

ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΡΑΝΤΑΡ

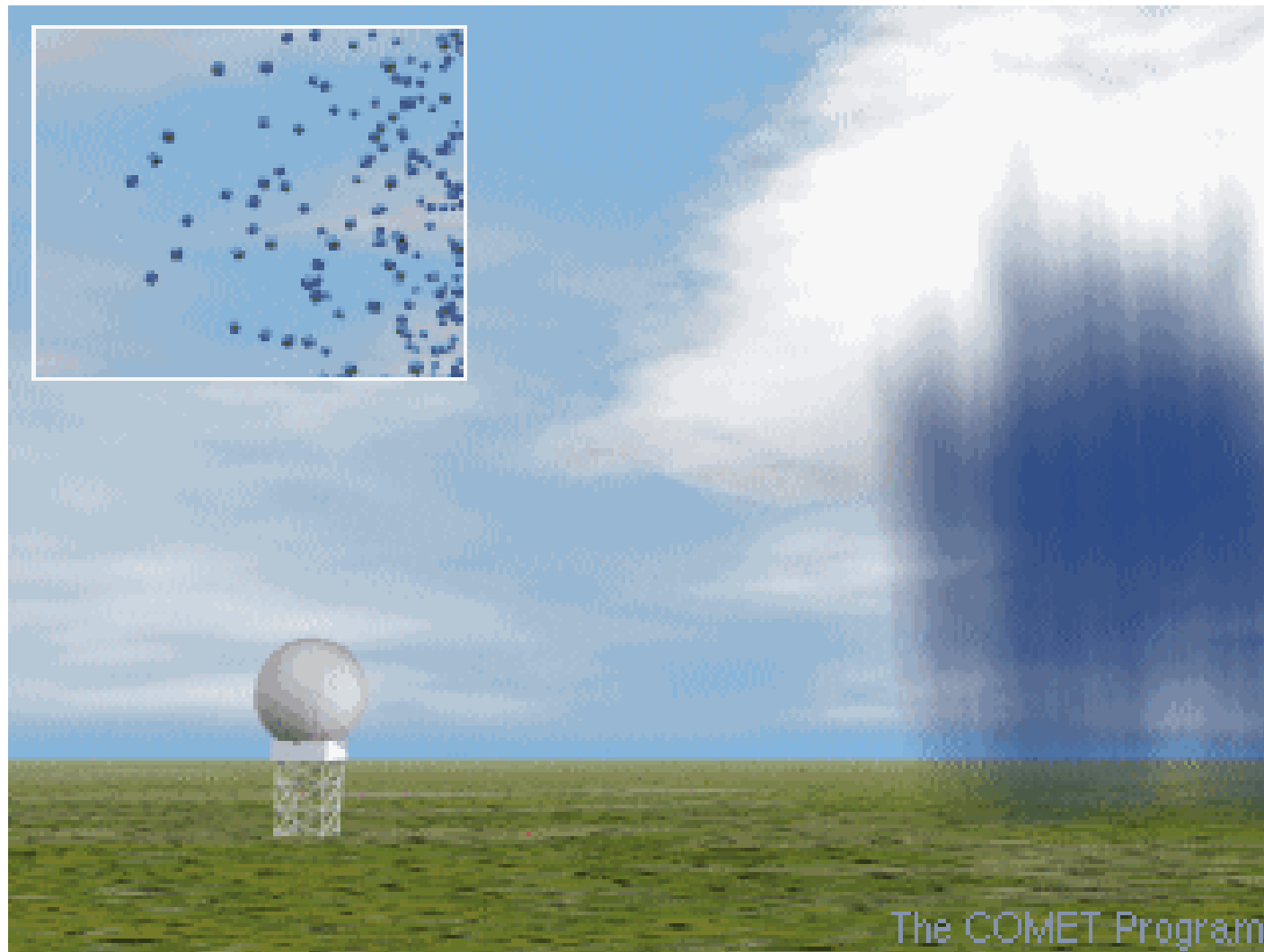
Radio Detection And Ranging

ραντάρ → μετάδοση, διάδοση, σκέδαση και λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

- Η πρώτη επιστροφή ραδιοκύματος: Appleton and Barnett (1925).
- Ανάπτυξη μικρού μήκους κύματος ραντάρ με κατευθυνόμενες κεραίες: 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο.
- Πρώτες μετρήσεις βροχής με ραντάρ (Marshall et al., 1947; Wexler, 1947).

