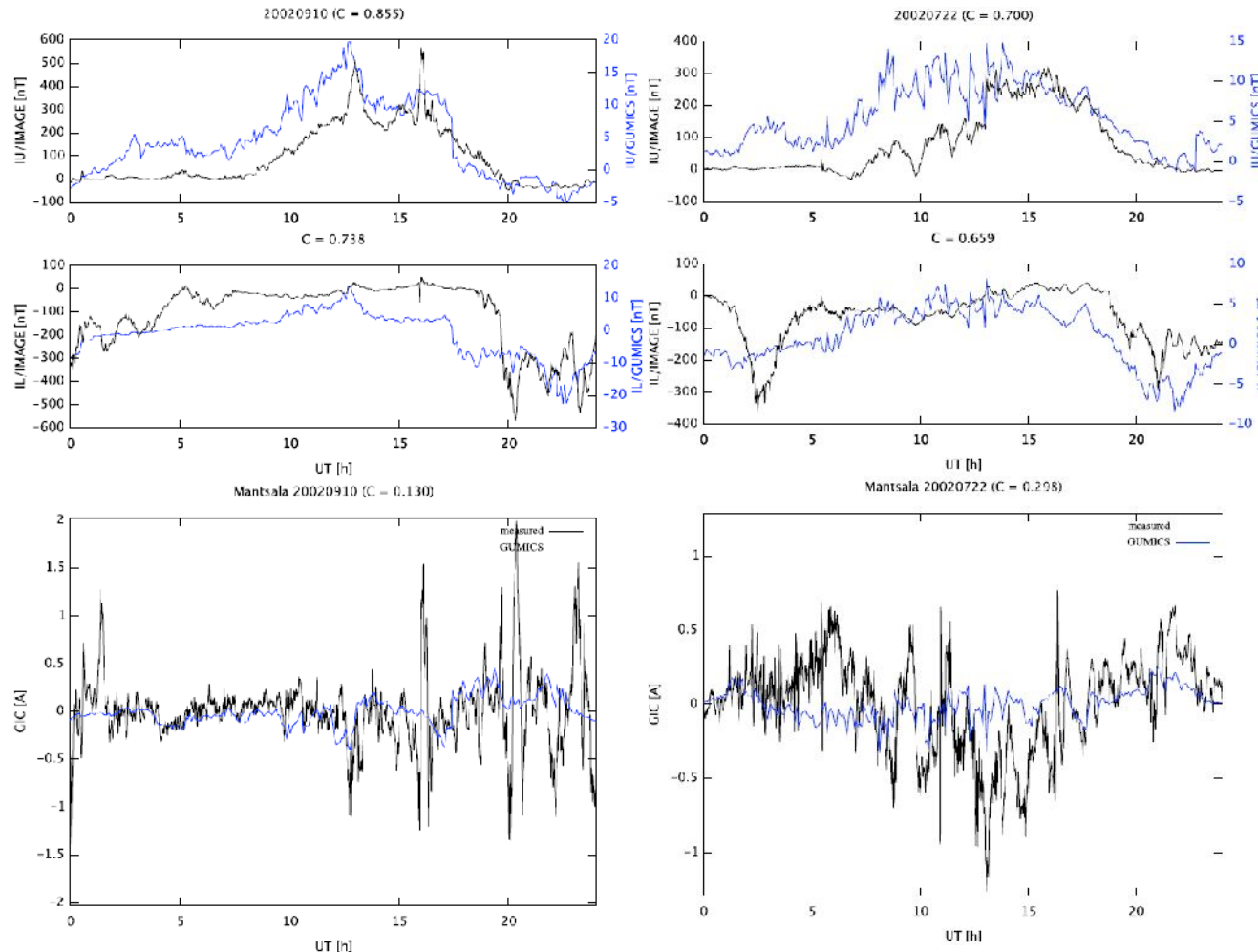
Itt $IU(t) = \max(\{B_x(t)\})$;
 $IL(t) = \min(\{B_x(t)\})$, ahol
 $\{B_x(t)\}$ az összes
elérhető magnetométer
állomás. t , B_x a
geomágneses északi
pólusa a mezőnek. A
Geomagnetically
Induced Currents (GIC)
Mäntsäläban, Dél-
Finnországban mérték
és számolták a
földgázvezeték mentén.

IU legjobb korrelációja.

