

ÚJ IRÁNYZATOK A FÖLDIBÁZISÚ METEOROLÓGIAI TÁVÉRZÉKELÉSI RENDSZEREK ALKALMAZÁSÁBAN

Dombai Ferenc PhD

MIRŐL LESZ SZÓ ?

- Meteorológiai radarokról
- Villámlás lokalizációs rendszerekről
- Rádiométerekről

- Lehetne még sok más eszközről is beszélni, szodár, windprofilerek, lézer eszközök – Doppler, aerosol, stb..... de kevés az idő !

- Csak egy gyors áttekintésre készültem a teljesség igénye nélkül !

Rövid történeti áttekintés

RADAR = Radio Detection And Ranging

1865 James C Maxwell kidolgozta az elektromágneses hullám elméletét

1886 R Hertz felfedezte az elektromágneses hullámokat

1904 C Hülsmeier bejelentette szabadalmát hajók felderítésére

1921 Albert Wallace Hull feltalálta a magnetront

1930 Hyland először detektált repülőgépet radarral

1935 Anglia radar védelmi hálózata - Home Chain

1940 -tól elterjedtek a különböző radarberendezések

1940 Anglia radar védelmi hálózata zivatarokat detektált

1946 Bay Zoltán Hold radar visszhang - Tungsram Egyesült Izzó lab.

1947 Első meteorológiai radar Washingtonban

1973 EU COST 72 csapadékmérés radarral

1982-83 Magyarországi radarhálózat kiépítése

1985 Az első Doppler meteorológiai radar - EEC

1985 Első teljesen automatizált meteorológiai radar UK

1988 USA NEXRAD radarhálózatának kiépítése

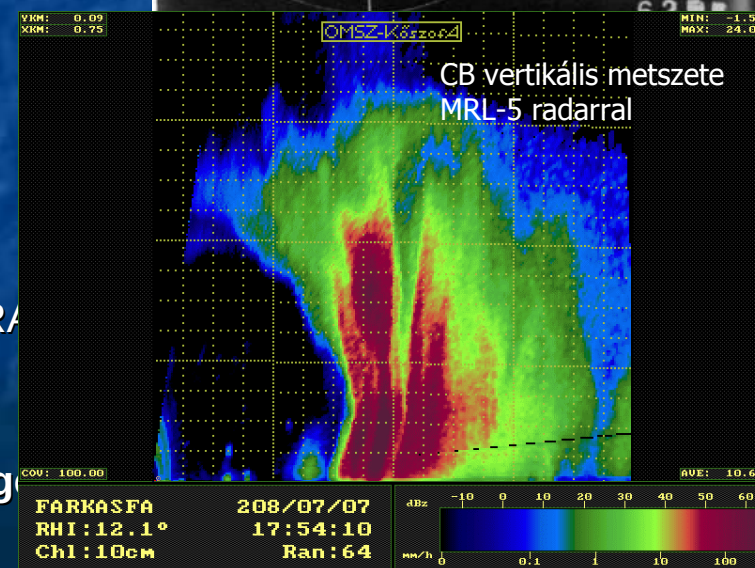
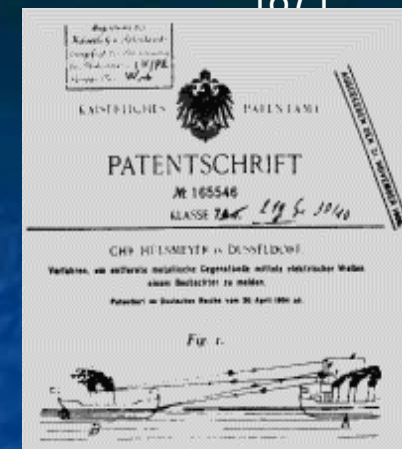
1990 Dual polarizációs radarok megjelenése

1990-től Első EU radarhálózati együttműködések CERAD, BALTRAD

1993 COST 75 - Fejlett időjárási radarok

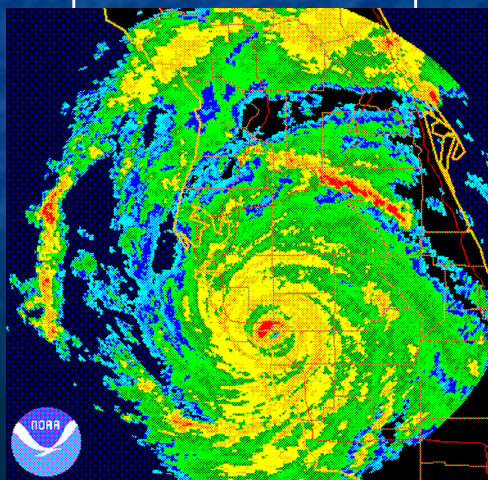
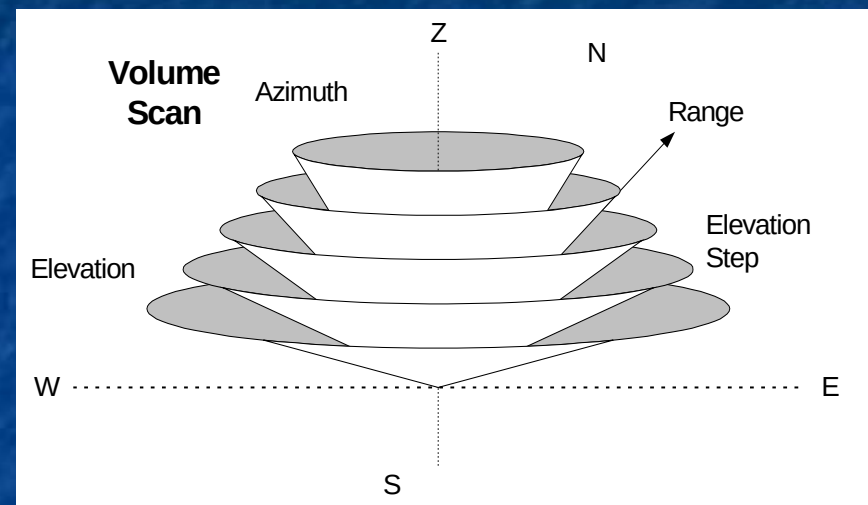
2000-től EUMETNET OPERA radarhálózati programjai

2000-től Doppler dual polarizációs radarhálózat Magyarországon

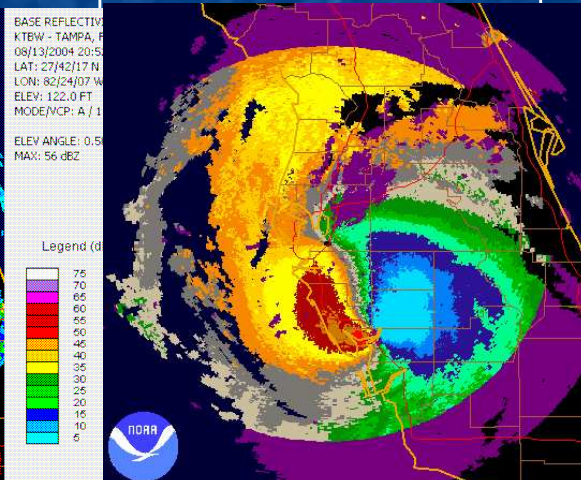


TIPIKUS METEOROLÓGIAI RADAROK JELLEMZŐI

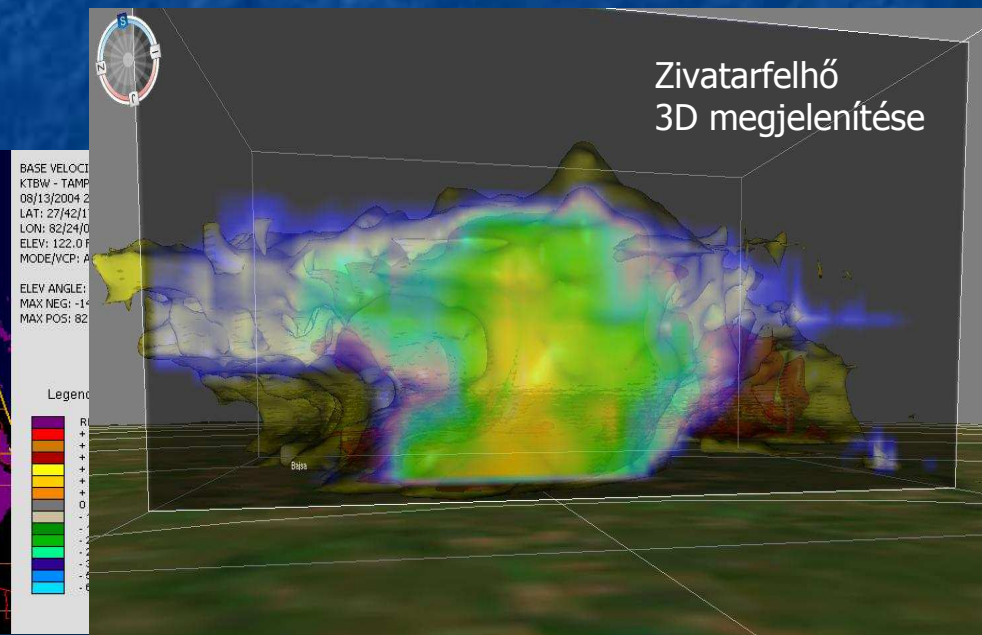
Paraméter	Symbol.	Tipikus értékek
Frekvencia	f_t	2.9 - 5.6 – 12.5 GHz
Hullámhossz	λ	10, 5, 3 cm, S, C, X
Antenna átmérő	D	1 - 9 m
Nyalábszélesség	P_{avg}	0.5 - 3 fok 1.0 tipikus
Impulzus telj.	P_t	0.01 - 1 MW (10^6 W)
Impulse időtart.	τ	0.1 - 1 μ sec
Impulzus hossza	h	30-300 m ($h=c \tau$)
Impulzus ismétl.	PRF	1000 Hz
Minimum jelszint	P_r	-134 dBW ($<10^{-13}$ W)
Reflektivitás	Z	-10 : 65 dBZ
Doppler	Vr	- 45 : 45 m/s



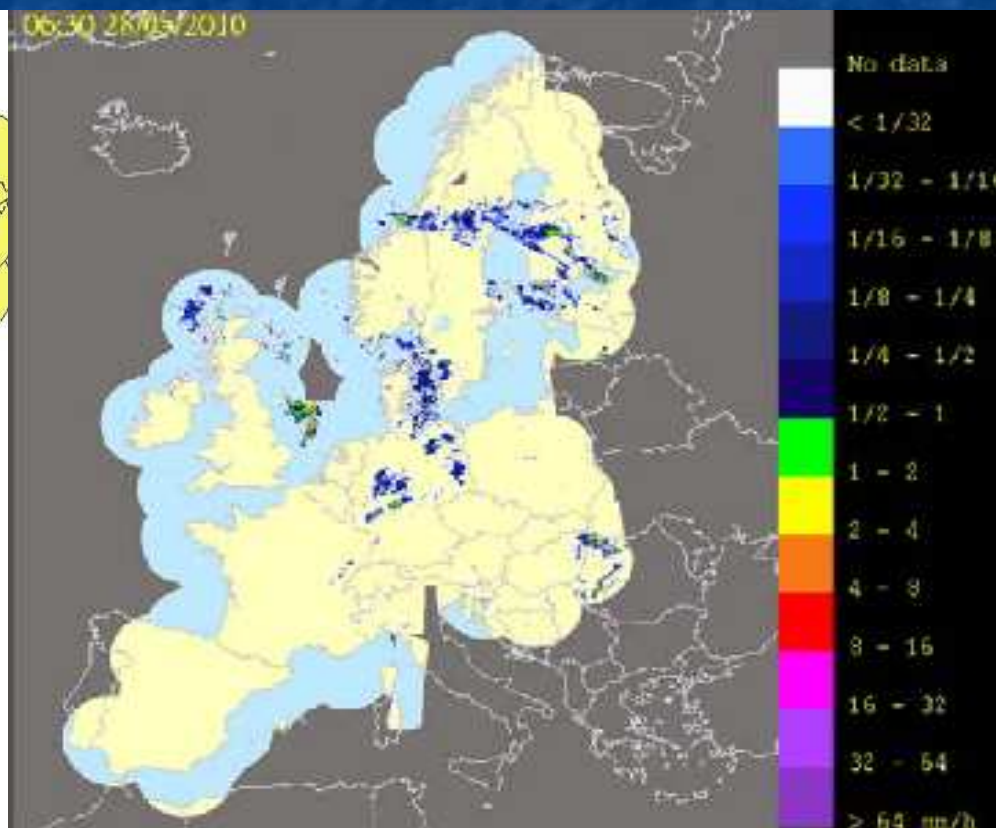
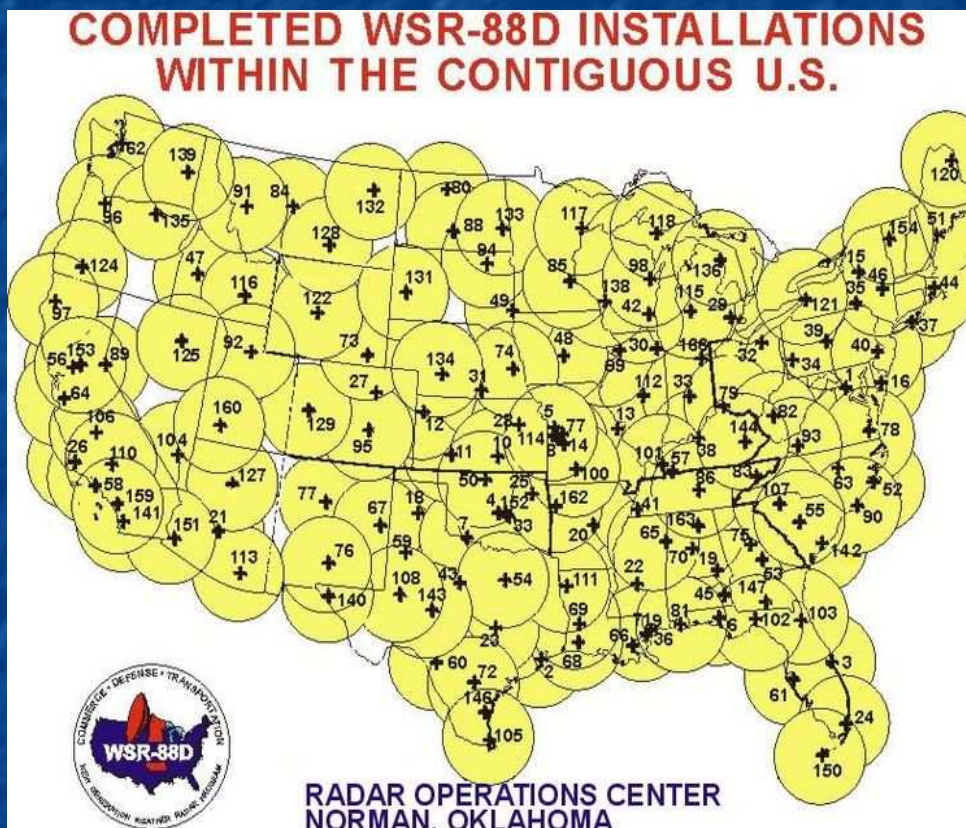
reflektivitás