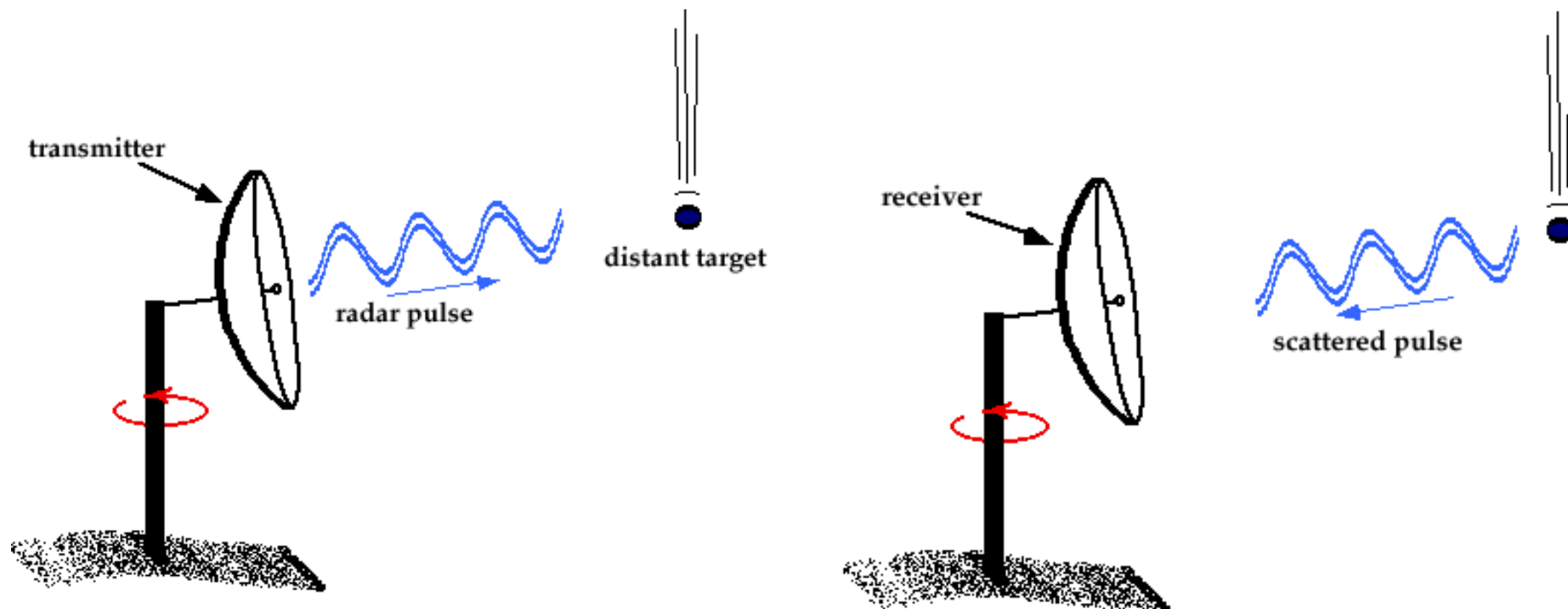
<i>Ζώνη συχνότητας</i>	<i>Συχνότητα</i>	<i>Μήκος κύματος</i>
HF	3-30MHz	10-100m
VHF	30 - 300 MHz	1-10 m
UHF	300 MHz - 1 GHz	30 cm -1 m
L	1- 2 GHz	15 - 30 cm
S	2-4 GHz	8-15cm
C	4-8 GHz	4-8 cm
X	8-12 GHz	2.5-4 cm
Ku	12-18 GHz	1.7-2.5 cm
K	18-27 GHz	1.2-1.7 cm
Ka	27-40 GHz	7.5 mm-1.2 cm
mm	40-300 GHz	1-7.5 mm

κύματα → συχνότητα f και μήκος κύματος λ : $f=c/\lambda$
αλληλεπιδρούν με τα υδρομετέωρα



Σκέδαση

Οπισθοσκεδαζόμενη ενέργεια → διηλεκτρικές ιδιότητες σκεδαστή και προσανατολισμό, σχήμα και μέγεθος (κλάσμα του μήκους κύματος προς το μέγεθος του σκεδαστή)



■ Κεραία: χαρακτηρίζεται από την απολαβή της.

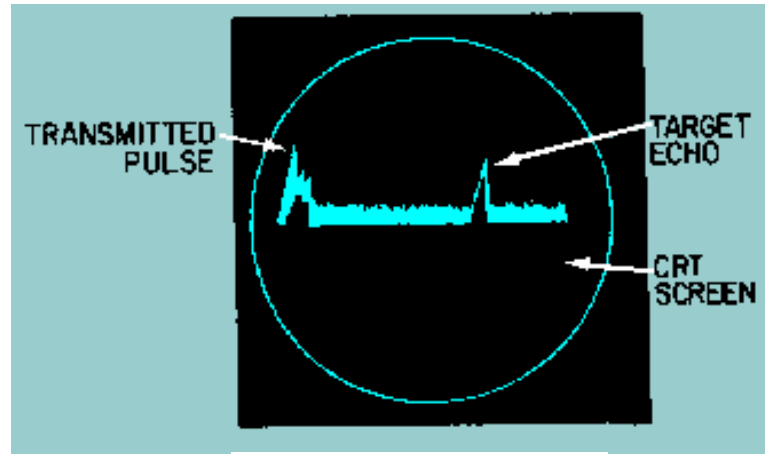
■ Απολαβή κεραίας = πηλίκο της εκπεμπόμενης ισχύος προς συγκεκριμένη διεύθυνση προς την ισχύ που θα παρήγαγε μία φανταστική κεραία που θα εξέπεμπε ισότροπα προς όλες τις διευθύνσεις.