Facsko, G., I. Honkonen, L. Juusola, A. Viljanen, E. I. Tanskanen, L. Palin, T. Zivkovic, K. Agren, H. Opgenoorth, H. Vanhamaki, P. Janhunen, M. Palmroth, E. Kallio, S. Milan, Comparison of one year long GUMICS-4 global MHD simulation to spacecraft and ground based measurements, in preparation to JGR 2014



Geomagnetically Induced Currents



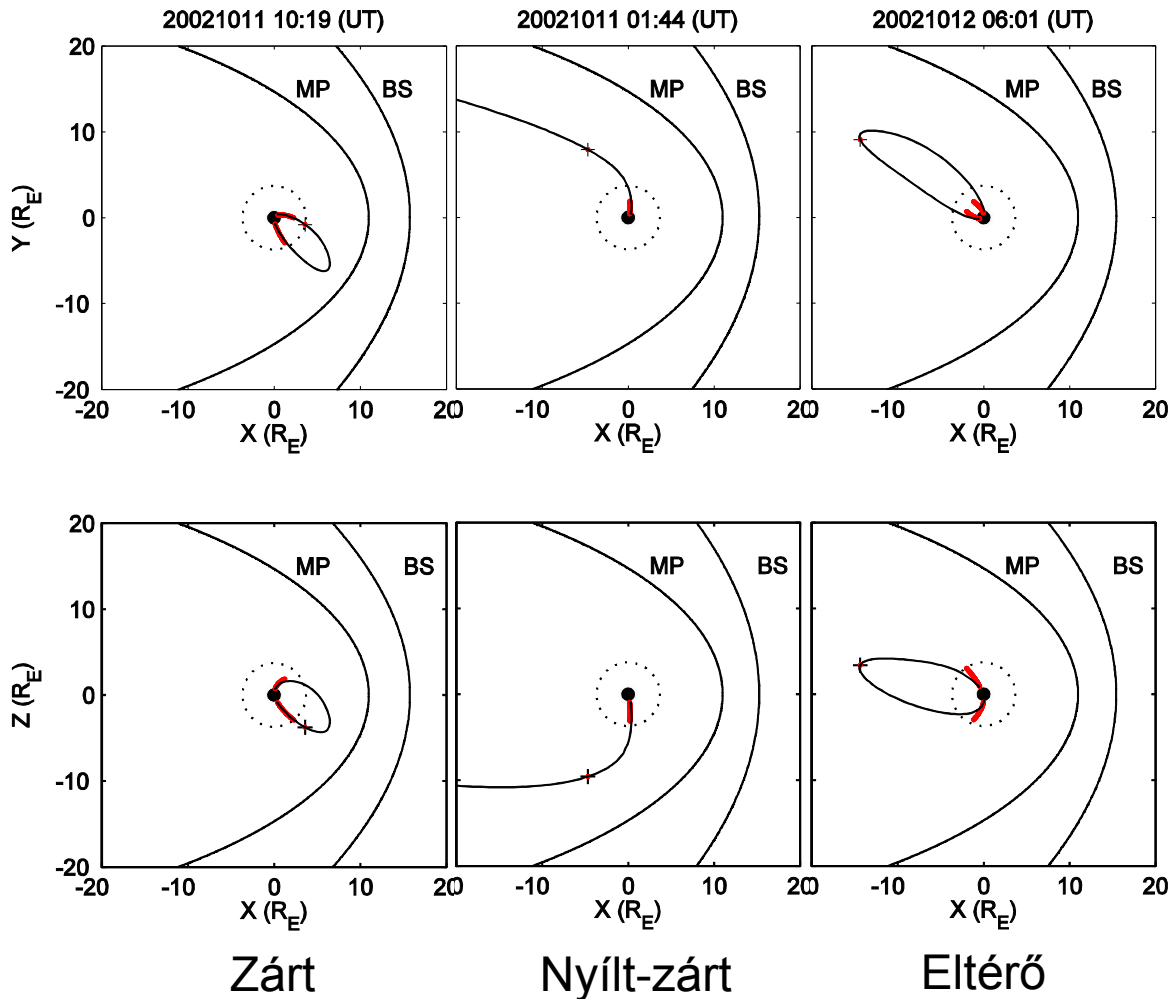
Itt
 $IU(t) = \max(\{B_x(t)\})$;
 $IL(t) = \min(\{B_x(t)\})$,
 ahol $\{B_x(t)\}$ az
 összes elérhető
 IMAGE network
 magnetométer at t
 időpontban, B_x
 pedig a geografikus
 északi irányba a
 mezőnek.