Doppler



METEOROLÓGIAI RADARHÁLÓZATOK



NEXRAD – USA

FAA, NOAA, DoD együttműködésben
160 S sávú Doppler az NWS üzemeltetésében

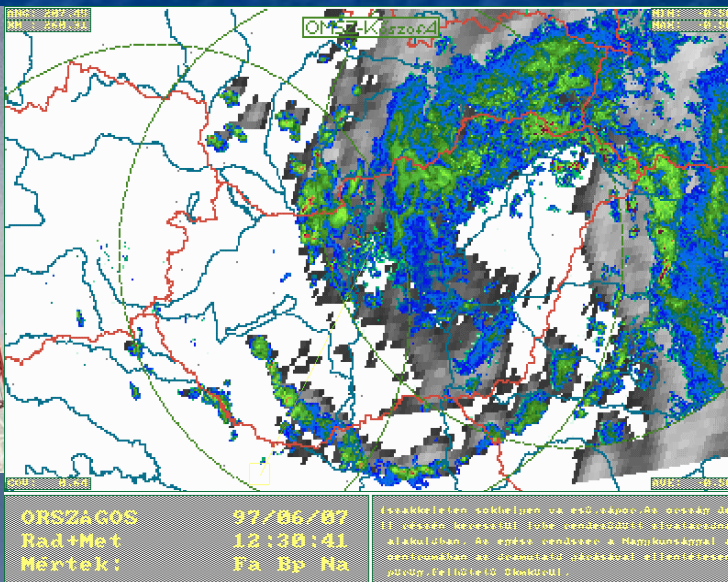
EUMETNET OPERA

30 országban 159 C és 33 S sávú radar
Ebből Doppler 166, Dual pol. 33 db

Időjárási radarok Magyarországon – 1999-ig

Első radarunk -BWRX12

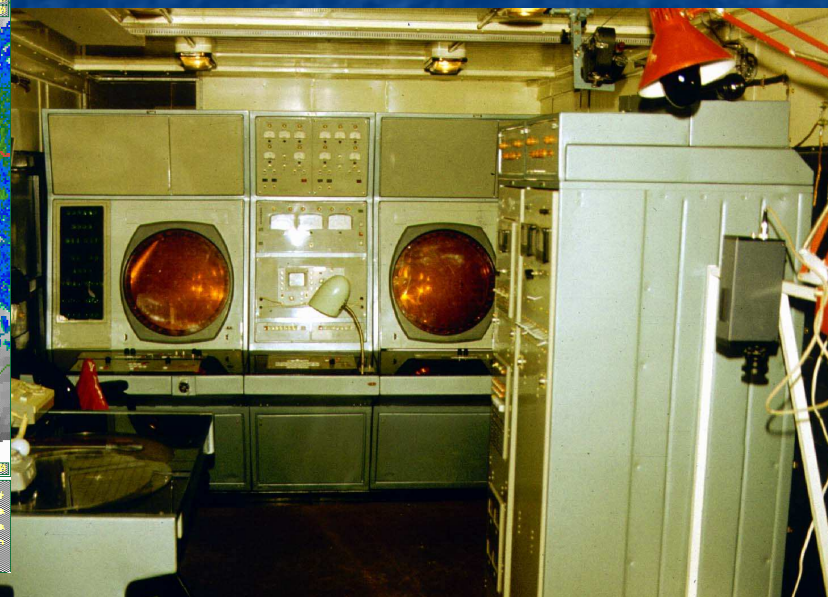
MRL-5 radarok 3 db, 1982-1999/2004



Országos radar, műhold kompozit 1997-ben



Radar obszervatórium (bontás előtt)



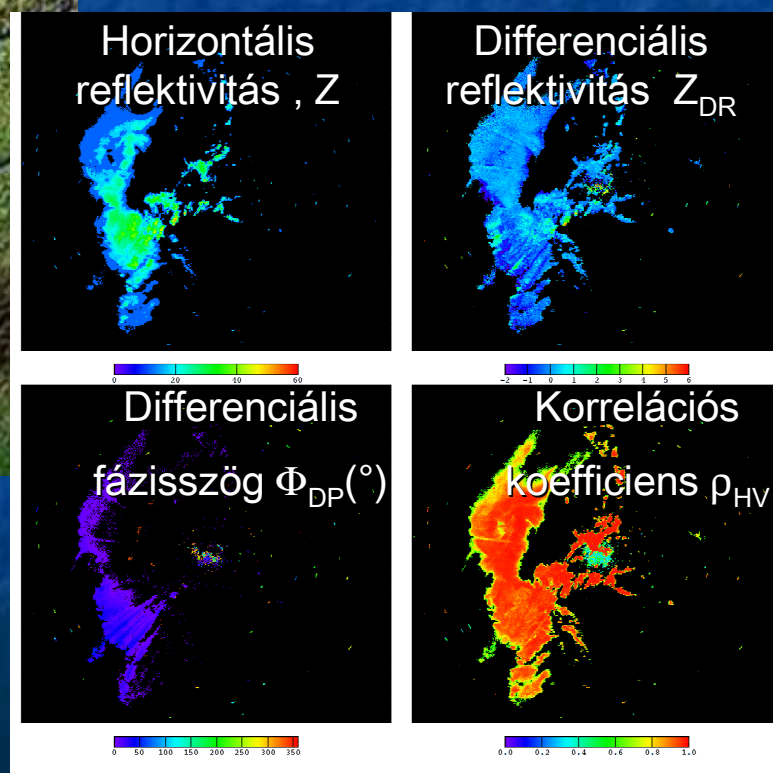
Első digitális radarkép 1986

AZ OMSZ JELENLEGI RADARHÁLÓZATA



Doppler radar
talajcél elnyomás
korrigált reflektivitás
radiális szélmező

Mért polarizációs paraméterek

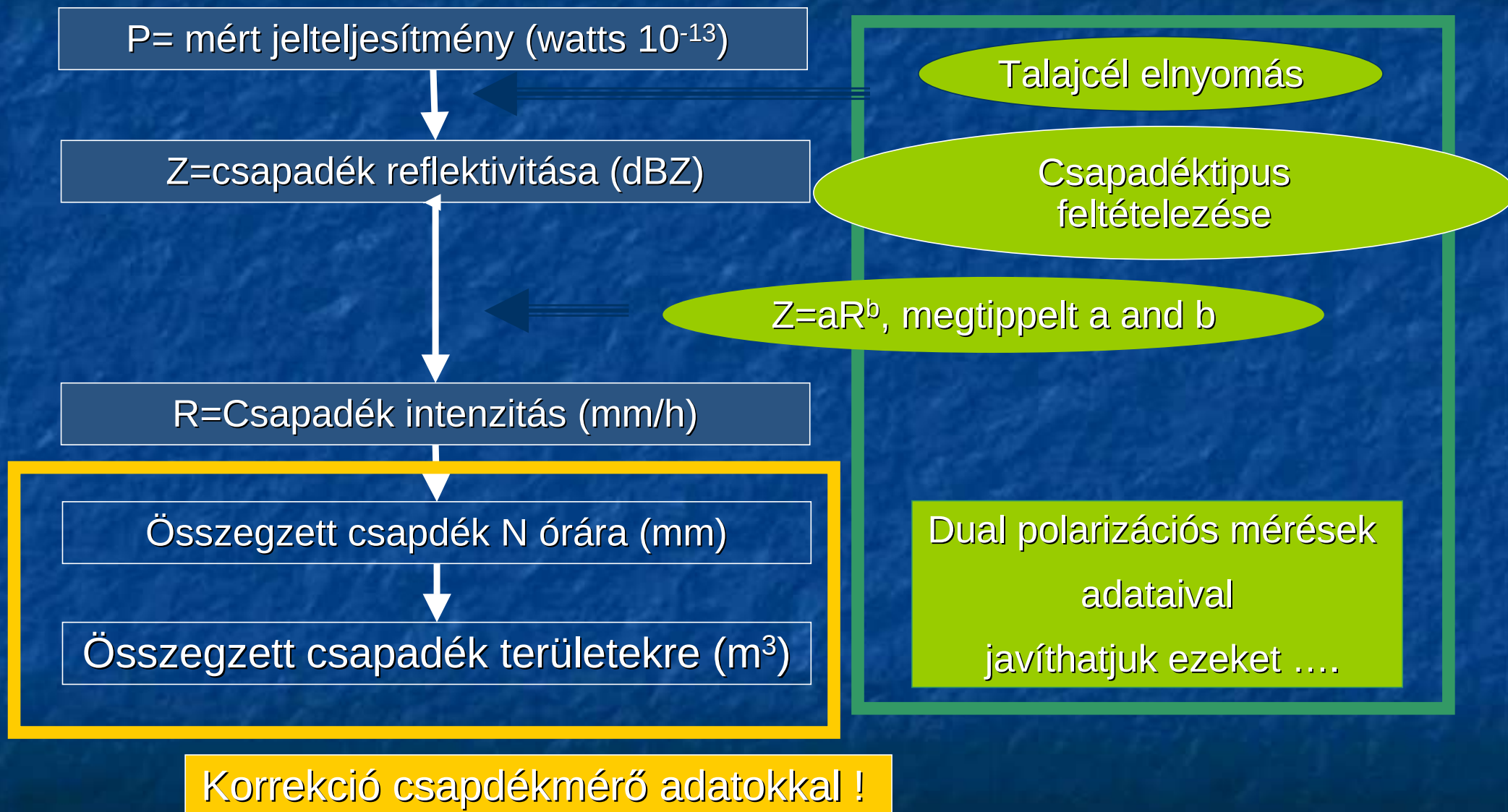


EEC 2501C Doppler dual polarizációs radar
2000 Budapest
2002 Napkor
2004 Pogányvár

ÚJ IRÁNYZATOK A RADAROK METEOROLÓGIAI ALKALMAZÁSAIBAN

- Doppler dual polarizációs radarok alkalmazása minden sávban X, C, S
 - NEXRAD upgrade
 - VAISALA betörése a radarpiacra
- MINI meteorológiai radarok széleskörű alkalmazása
 - Magnetron, Doppler dual pol.
 - CASA, LAWR
 - Időkép.hu
- QPE radar csapadékmérési eljárások javítása polarizációs paraméterekkel
- Fázisvezérelt nyalábképzés X és C sávban
- Félvezetős radarok megjelenése – pulzus kompresszió, FMCW
 - ICTR IDRA radarja - TU Delft
- Radaradatok minőségének javítása – OPERA 4

QPE - RADAR CSAPADÉK BECSLÉS FOLYAMATA



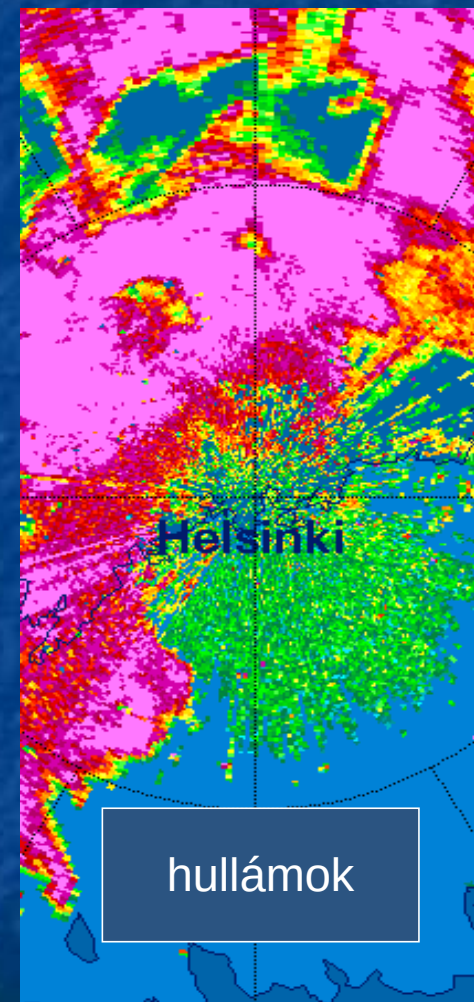
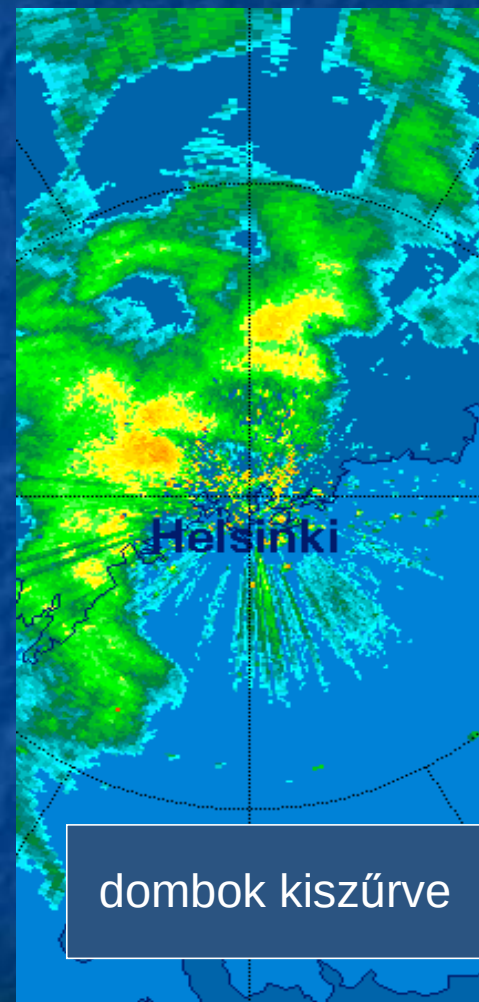
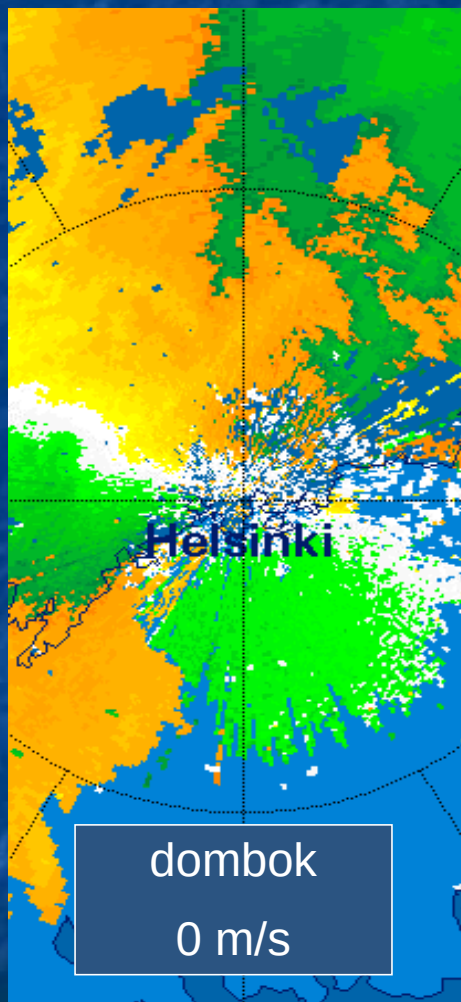
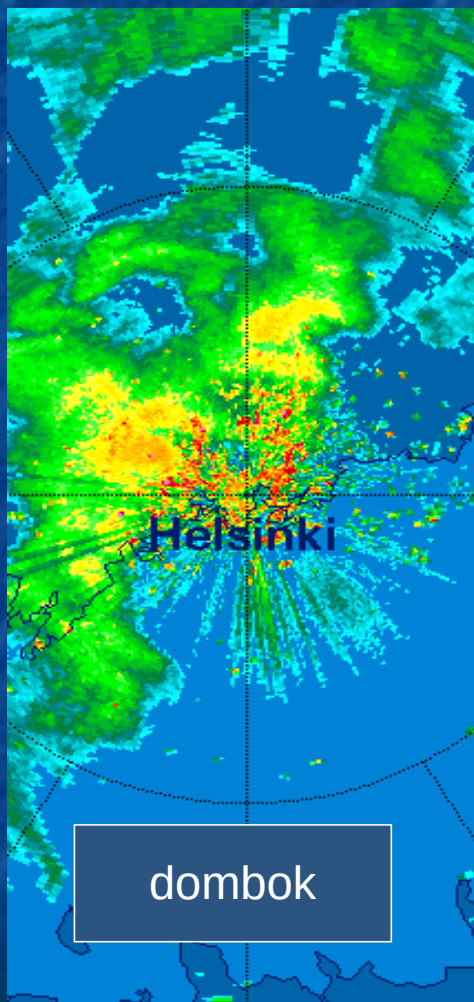
HOGYAN ?