■ Για συγκεκριμένο μήκος κύματος η δέσμη του ραντάρ είναι τόσο πιο λεπτή και η χωρική διακριτικότητα τόσο καλύτερη όσο η κεραία είναι μεγαλύτερη

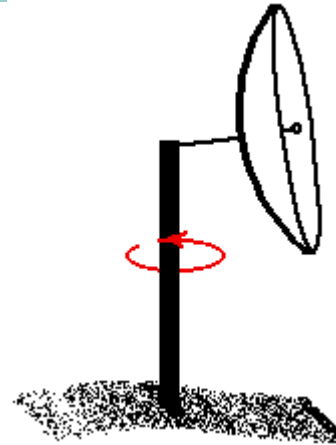
(για $\lambda = 5 \text{ cm}$ και για δέσμη $1^\circ \rightarrow$ κεραία διαμέτρου 5 m)

Σύστημα ενδείκτη ραντάρ

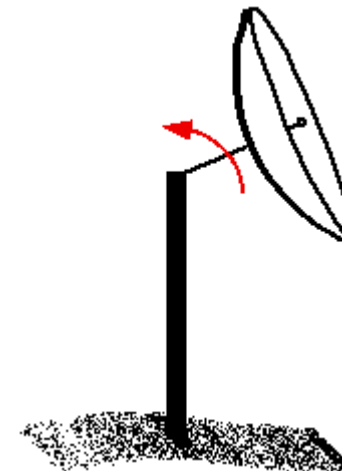
■ SCOPE A



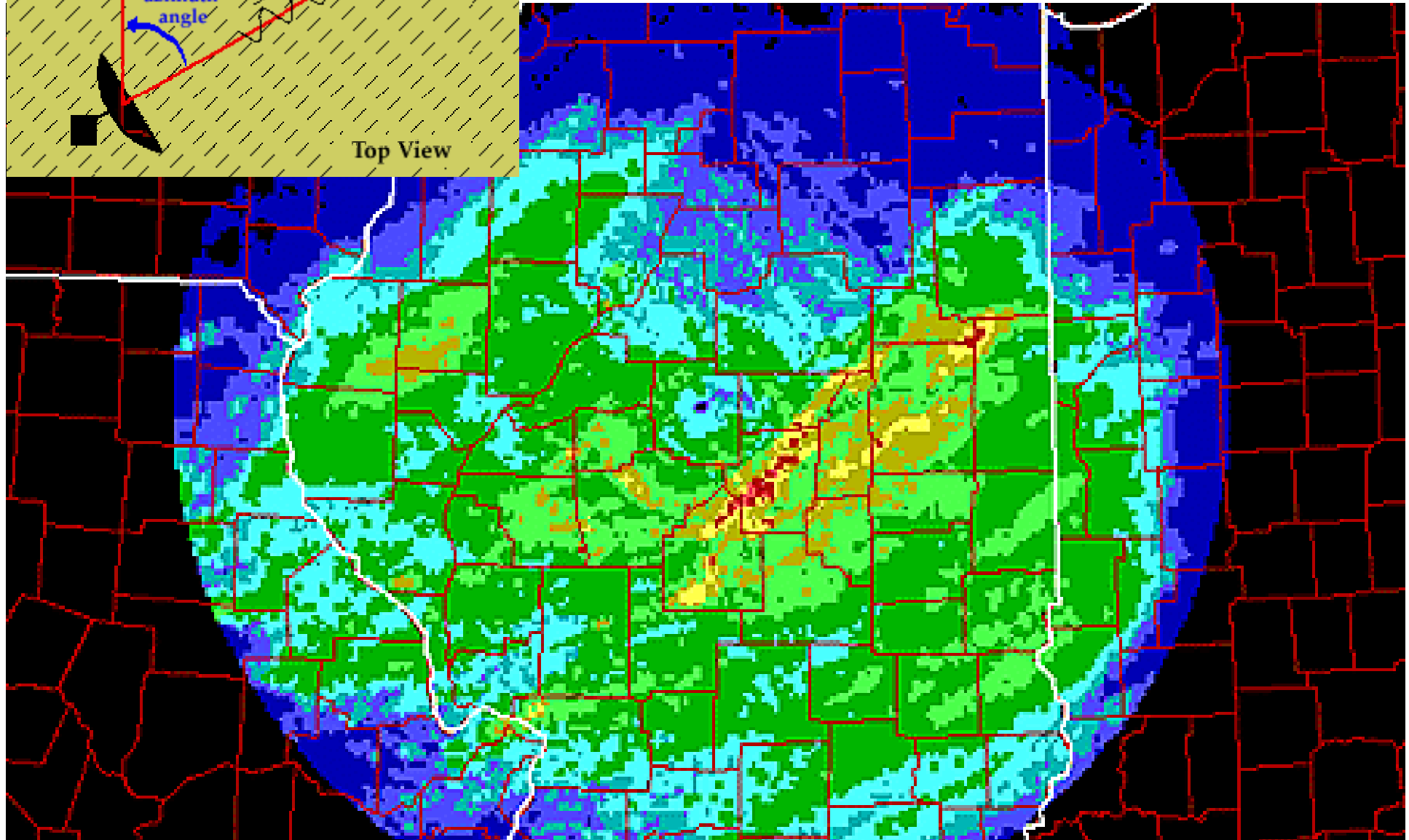
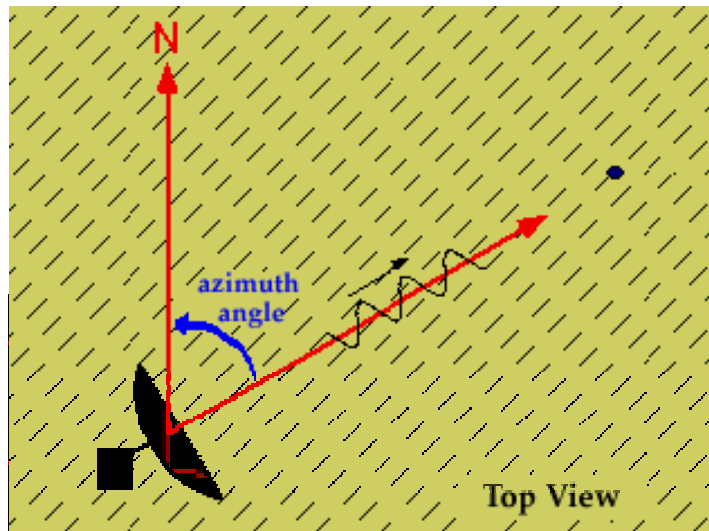
■ PPI (Plan Position Indicator)