*Az (Balra) IU és
 (Jobbra) GIC
 legnagyobb
 korrelációja.*

Facsko, G., I. Honkonen, L. Jusuola, A. Viljanen, E. I. Tanskanen, L. Palin, T. Zivkovic, K. Agren, H. Opgenoorth, H. Vanhamaki, P. Janhunen, M. Palmroth, E. Kallio, S. Milan, Comparison of one year long GUMICS-4 global MHD simulation to spacecraft and ground based measurements, in preparation to JGR 2014



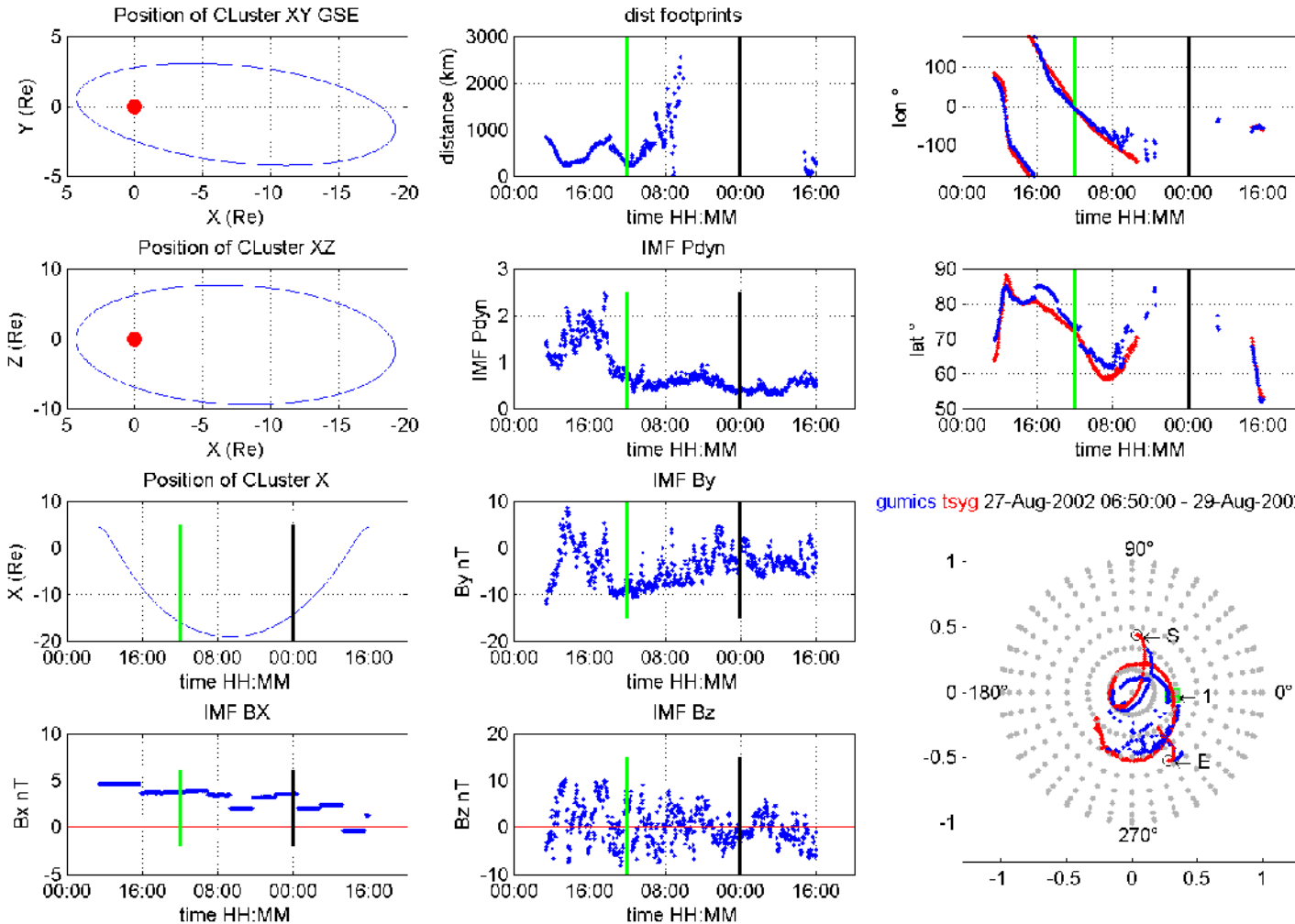
Magnetic field mapping



A GUMICS-4 szimulációkból meghatározott Cluster SC3 (+) footprintek és a T96 modell (fekete). A lökéshullám és a magnetopauza s Peredo et al. (1995) és a Tsyganenko et al. (1995) modelleken alapul, értelemszerűen.