korrigálatlan dBZ

Doppler sebesség

korrigált dBZ

korreláció ρHV

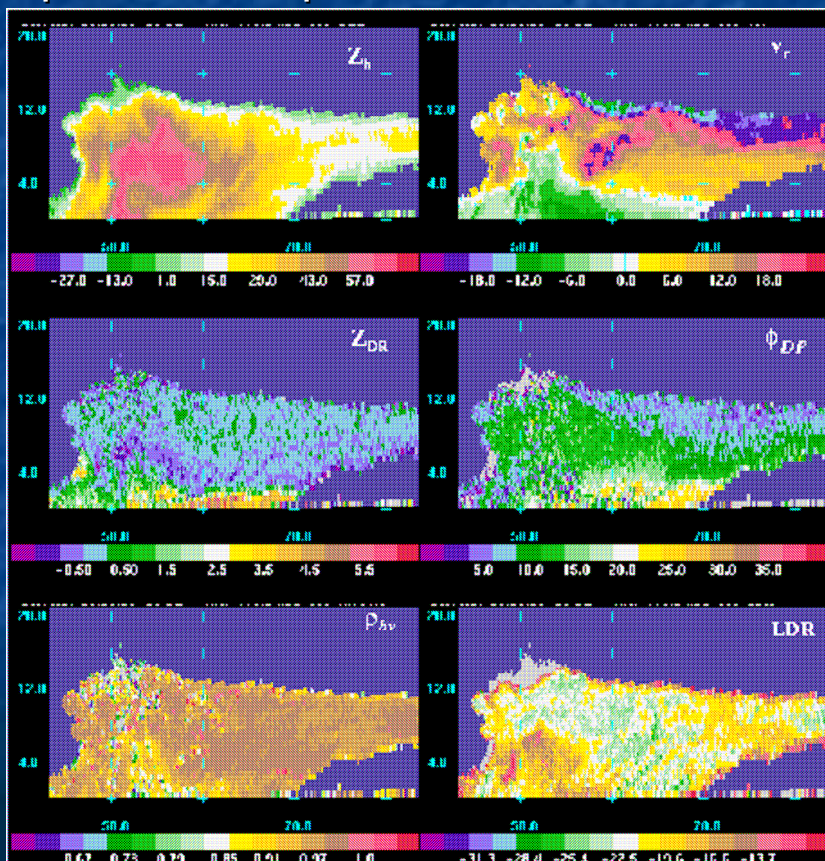


E. Saltikoff-tól „Helsinki-testbed-radars”

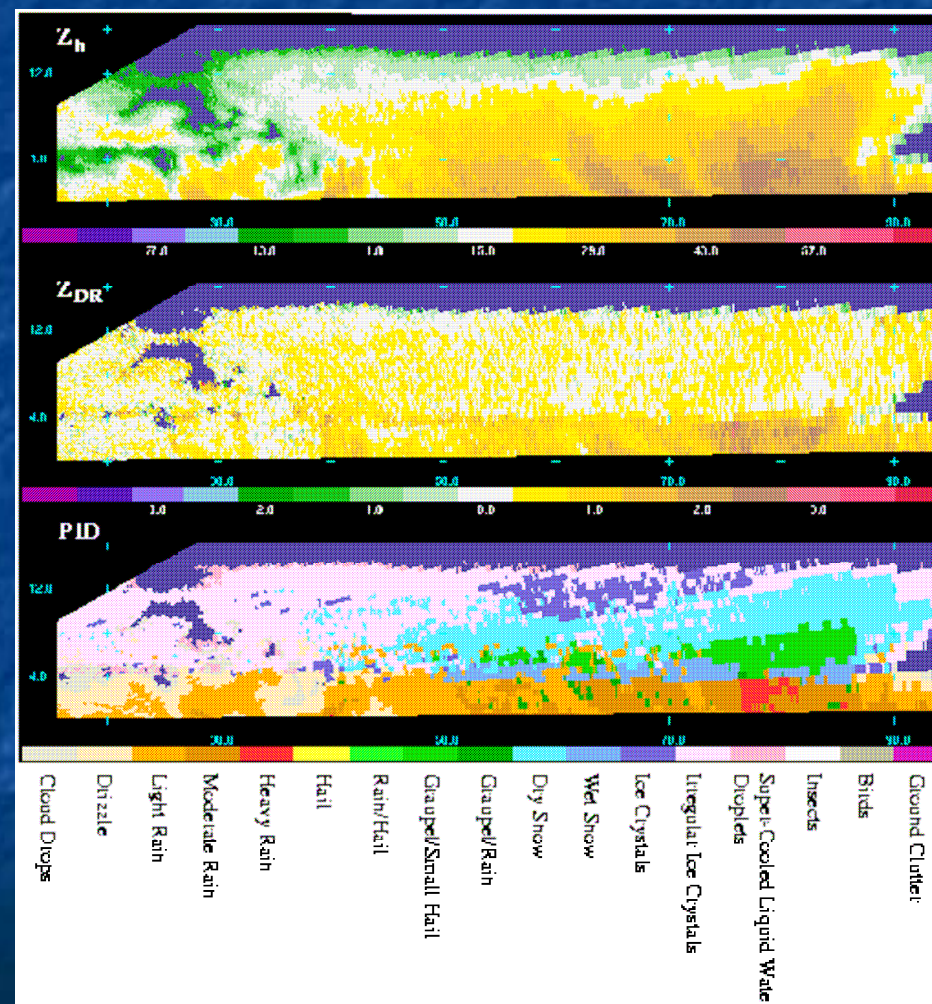
NEXRAD DUAL POLARIZÁCIÓS UPGRADE

2003 NWS OST adta feladatul az NSSL-nek meglévő (!) NEXRAD polarizációs upgradejét
2007 Előkészítés majd tenderezés zajlott, melyet a BARON cég nyert meg 2010-ben.

Ígéret: S band Doppler dual polarizációs
hidrometeor osztályozás, csapadékmérés
polarizációs paraméterekkel

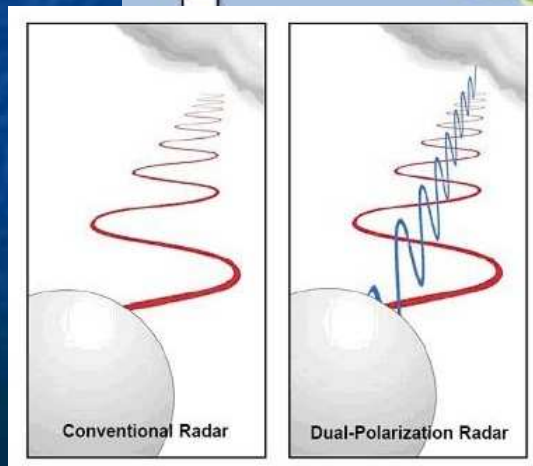
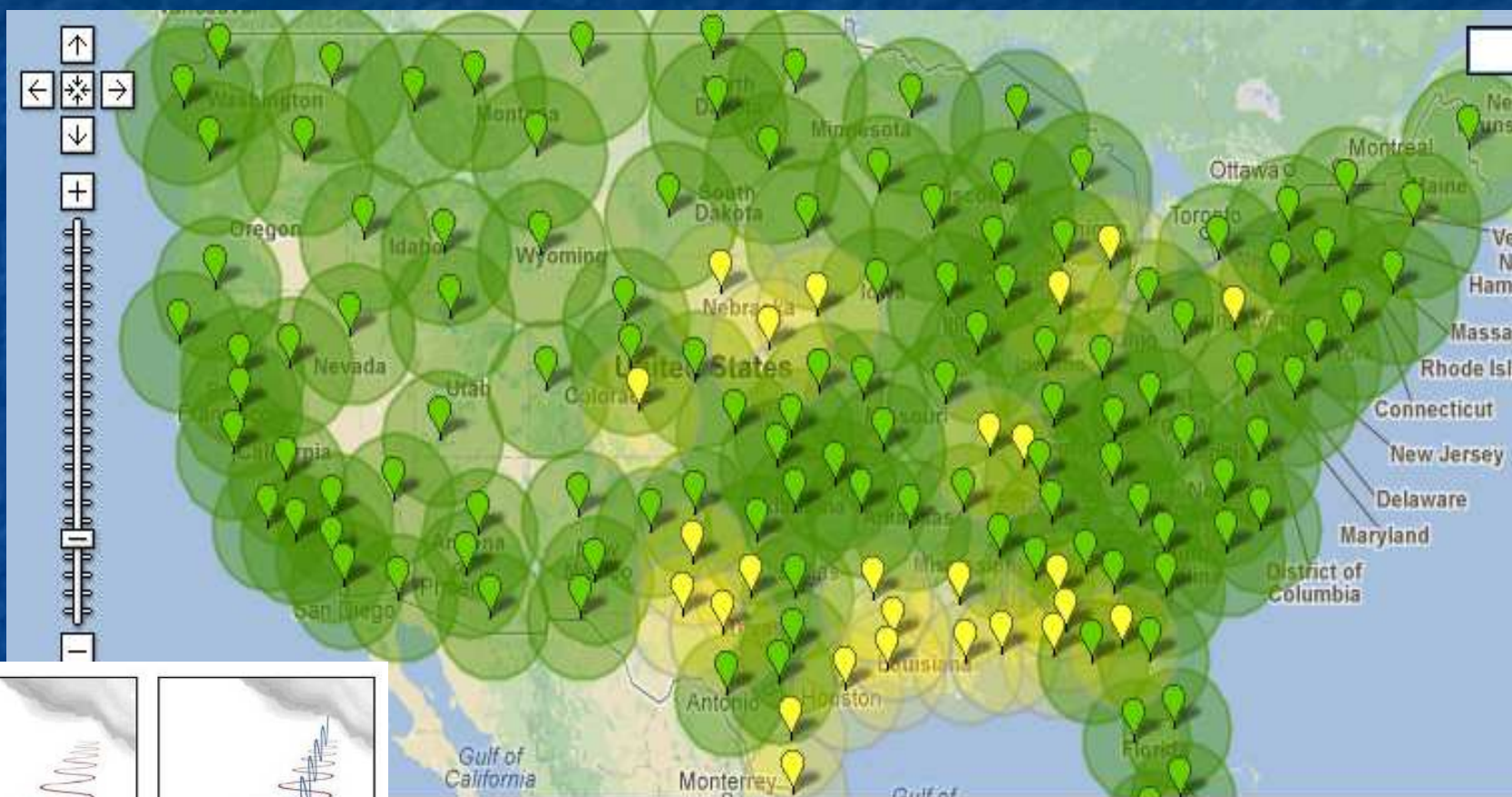


Zivatarfelhő különböző radar paraméterekkel



Nimbostratus hidrometeor osztályozással

NWS NEXRAD dual polarizációs upgrade



Befejezve 121 db, folyamatban 34 db
<http://www.roc.noaa.gov/WSR88D/DualPol/Default.aspx>

VAISALA WRM PROJEKT

WRM - saját Doppler dual polarizációs radar

2003 stratégiai döntés a VAISALA-nál

2004 prototípus C sávú klisztron radar

2006 újabb döntés, SIGMET megvásárlása !

RVP8 jelfeldolgozó, RCP8 Radar vezérlő

IRIS szoftver – HydroClass, QPE, etc.