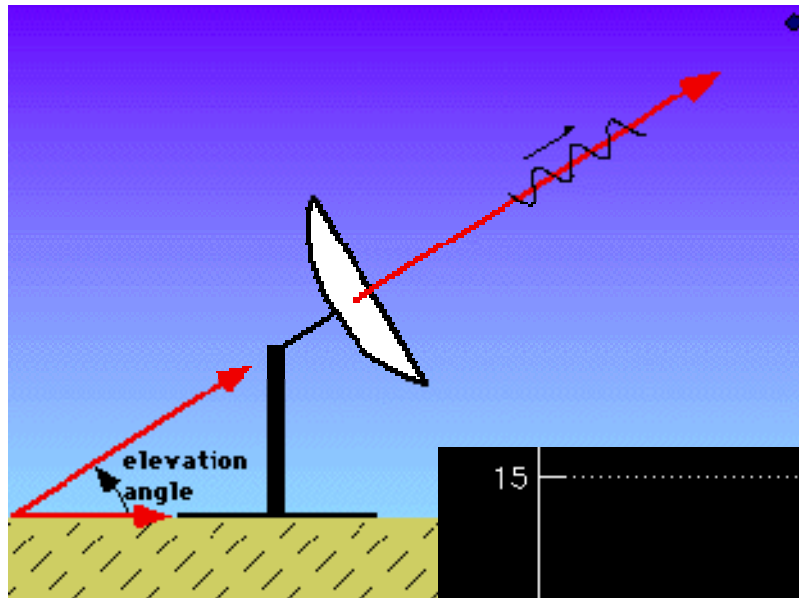


■ RHI (Range Height Indicator)