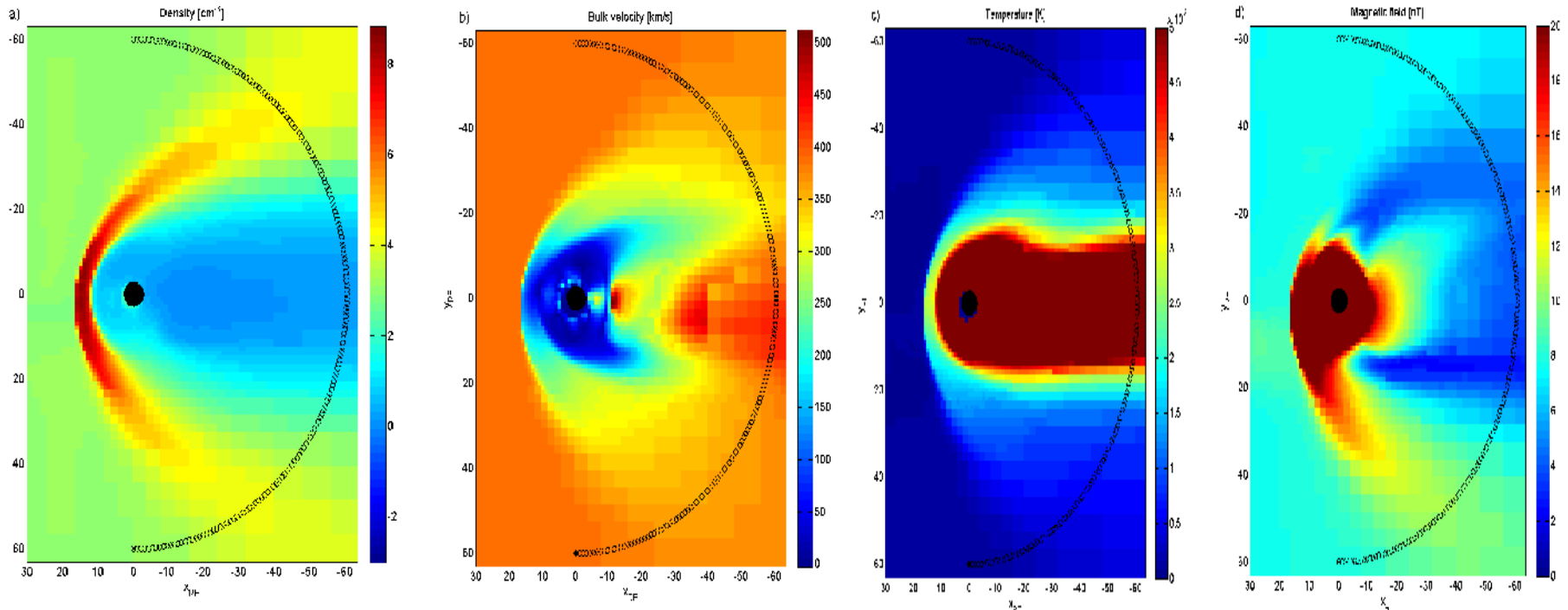
Magnetic field mappina (cont'd)



Elég jól egyezik az északi félgömbön. A GUMICS gyorsabban reagál a Tsyganenko modellnél. A B_y túlreagált, a B_z alul reagált. A sliceok láthatóak, amikor Pdyn gyorsan változik. A déli féltekén az eltérés nagyobb: nem elég a dipole.