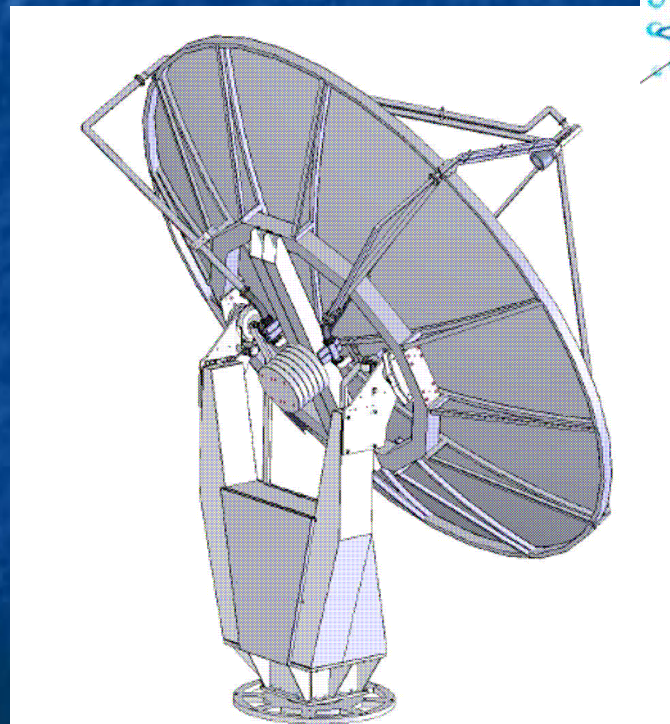
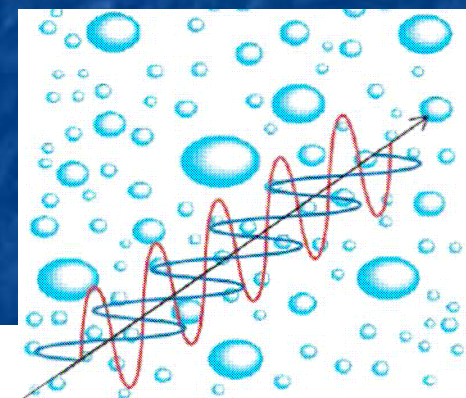
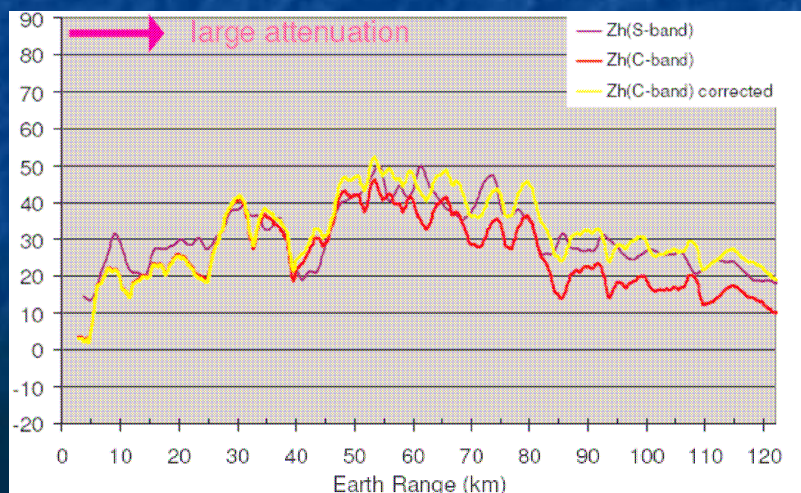
2008 sorozat gyártás kb. 80 db telepítése 2012-re

Ze – reflektivitás

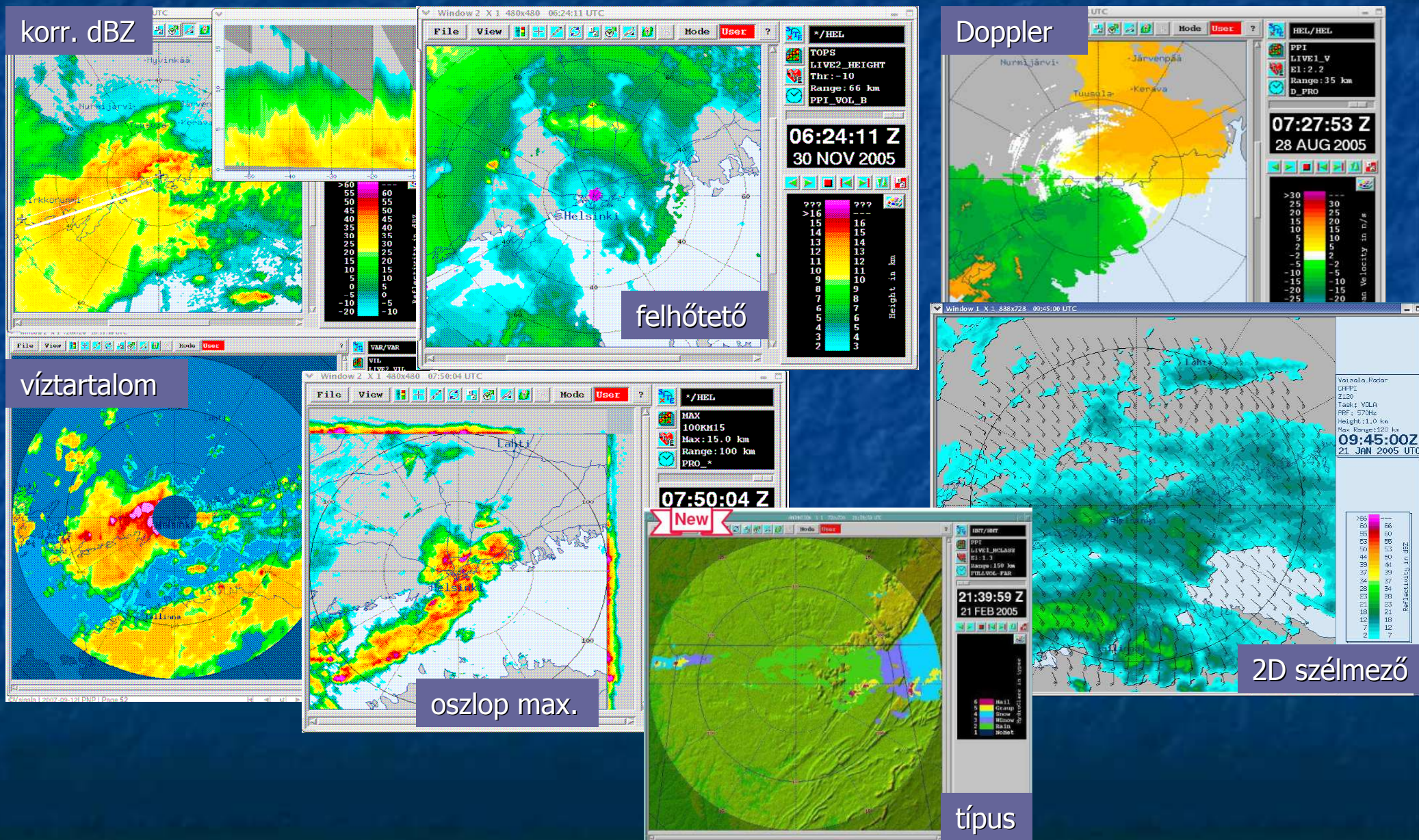
ZDR – differenciális reflektivitás

fiDP – fázis differencia

roHV – korrelációs koeff.

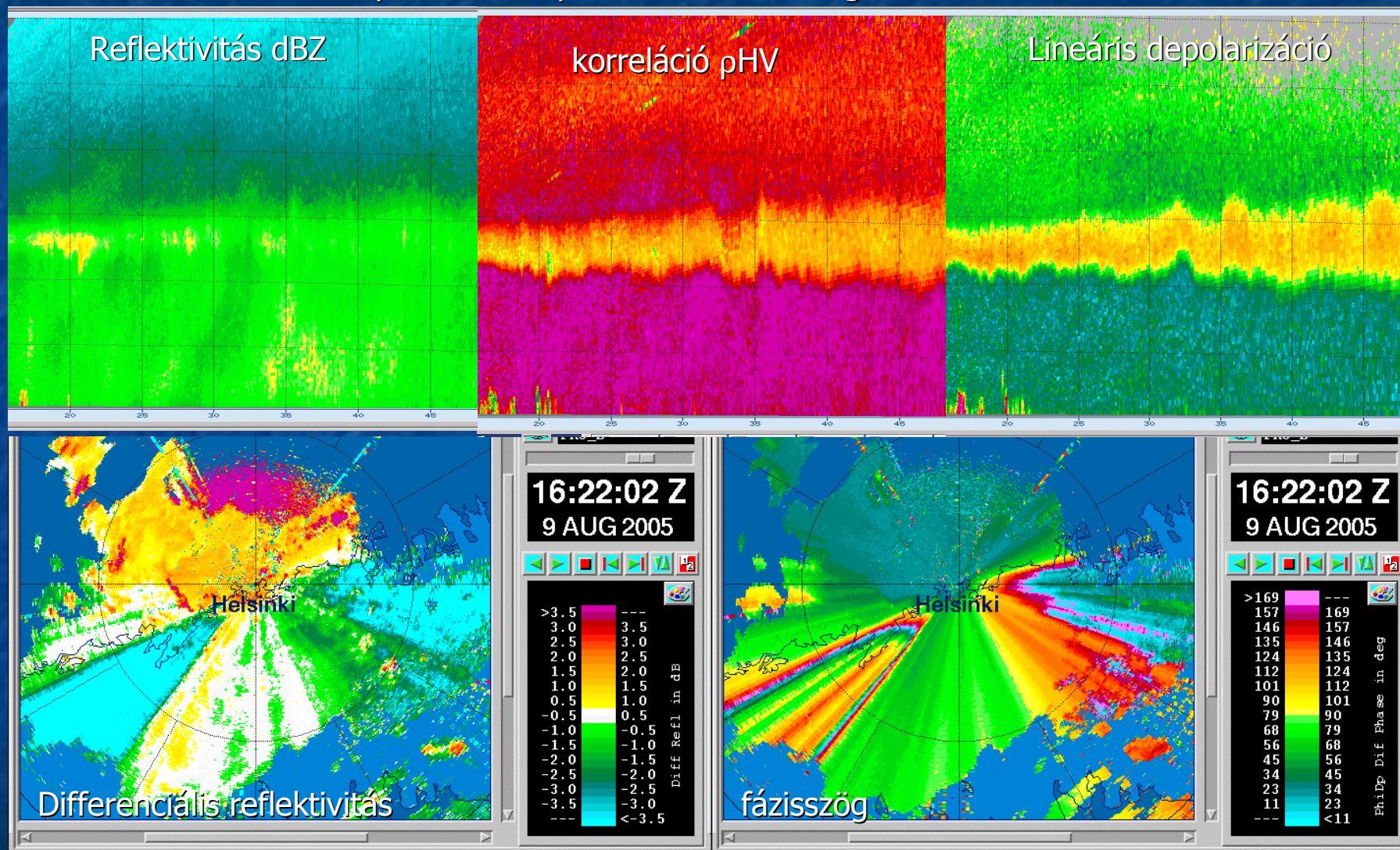


WRM RADAR ADATOK ALAPTÍPUSAI



VAISALA WRM DUAL POLARIZÁCIÓS ADATAI

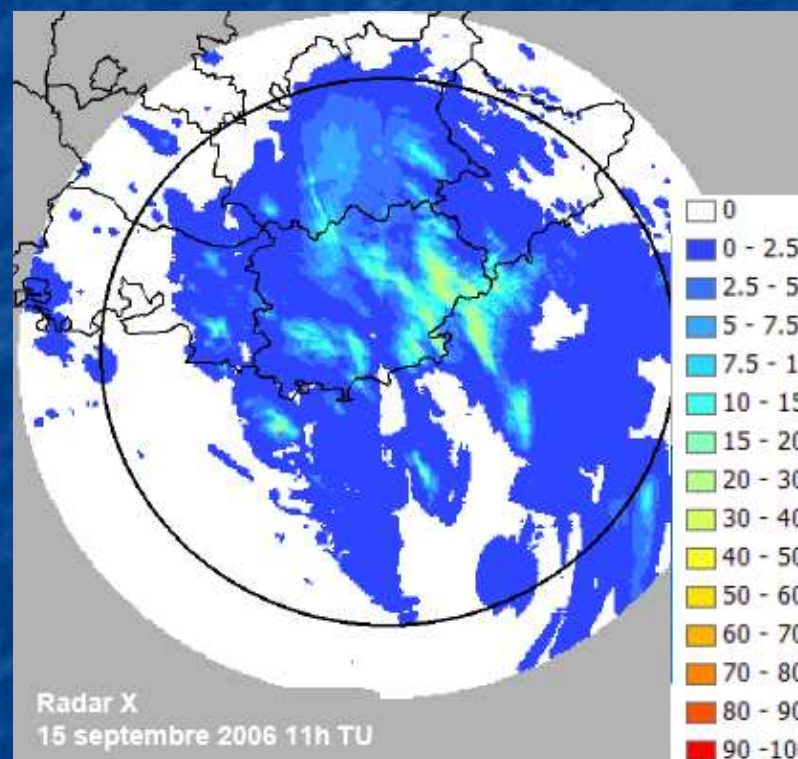
Csapadékelem típusai - olvadási réteg Nimbostratus felhőben



MINI METEOROLÓGIAI RADAROK

HYDRIX – Doppler dualpolarizációs MINI X radar

A Francia CNRS Nemzeti tudományos Kutató Intézet fejlesztette ki a ZPHI polarimetrikus csapadékmérési módszer megvalósítására

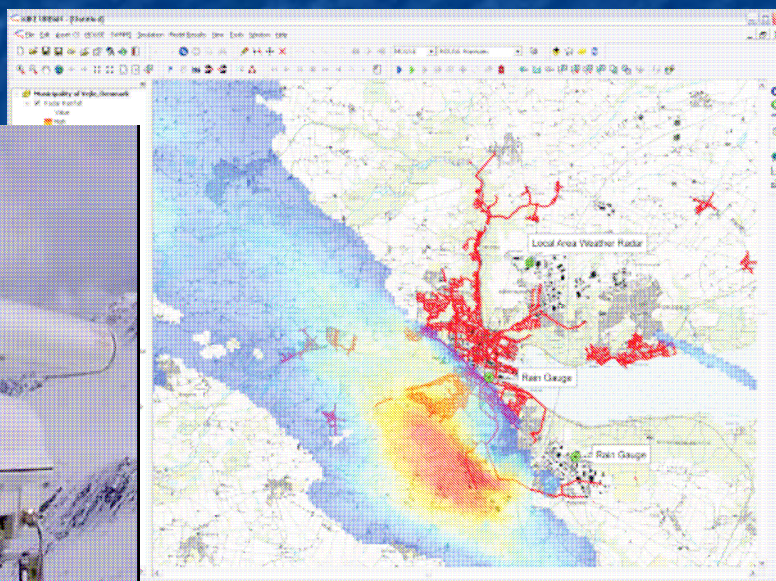


Nagyteljesítmény 2x 35 kW, 2 fok nyaláb, Doppler és dual polarizációs mérések, PPI, RHI, CAPPI, stb
 Hegyvidéki csapadék mérési kísérletekben: RHYTME, FRAMEA projektek (MeteoFrance MeteoSwiss)
 Bevetésre került a SWICE - Délnyugat Indiai óceán trópusi ciklon kísérletben , valamint
 a THORPEX, DTSTAR, BoBTEX programokkal (MeteoFrance, NOAA, Tajvan, Dél Afrika, stb).