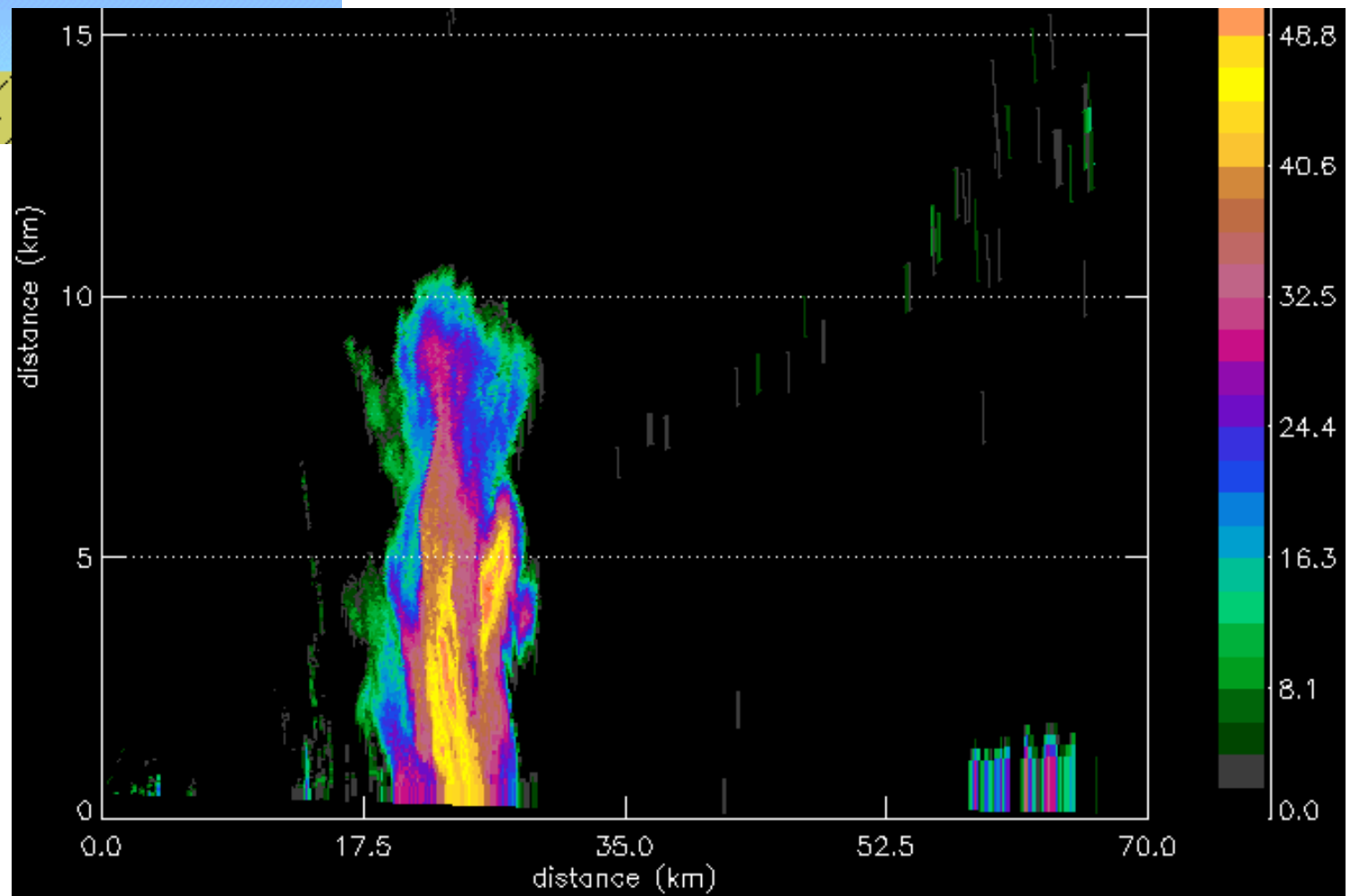
PPI – Plan Position Indicator





RHI

Range Height Indicator



Σκέδαση

Οπισθοσκεδαζόμενη ενέργεια $\rightarrow$ διηλεκτρικές ιδιότητες σκεδαστή και προσανατολισμό, σχήμα και μέγεθος (κλάσμα του μήκους κύματος προς το μέγεθος του σκεδαστή)

Διατομή οπισθοσκέδασης σ (backscattering cross section)

ισοδύναμη επιφάνεια που θα χρειαζόταν από ένα ισότροπο σκεδαστή για να επιστρέψει στον δέκτη την ισχύ που πράγματι λαμβάνεται.

■ **οπτική περιοχή σκέδασης** : $D/\lambda \gg 1 \rightarrow \sigma \sim$ επιφάνεια που δέχεται τη δέσμη του ραντάρ.

■ περιοχή σκέδασης Rayleigh : $D/\lambda \ll 1 \rightarrow \sigma \sim D^6$

■ **περιοχή σκέδασης Mie** : $\rightarrow \sigma$ μεταβάλλεται κατά σύνθετο τρόπο σε συνάρτηση με το μήκος κύματος και το μέγεθος των σωματιδίων που βρίσκονται στο μέσο

Ανακλαστικότητα

Ανακλαστικότητα ραντάρ, η : ολική διατομή οπισθοσκέδασης στην μονάδα του όγκου.

$$\eta(cm^{-1}) = \frac{\sum_i \sigma_i}{V} = \frac{\pi^5 |K|^2}{\lambda^4} \int_V N(D) D^6 dD = 10^{-12} \frac{\pi^5 |K|^2}{\lambda(cm)^4} Z(mm^6 m^{-3})$$

(αν ισχύει η προσέγγιση Rayleigh)

V : στοιχειώδης όγκος παρατήρησης,

$|K|^2$ η διηλεκτρική σταθερά (=0.92 για το νερό σε υγρή φάση, =0.18 για τον πάγο),