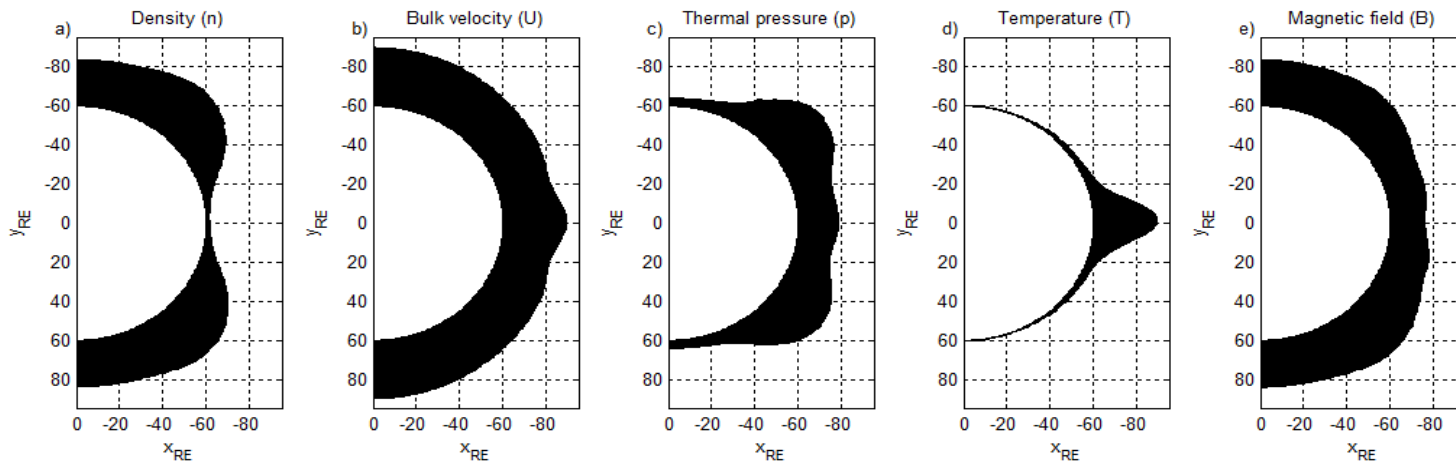
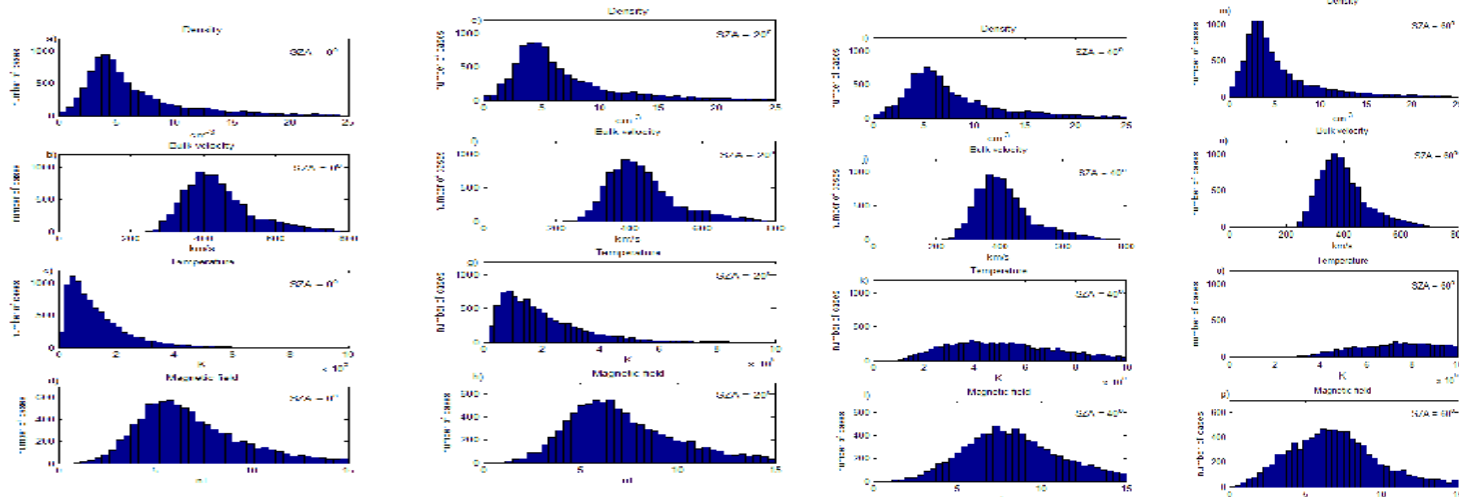
Hold pálya tipikus napszél paraméterei



- Egy év hosszú numerikus szimuláció
- $Z_{GSE}=0$ RE, $R=60$ RE – egyszerűsítés
- Fokként megy végig



Hold pálya tipikus napszél paraméterei



A napszél sebesség és a mágneses tér nem változik jelentősen a Hold pályája mentén. A sűrűség és a hőmérséklet azonban igen.



Vége

Köszönöm a figyelmet!

(Kis Árpád [akis@ggki.hu] fiatal kutatót keres, lokális hibrid szimuláció témakörében.

Facskó Gábor [facsko.gabor@csfk.mta.hu] BSc, MSc diplomamunka témák: Globális MHD kód verifikáció és adatbányász algoritmusok fejlesztése, elemzése.)

Facskó Gábort az OTKA támogatta a K75640 számú szerződéssel. Az ECLAT projektet az Európai Unió támogatta a 263325 számú szerződéssel.