LAWR – Local Area Weather radar

Dán Hidrometeorológiai Intézet fejlesztette ki, DHI – Aarhus, regionális csapadék mérésekre

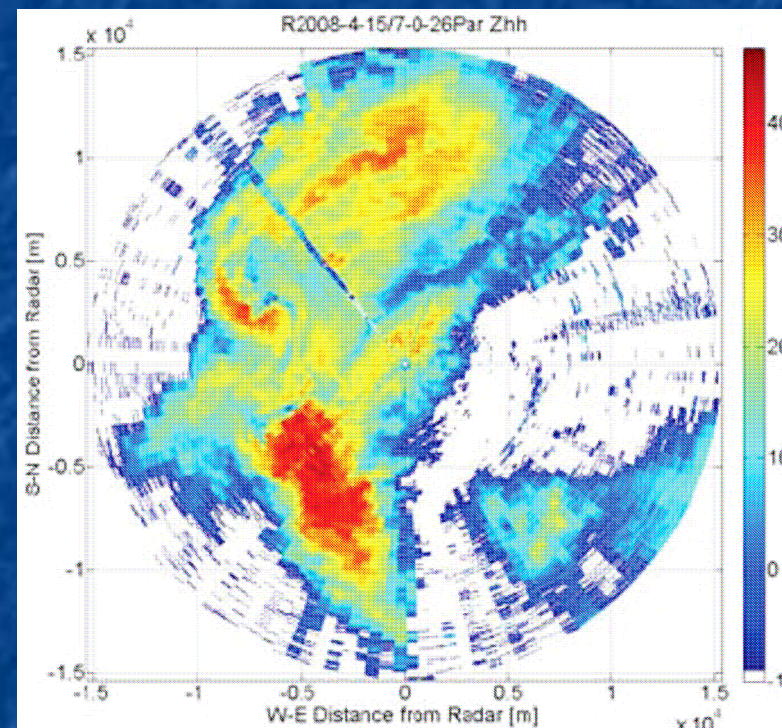
Eredményeiről rendszeresen közölnek tudományos értekezéseket - ERAD 2010 workshop



5-Furuno gyártmányú hajófedélzeti radar, 4 – 25 KW adó, 2.4 m rúd antenna, 1 és 20 fok szög
Nagy dinamikájú, logaritmusos vevő 12 bit jelfeldolgozással,
összetett korrekciós eljárások, gyengülés, kitöltöttség, talajreflexiók stb. miatt
Kb 30 db működik szerte a világon

IDRA Drizzle radar

Delfti műszaki egyetemen, ICTR fejlesztették ki a gyenge szitáló csapadék nagy tér és időbeli felbontású vizsgálataihoz 2006-2007



Doppler és dual-polarimetrikus mérésekre alkalmas 3 és 30 m felbontásig, 1.8 fok nyaláb !
 20 W-os FMCW – radar (frekvencia modulált, folyamatosan sugározó)
 Cabauw-i 213 m magas torony tetején került elhelyezésre, adatai nyilvánosan is elérhetők WEB-en !
 A különböző aeroszolok kondenzációban betöltött szerepének vizsgálata a cél párhuzamosan
 más megfigyelési eszközökkel a Cabauw-i kutató bázison.

CASA PROJEKT

Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere

Fejlesztő: Engineering Research
Center for CASA

Univ. Massachusetts, Oklahoma,
Colorado State, Puerto Rico
USA NSF támogatásával

RADAR IP5 X sáv
Doppler dual polarizáció
25 kW, 1.8 fok nyaláb
113 dB dinamikus tartomány !
4096 range gate !

DCAS- Distributed Collaborative Adaptive Sensing hálózathoz.

Adaptív mintavételezési stratégia

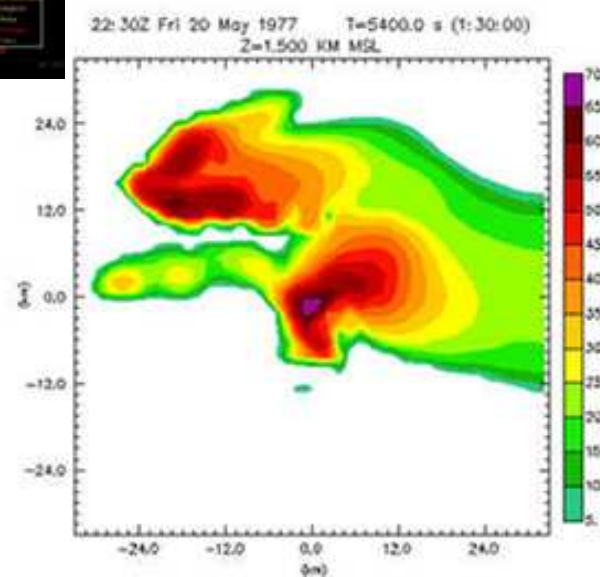
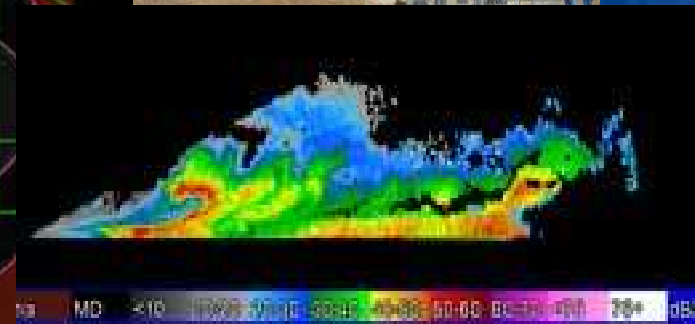
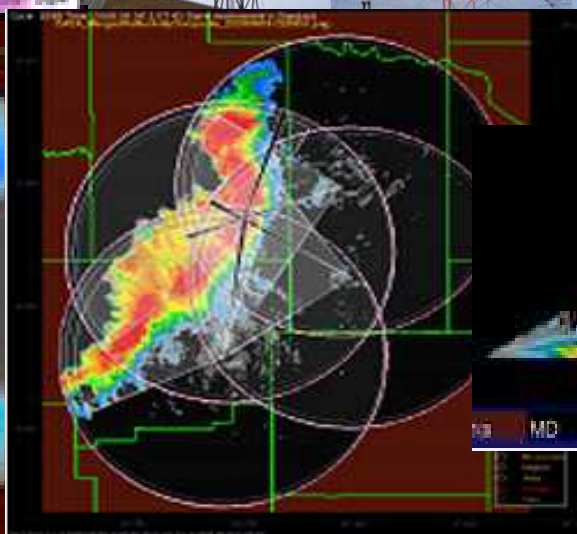
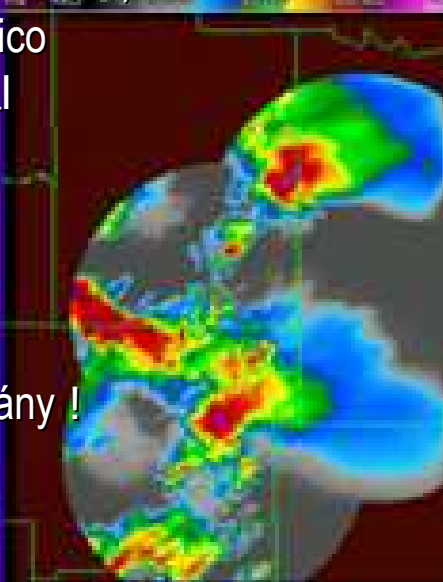
Dual-polarizációs csapadék mérés

Reflektivitás mező egyidejűleg több radar alapján

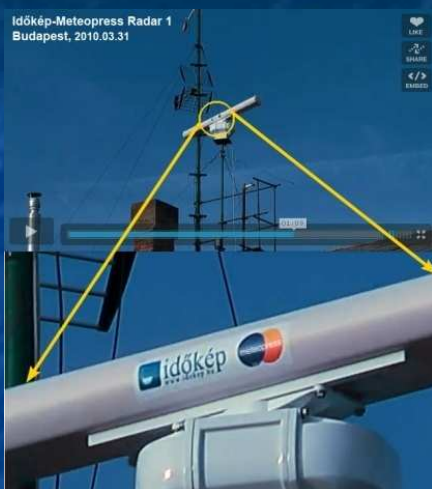
Tornádó detektálási algoritmus

Tornád fejlődés nyomon követése

Elektronikus (fázis) nyaláb vezérlés



Hazai kísérletek

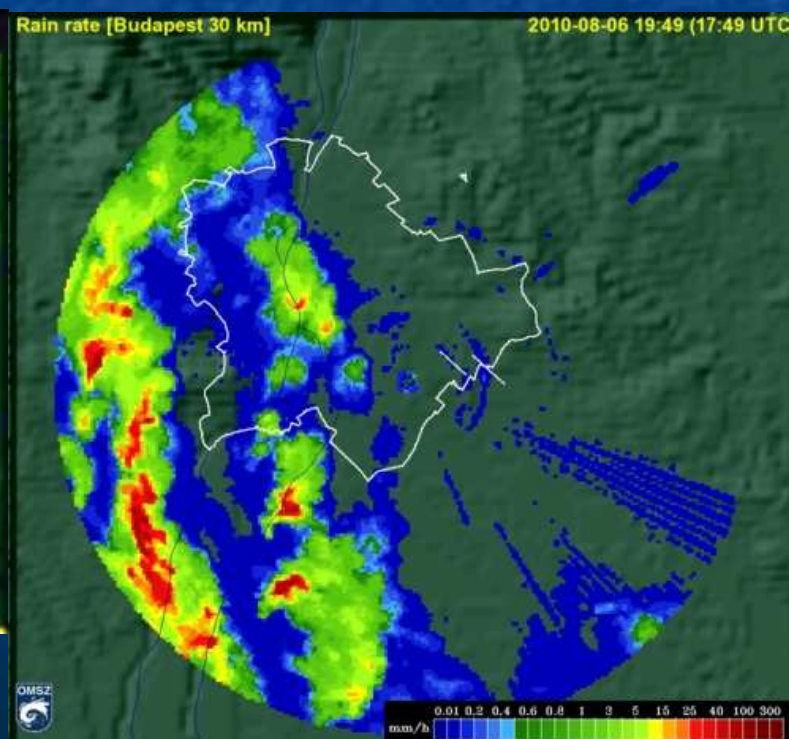


KÖRKÖVIZIG regionális területi csapadék mérések 1990-2002 ig, saját, OVF és OMFB forrásokból, különböző projektekben

ICI Interaktív – OMFB/IKTA 2000-2002 projekt a KÖRKÖVIZIG-el „*Objektum követéses területi csapadék meghatározás radarral, csapadék- lefolyás modell megalkotása*” 80 mFt-os pályázat

IDŐKÉP – radar hálózat kiépítése MINI X sávú radarokkal 6 db (!)

KODEN Radar PC – hajófedélzeti radar átalakítás nélkül – 180 km (!) hatótáv



IDŐKÉP VS OMSZ 30 km radar
20100806 19:47

IDŐKÉP RADAR HÁLÓZATA - <http://www.meteosense.eu/>

Működik:

Budapest 2010/04

Szolnok 2011/3

Keszthely 2011/04

Balkány 2011/08

Nagy-Hideg h. 2011/09

Szentlélek 2011/10

Pozsony 2012

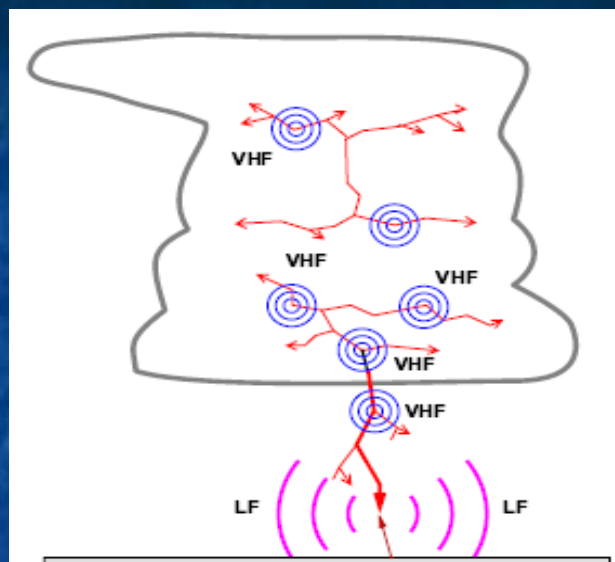
Terv

Szeged, Barcs

Mosonmagyaróvár



Vezető csatorna kialakulása korona kisülés ionizált csatornák



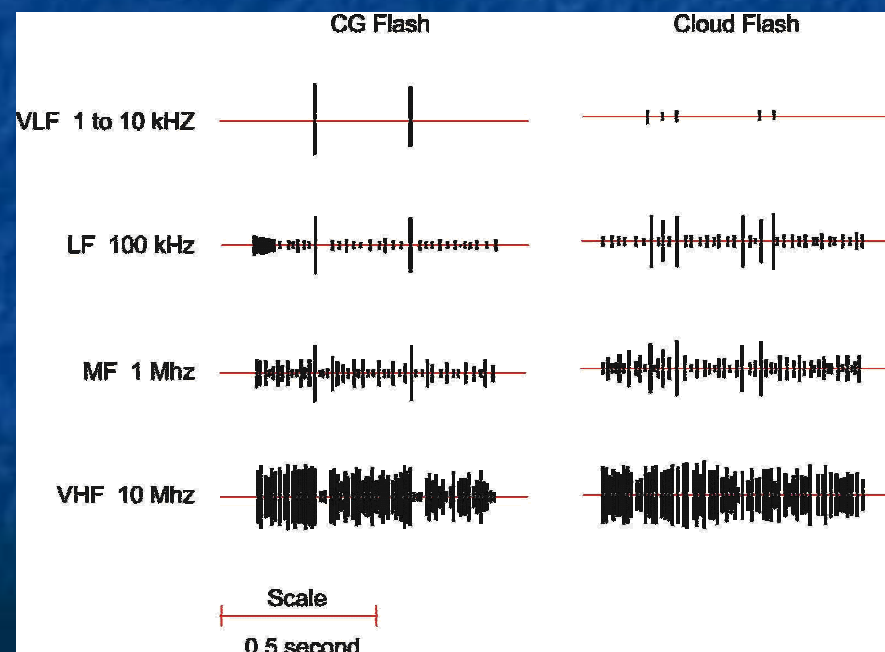
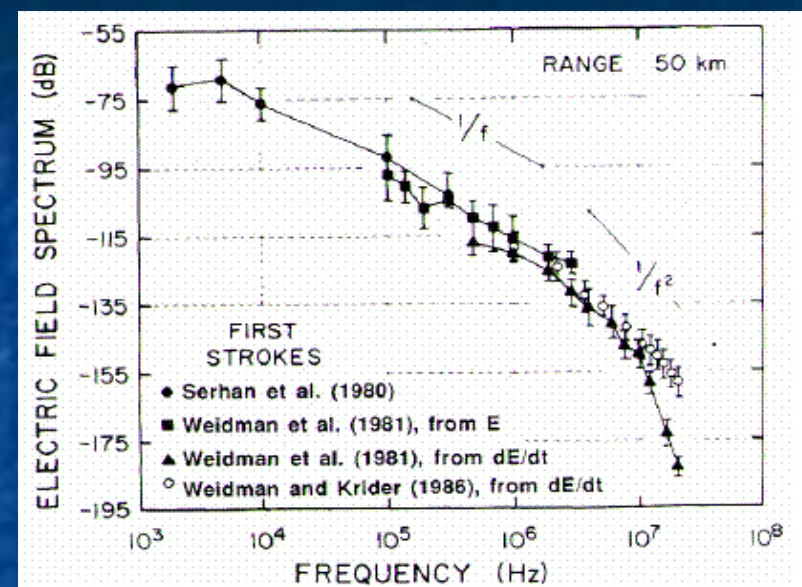
Felhőn belüli kisülések - IC