Z ο παράγοντας ανακλαστικότητας που μετράται σε $mm^6 m^{-3}$

Εξίσωση Ραντάρ

$$P_{\Lambda} = P_E \frac{G^2 \lambda^2 \sigma}{64\pi^3 R^4}$$

P_{Λ} είναι η λαμβανόμενη ισχύς

P_E είναι η εκπεμπόμενη ισχύς

G η απολαβή της κεραίας

σ διατομή οπισθοσκέδασης

λ μήκος κύματος

R απόσταση

$$P_{\Lambda} = C |K|^2 Z / R^2$$

Παράγοντας Ανακλαστικότητας

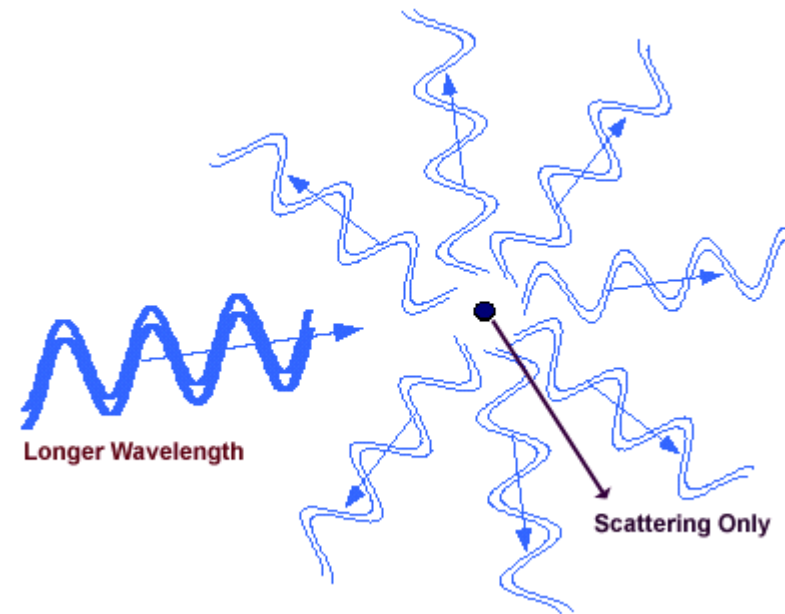
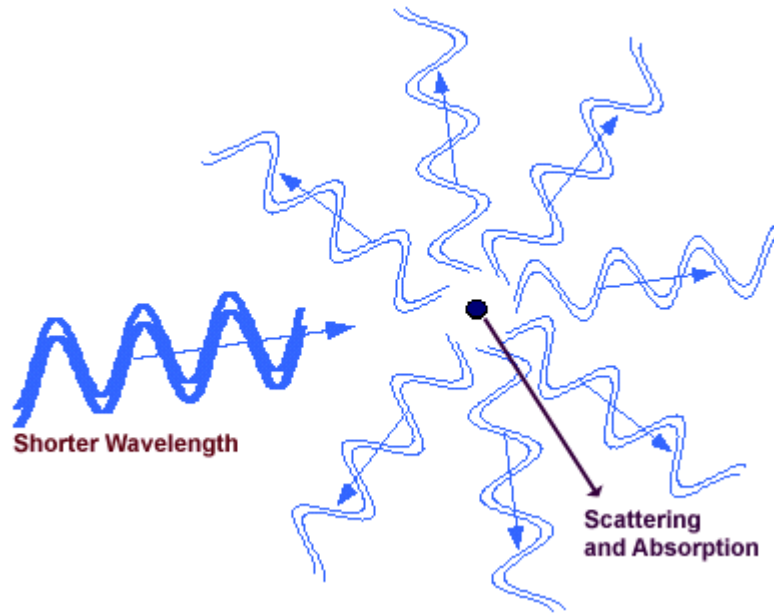
$Z=10^{-1} \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$ για ασθενή βροχή $Z=10^{+7} \text{ mm}^6\text{m}^{-3}$ για έντονη χαλαζόπτωση