- elosztott töltéshalmazok között zajlik
- rövid impulzusokból és impulzus sorozatokból épül fel, kisebb csúcsáramok,
- energia maximuma magasabb frekvenciákon

Felhő-Föld kisülések - CG

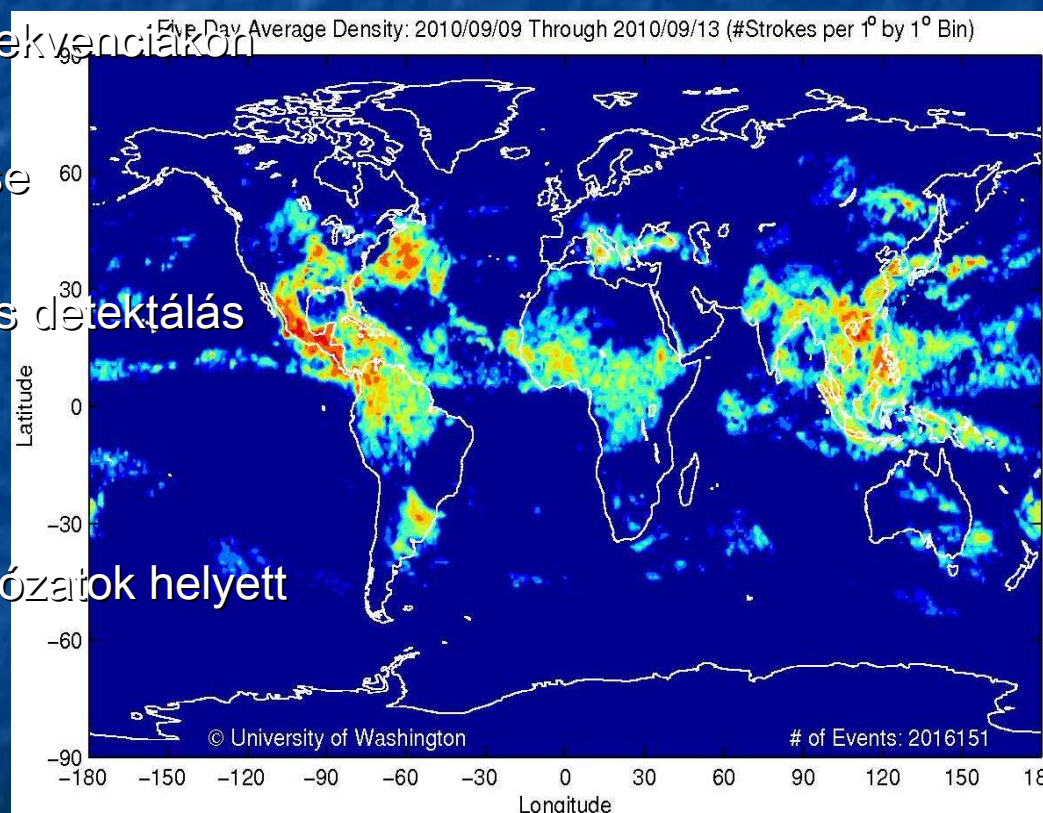
- koncentrált indukált töltések a talajon
- lassúbb jelenség nagy csúcsáramokkal
- energia maximum kisebb frekvenciákon, VLF/LF

VHF sugárzás a villámlás teljes időszakában



ÚJ IRÁNYZATOK

- A TOA módszer uralkodóvá válása a minden használt frekvencián
 - VLF (), LF(), HF (), VHF ()
- Érzékenyebb és pontosabb detektálás LF csatornákon
 - LINET - Magyarországon is 2007-től
- Világméretű rendszerek létrejötte VLF frekvenciákon
 - WWLLN, ATDnet, PacNet,
- Gyors VHF TOA rendszerek megjelenése
 - LMA - LDAR
- Kétsávú rendszerek - IC és CG együttes detektálás
 - Wheather Bug
- Amatőr hálózatok
 - BlitzOrtung – Európai hálózat
- Adatszolgáltatás igénybevétele saját hálózatok helyett
 - NWS, OMSz , DWD



WWLLN – villámlások száma

SZUPERCELLA - 2011 JÚLIUS 20, 08:00 UTC

Magyarország logZ_PPI (dBz) KompozitHR 2011-Júl-20 Szerda 08:00 UT
RADAR MotionVector (conf>60%) (m/s) CMAX 2011-Júl-20 Szerda 08:00 UT

1 km felbontású kompozit radarkép.

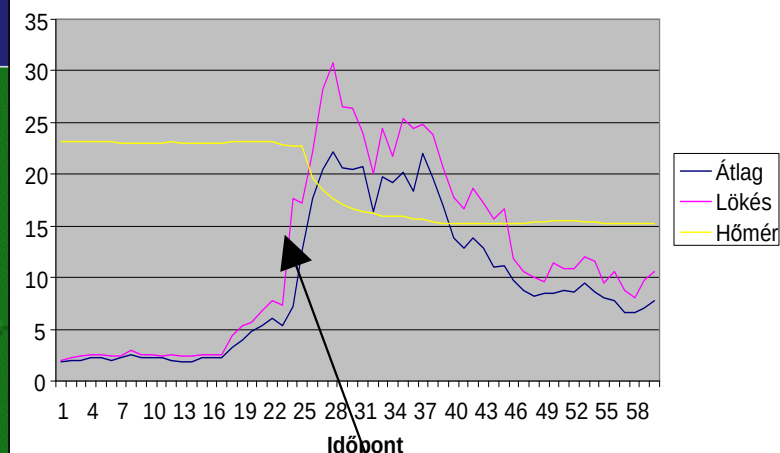
HAWK

Max dBZ 55-60
> 55 dBZ 12 km-ig !
Max VIL 44-64 kg/m2
> 25 m/s áthelyeződés !
500 IC / 5 min

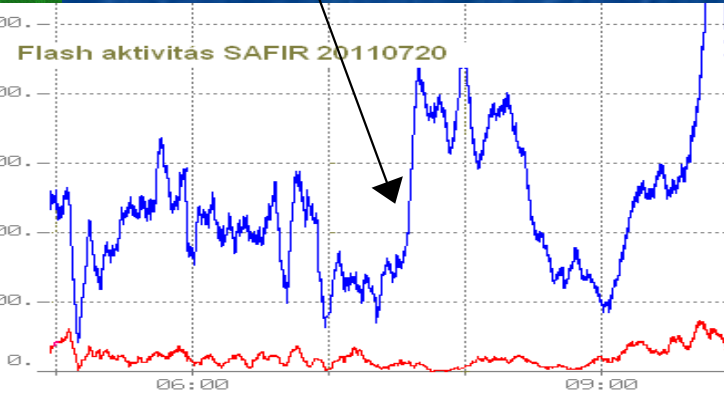
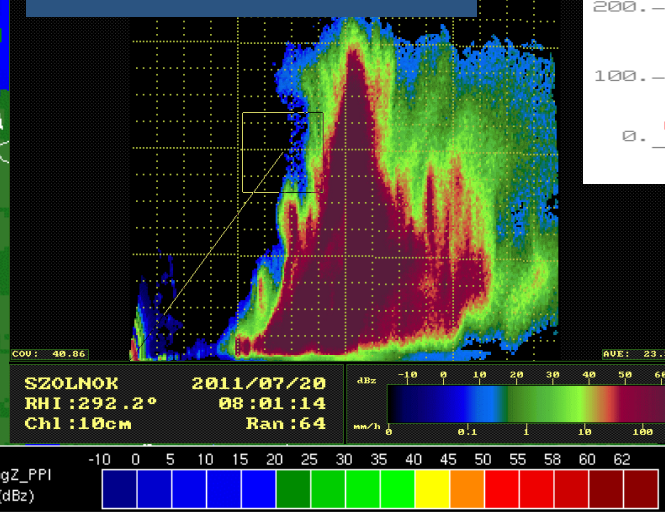
Szolnok

Kecskemét

Kecskemét 07 20 07:00 07:59



MRL-5 radarRHI metszet

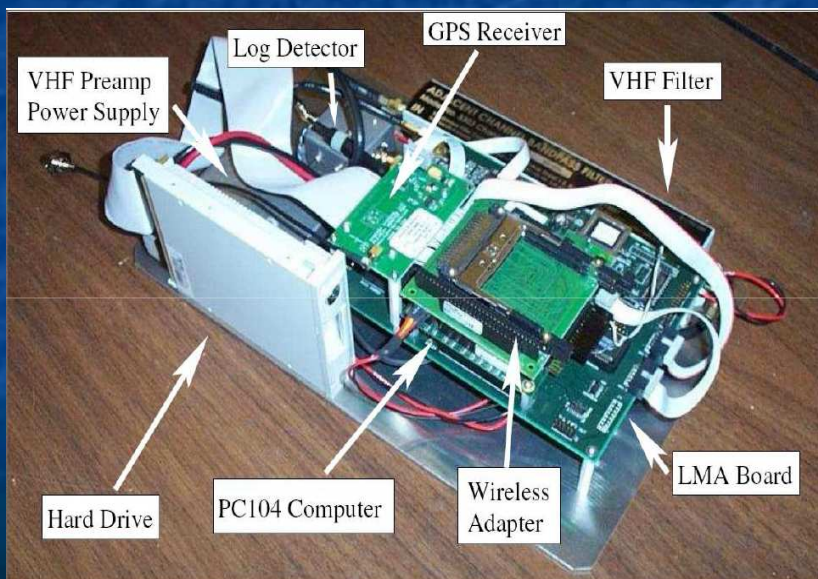
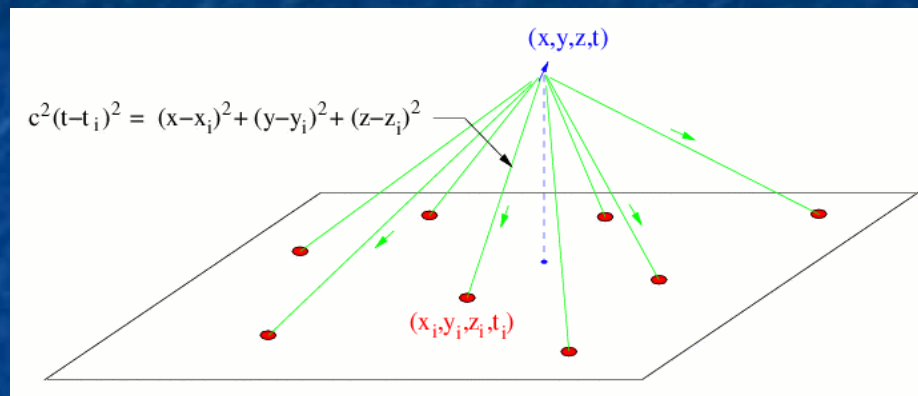
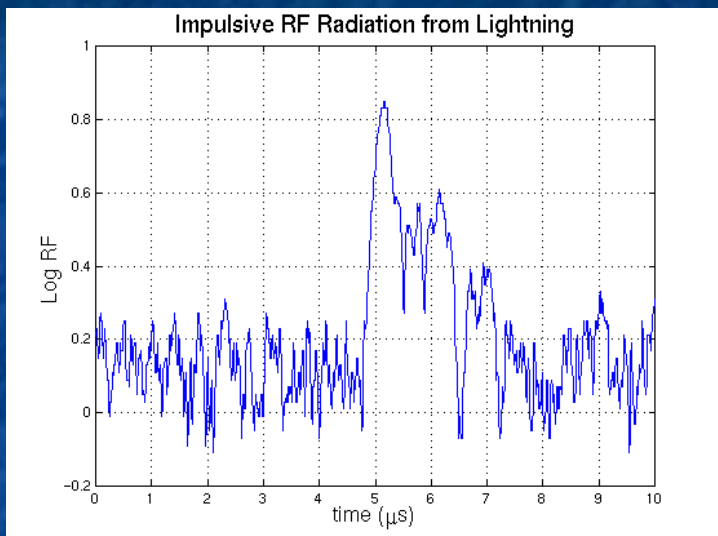


A VHF aktivitás hirtelen megnövekedése egybeesik a max széllokés (30 m/s) idejével 7:30 kor, az IC/CG végig magas marad a szupercella kifejlődése során !

Max VIL 44 kg/m2 felett !!!

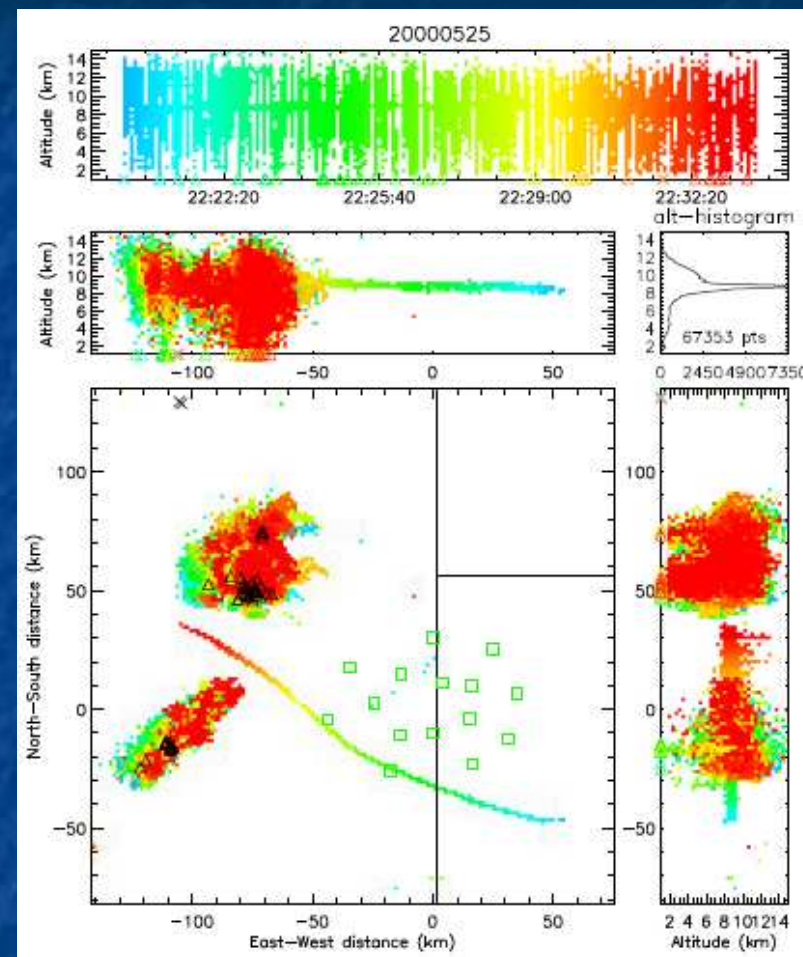
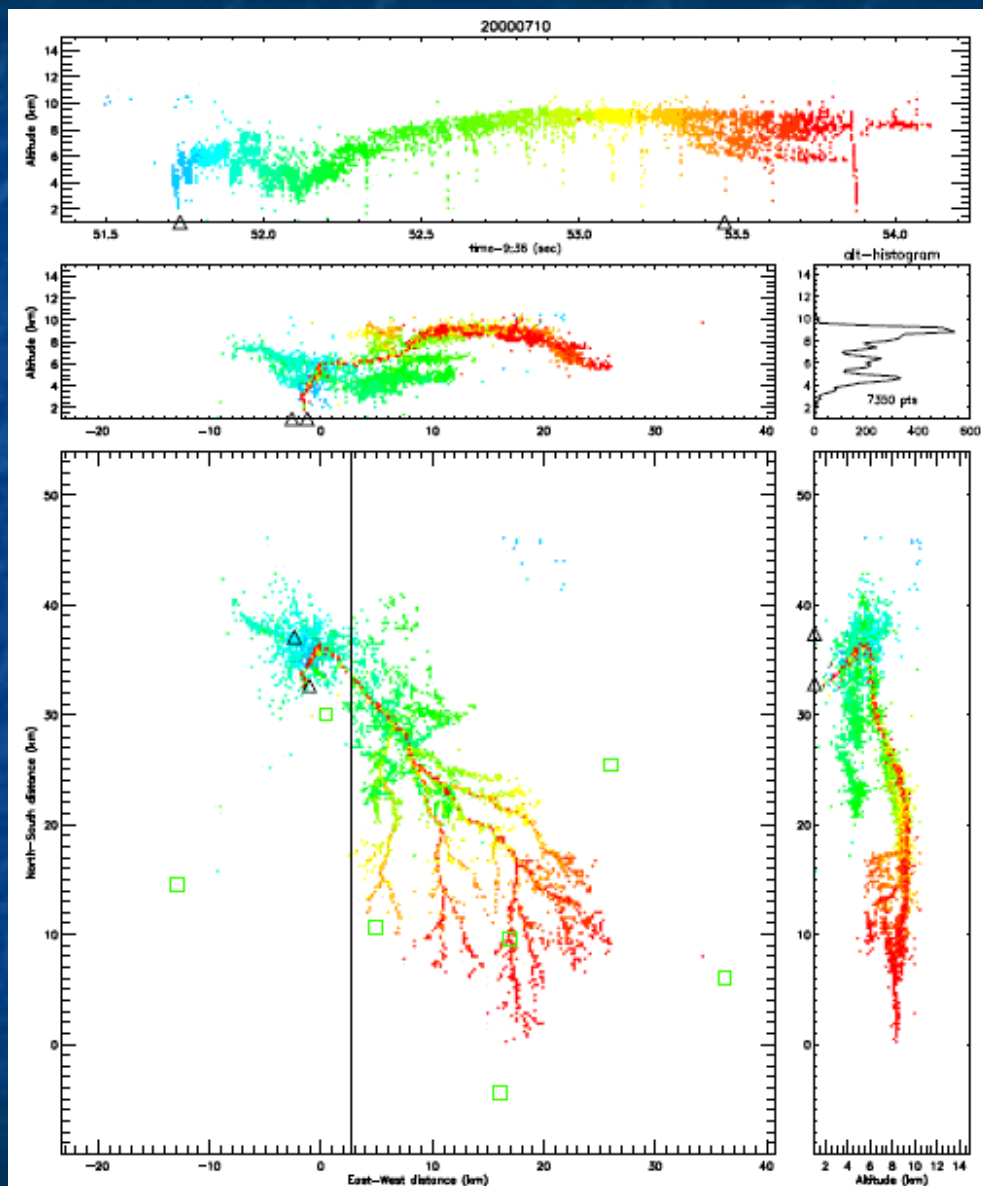
LIGHTNING MAPPING ARRAY – MOBILE

(New Mexico Tech Univ)



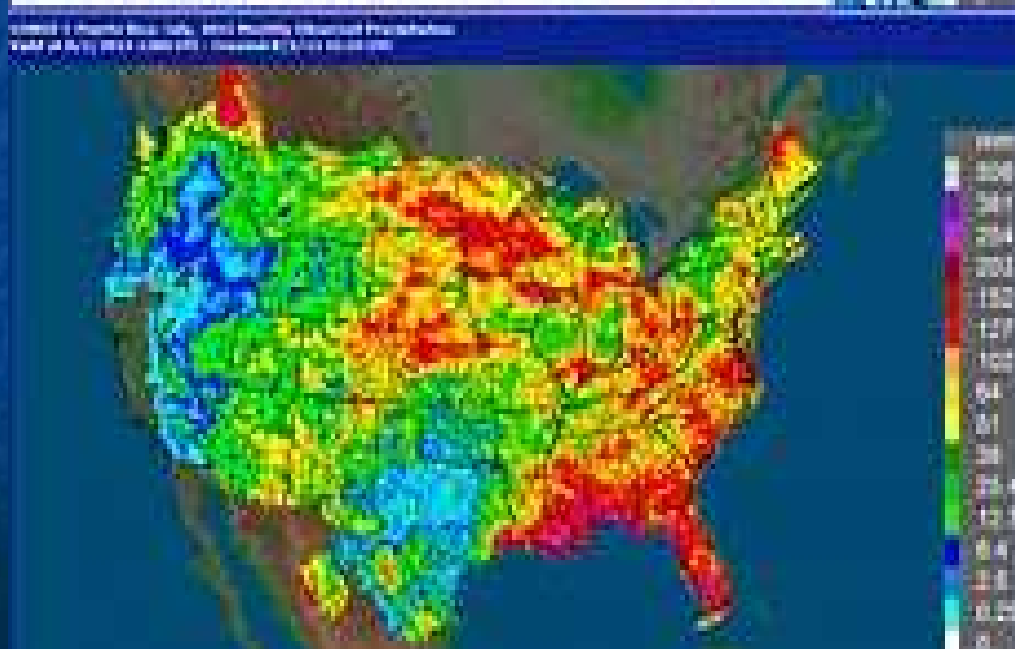
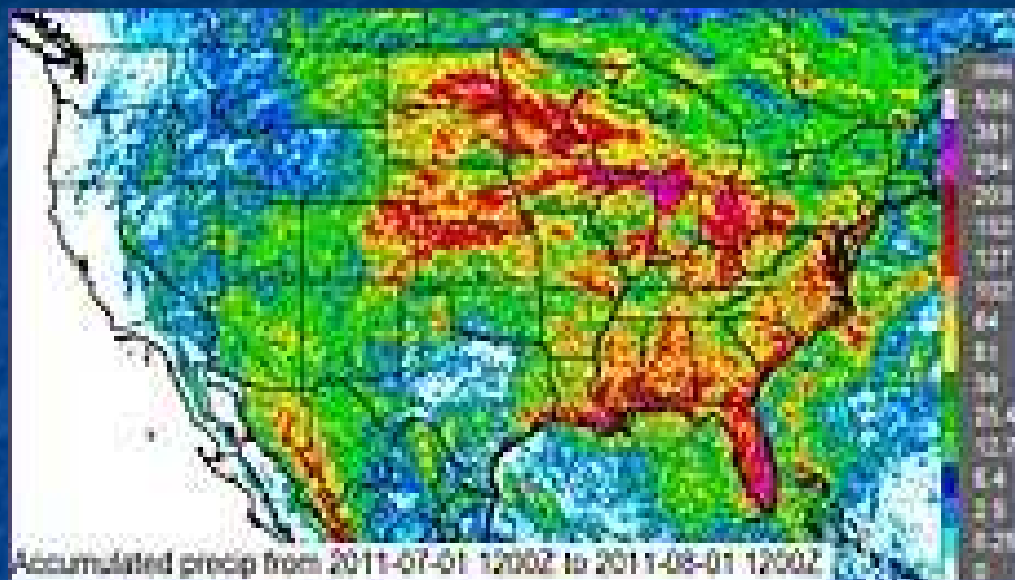
- „Hűtőládában” elhelyezett mobil szenzorok min 6 db
- 50-120 MHz LOG VHF vevő / 4 MHz sávszél.
- > 10 MHz / 12 bit ADC analog/digital konverzió
- jobb 50 ns abszolút idő szinkron (GPS + oszcillátor).
- Villám „pulzus” jelalak felismerés.
- egy forrásból érkező pulzusok azonosítása.
- lokalizációs egyenletrendszer megoldása 3D-ben (iteratív, non - iterative stb.
- vizualizáció – 3D adatokkal
- source -> branch -> flash -> strokes algoritmusok
- adabázis építés
- alkalmazói rendszerek
- kutatások

LMA MÉRÉSEK

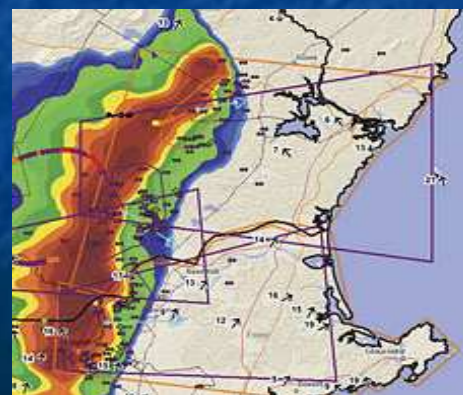


Balra Egy teljes villámlás folyamatának megfigyelése - 7320 pont → 1 flash
Jobbra Zivatargócokat kerülő repülőgép nyomonkövetése – 67325 pont

WeatherBug - Pulse Rad

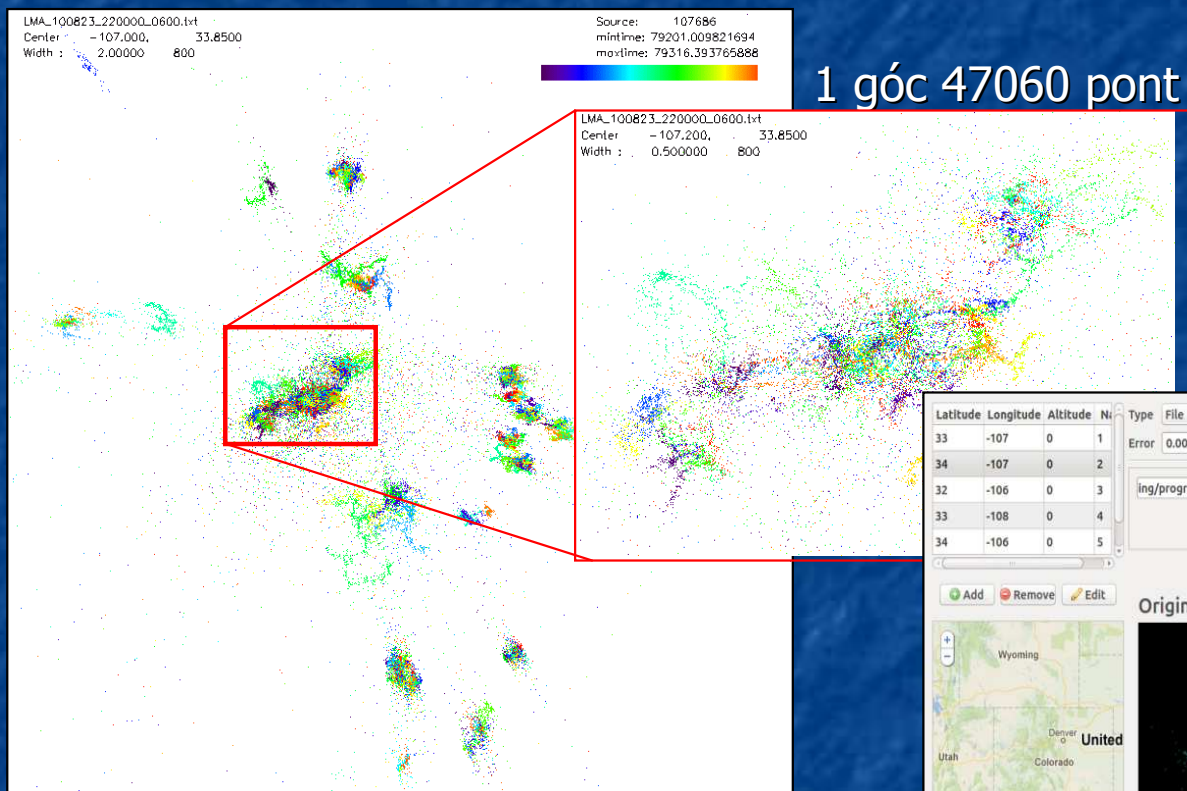


- PulseRad - 2010
- VHF detektálások
akkumulációja
(felső ábra)
- Verifikálás
- NWS csapadék adatokkal
(alsó ábra)
- Nowcasting alkalmazás