$$Z(dBZ) = 10 \log_{10} [Z(\text{mm}^6\text{m}^{-3})]$$

$$Z(dBZ) = 10 \log_{10} \left[C \frac{R^2}{|K|^2} P_{\Lambda} \right]$$

Εξασθένηση

dB/km τόσο πιο έντονη όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος



ατμοσφαιρικά αέρια
οι μικρές σταγόνες βροχής
τα σταγονίδια νεφών

➔ εξασθένηση λόγω απορρόφησης

μεγάλες σταγόνες βροχής
το χιόνι
το χαλάζι

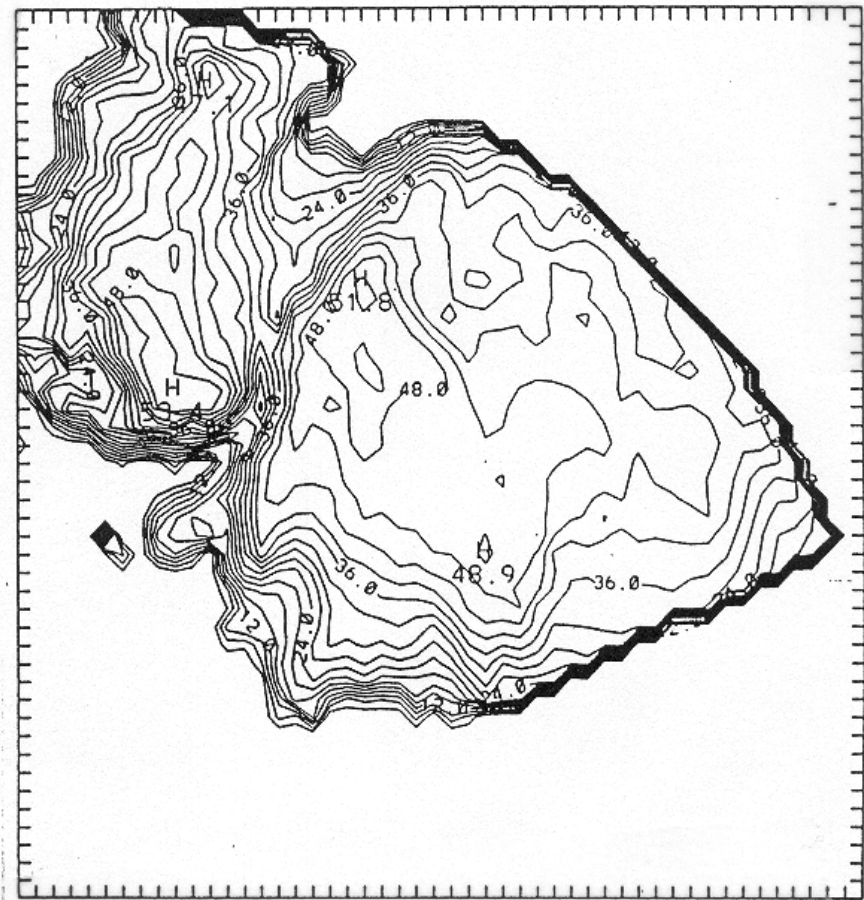
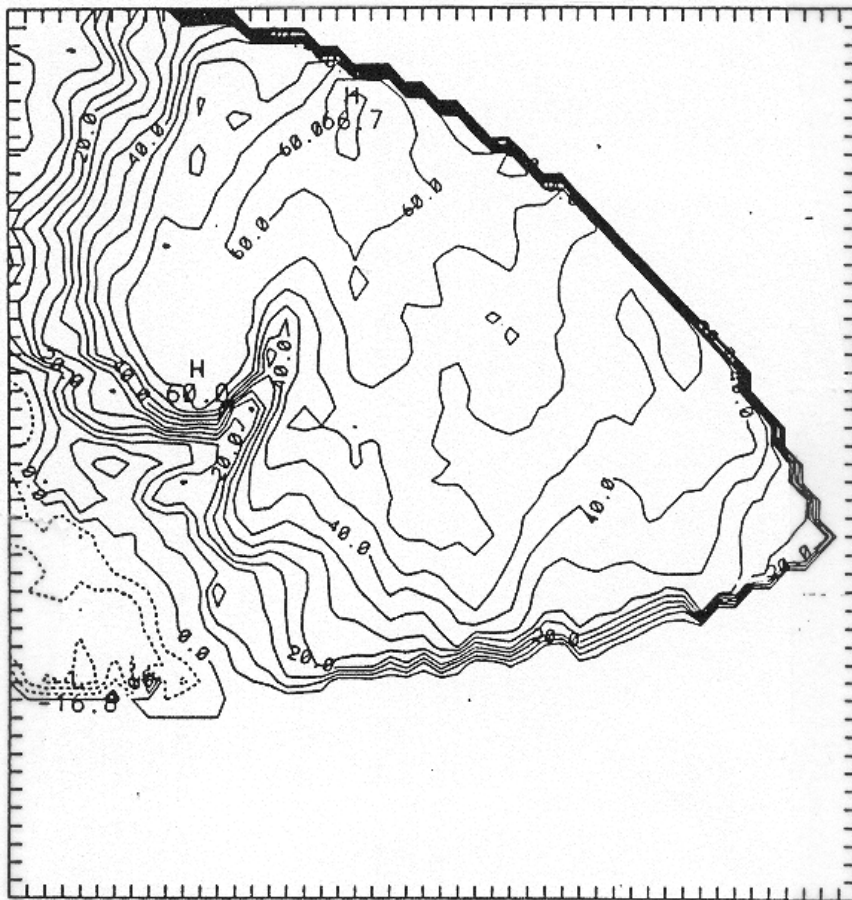
➔ εξασθένηση λόγω απορρόφησης
και σκέδασης

Εξασθένιση

Για $\lambda < 10$ cm εξασθένιση από την βροχή και τα νέφη λαμβάνεται υπόψη, σημαντικότερη για $\lambda = 3-1$ cm.

$$\begin{aligned}\text{Εξασθένιση } (\lambda = 3 \text{ cm}) &= 6 \times \text{εξασθένιση } (\lambda = 5 \text{ cm}) \\ &= 40 \times \text{εξασθένιση } (\lambda = 10 \text{ cm})\end{aligned}$$

Ρυθμός Εξασθένισης Kr (dB/km)	Μήκος κύματος λ (cm)
$0.000343 R^{0.97}$	10
$0.0018 R^{1.05}$	5
$0.01 R^{1.21}$	3.2



Πεδίο ανακλαστικότητας (α) από το Ραντάρ CP2 του NCAR στα 10cm και (β) από το ραντάρ NOAA-D στα 3 cm που σκοπεύουν το ίδιο φαινόμενο

Χρήση ραντάρ για μέτρηση βροχής

Ο παράγοντας ανακλαστικότητας
συνδέεται με τον **ρυθμό βροχόπτωσης** :

$$Z = 200R^{1.6}$$

Χιόνι : βασική διαφορά ανάμεσα στο χιόνι και στην βροχή είναι ότι $|K|^2$ για τον πάγο είναι πιο μικρή από ότι για το νερό. Το οπισθοσκεδάζόμενο σήμα από ένα πληθυσμό υδρομετεώρων πάγου (χιόνι, χαλάζι) είναι κατά 7 dBZ ασθενέστερο από αυτό που θα έδινε μια κατανομή σωματιδίων νερού του ίδιου όγκου και μάζας.

Χαλάζι : αποτελείται από υδρομετέωρα πάγου με $D > 5$ mm. Πρακτικά, πάνω από τα 55 dBZ η παρουσία χαλαζιού είναι σχεδόν βέβαιη.