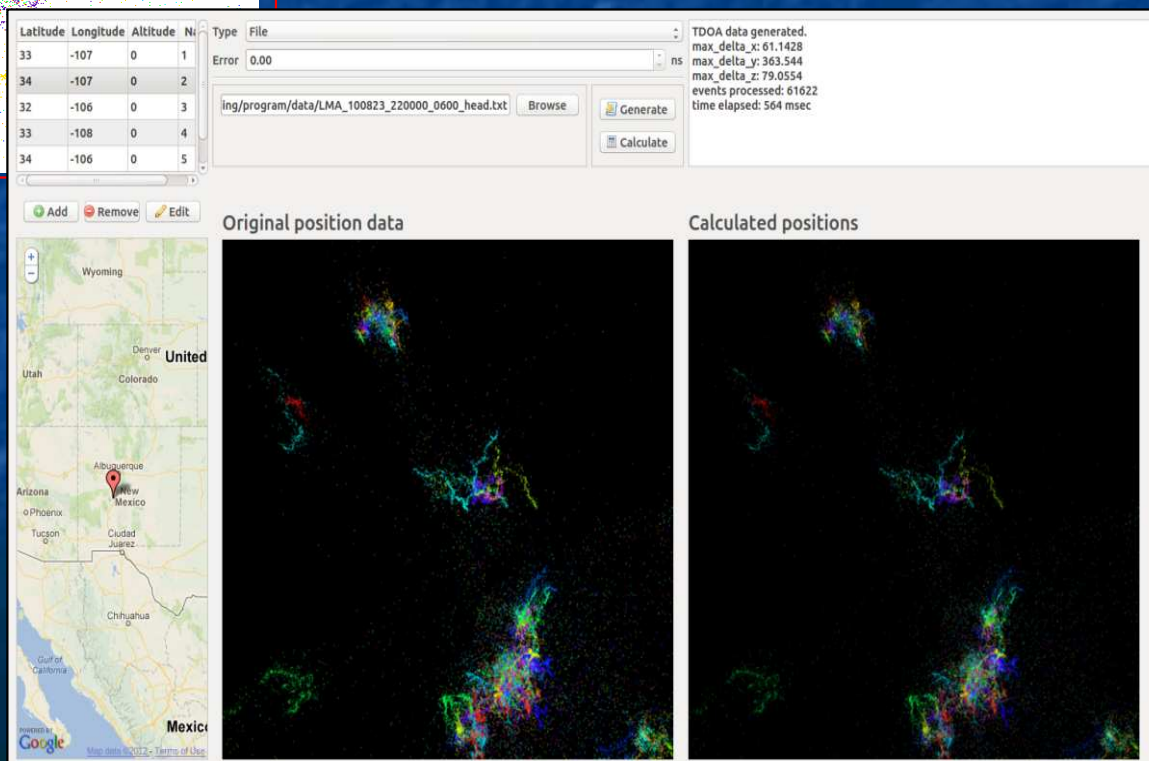
Hazai kísérletek

- Adatbázis – valós LMA mérések adatai: USA New Mex Tech – Prof Kreihbel
- 2010 Aug. 23 22:00:01 UTC (79201.009821694 – 79316.393765888)
- real time VHF TOA módszer



Számítási teljesítmény:
~120 000 pozíció / sec
(6 detektor, egy végrehajtási szál)

2 perces ablak több mint 10 góc
86100 pont



Villámlás lefolyása – ‘fast speed camera’



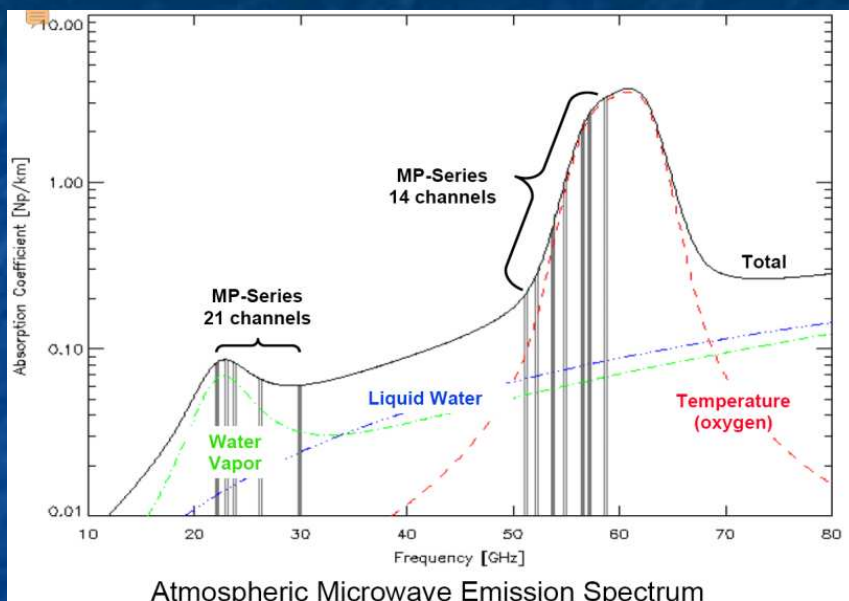
animáció

VHF villámlás detektálás – LDAR



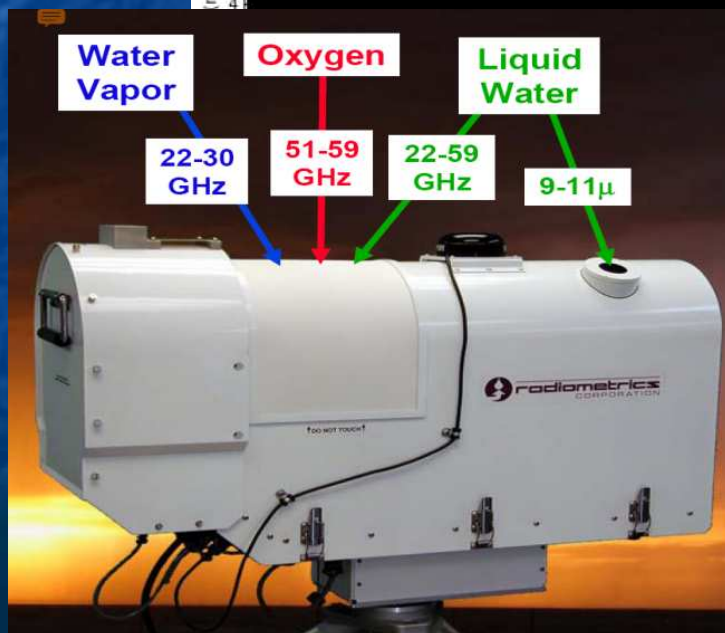
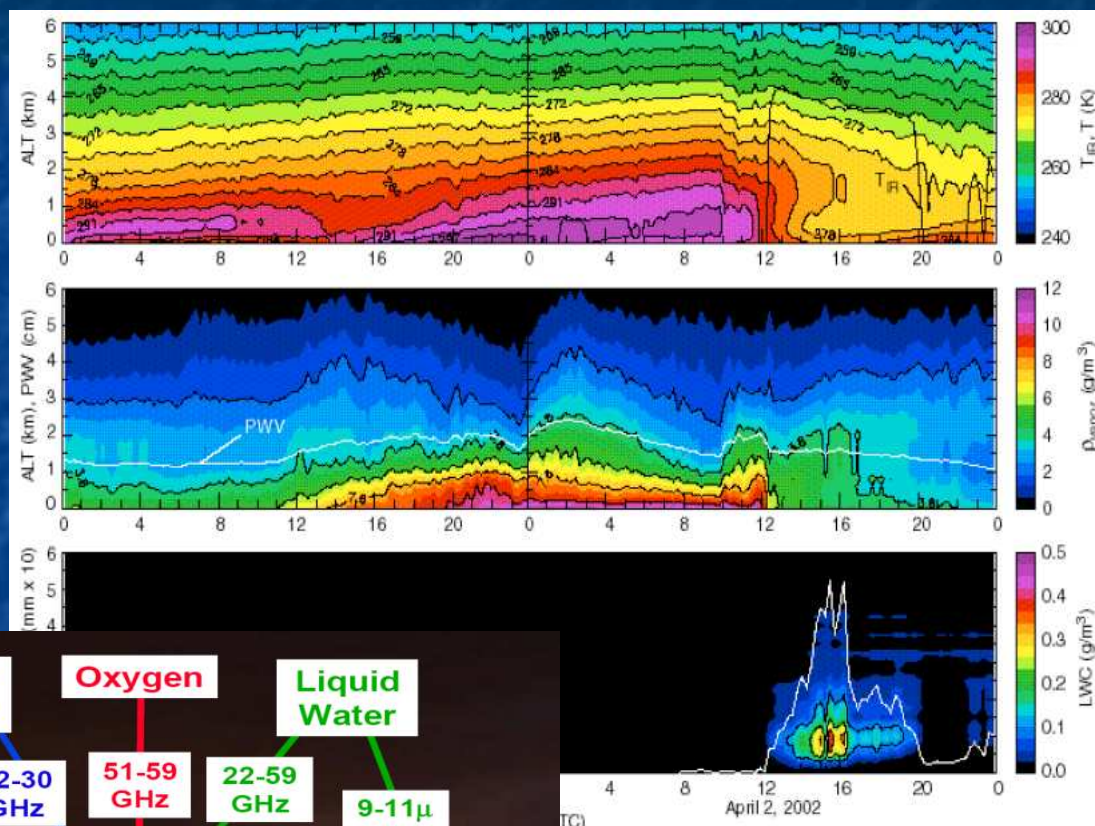
animáció

MIKROHULLÁMÚ PROFILMÉRŐ RÁDIÓMÉTEREK



- a mikrohullámú fényességi hőmérséklet mérése
- 7 csatorna 22-30 GHz (vízgőz)
- 7 csatorna 51-59 GHz (oxygen)
- infravörös sugárzás 9-11 μ m (foly. víz)
- profil rekonstrukció Fuzzy logic-al

Adatok 2-5 percenként 12 km-ig
3D szkennelés - azimut, eleváció



RÁDIOMÉTEREK ELTERJEDÉSE - MWRNET

- kb 20 országban 60 db mérőállomással



- néhány ország meteorológiai szolgálata használja, de ezek száma gyorsan növekszik
- ma még inkább kutatási célokra használják de már nekünk is van – Szegeden
- COST ES0702 action
European Ground-Based Observations of Essential Variables for Climate and Operational Meteorology,
- a jövő standard profilozó eszköze lehet – rádiószondák kiegészítéseként

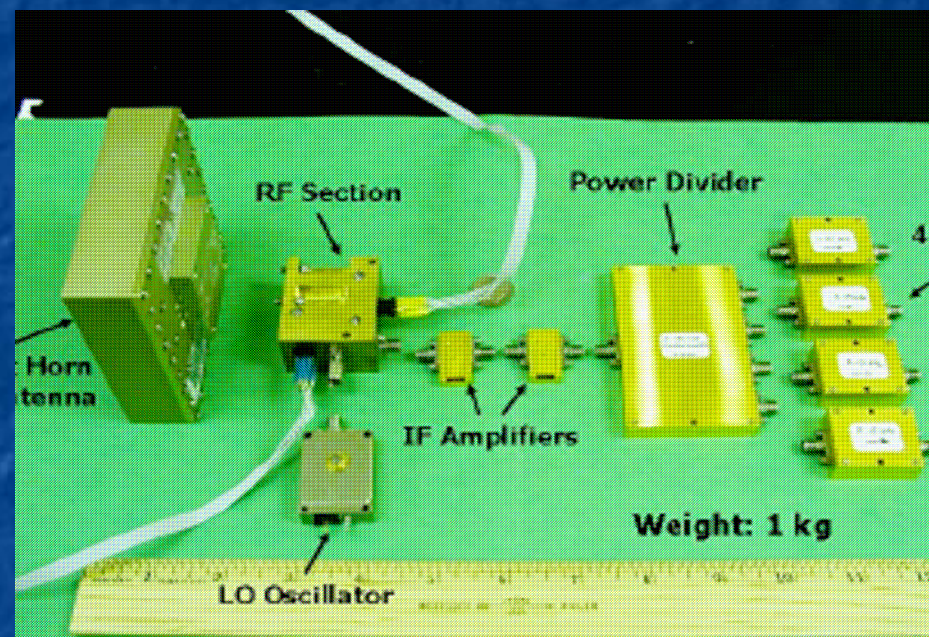
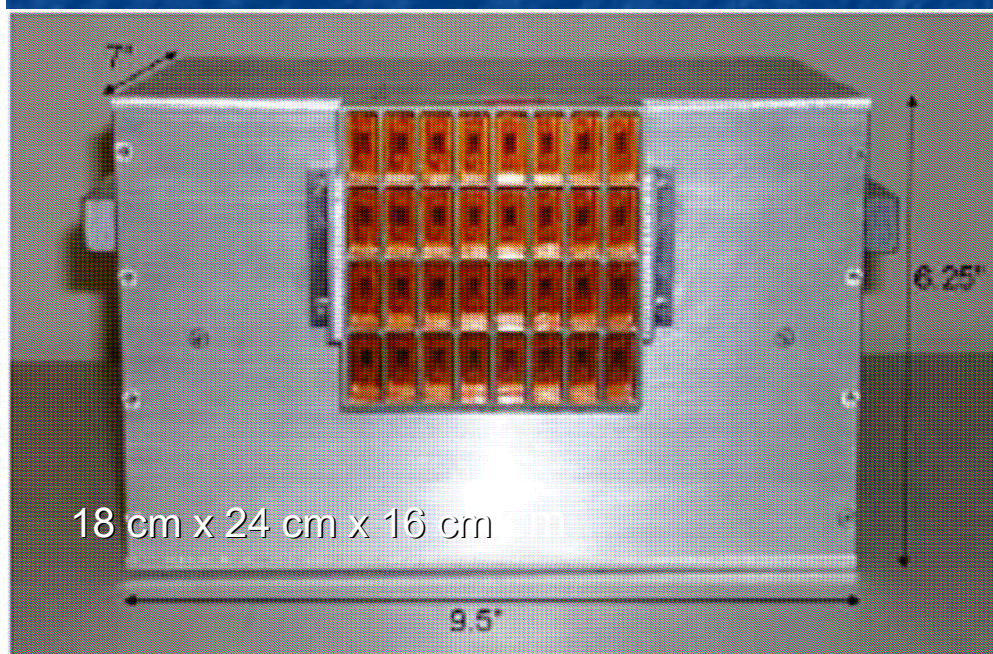
USA RÁDIÓMÉTER HÁLÓZATA



NPN – National Profiler Network, jelenleg 35 helyen működik, 19 telepítés alatt van
Tervezik a hálózat bővítését kb. 120 MWPR
NSF támogatja a „minitürizált” profilozó rádióméter kifejlesztését !

MINIATÜRIZÁLT PROFILMÉRŐ RÁDIOMÉTER

Fejlesztés: Colorado State University és University of Massachusetts



- 3D troposzférikus vízgőz mérésekhez (22.2, 22.7, 23.3 and 24.6 GHz)
- nagy térbeli és időbeli felbontás, olcsó, kis méret 18 cm x 24 cm x 16 cm
- nagy sűrűségű hálózat 10-20 km, mint az automata meteorológiai állomások

TŰÉLES PROFILOZÓ RÁDIOMÉTER



Induló konvekciós folyamatok távoli megfigyelése – 1° nyalábszélességgel 100 km-ig !

KÖSZÖNÖM FIGYELMETEKET