Χρήση ραντάρ για μέτρηση βροχής

Ψιχάλα:

$$Z=140 R^{1.5}$$

Στρωματόμορφη βροχή

$$Z=200 R^{1.6}$$

Ορογραφική βροχή

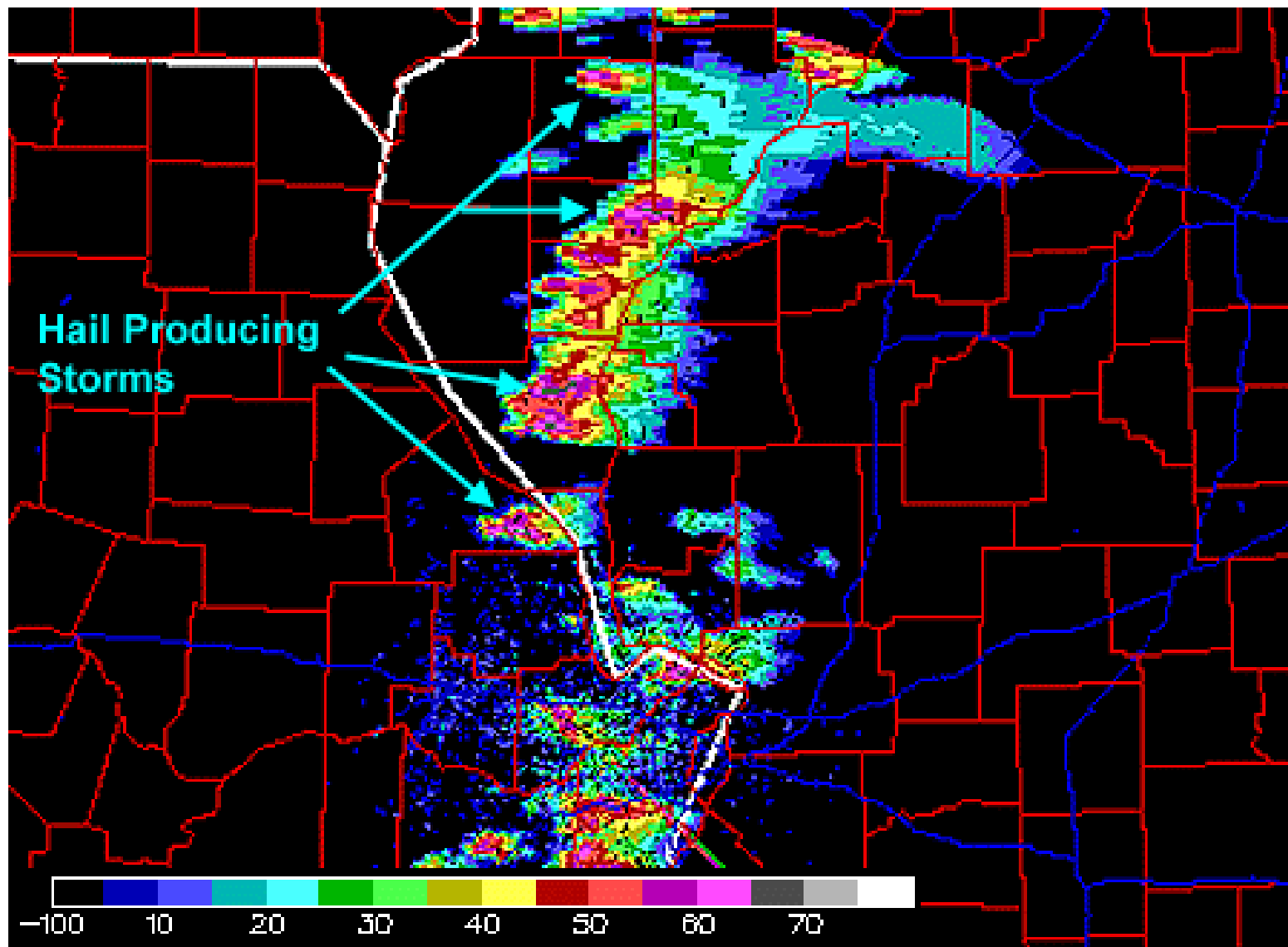
$$Z=31 R^{1.71}$$

Καταιγίδα

$$Z=500 R^{1.5}$$

Νιφάδες χιονιού

$$Z=1780 R^{2.21}$$



ΧΑΛΛΑΖΙ : περιοχές με υψηλή ανακλαστικότητα

Τιμές Ανακλαστικότητας > 60 dBZ

Ραντάρ πολλαπλής πολικότητας

πόλωση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων → σχήμα, μέγεθος, κατεύθυνση και φύση των υδρομετεώρων

όταν η διάμετρος των σταγόνων βροχής αυξάνεται, οι σταγόνες πλαταίνουν (γίνονται ελλειψοειδείς) με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν πιο μεγάλη ανακλαστικότητα σε οριζόντια πόλωση από ότι σε κατακόρυφη.

Διαφορική ανακλαστικότητα Z_{DR} :

$$Z_{DR}(dBZ) = Z_{HH}(dBZ) - Z_{VV}(dBZ)$$

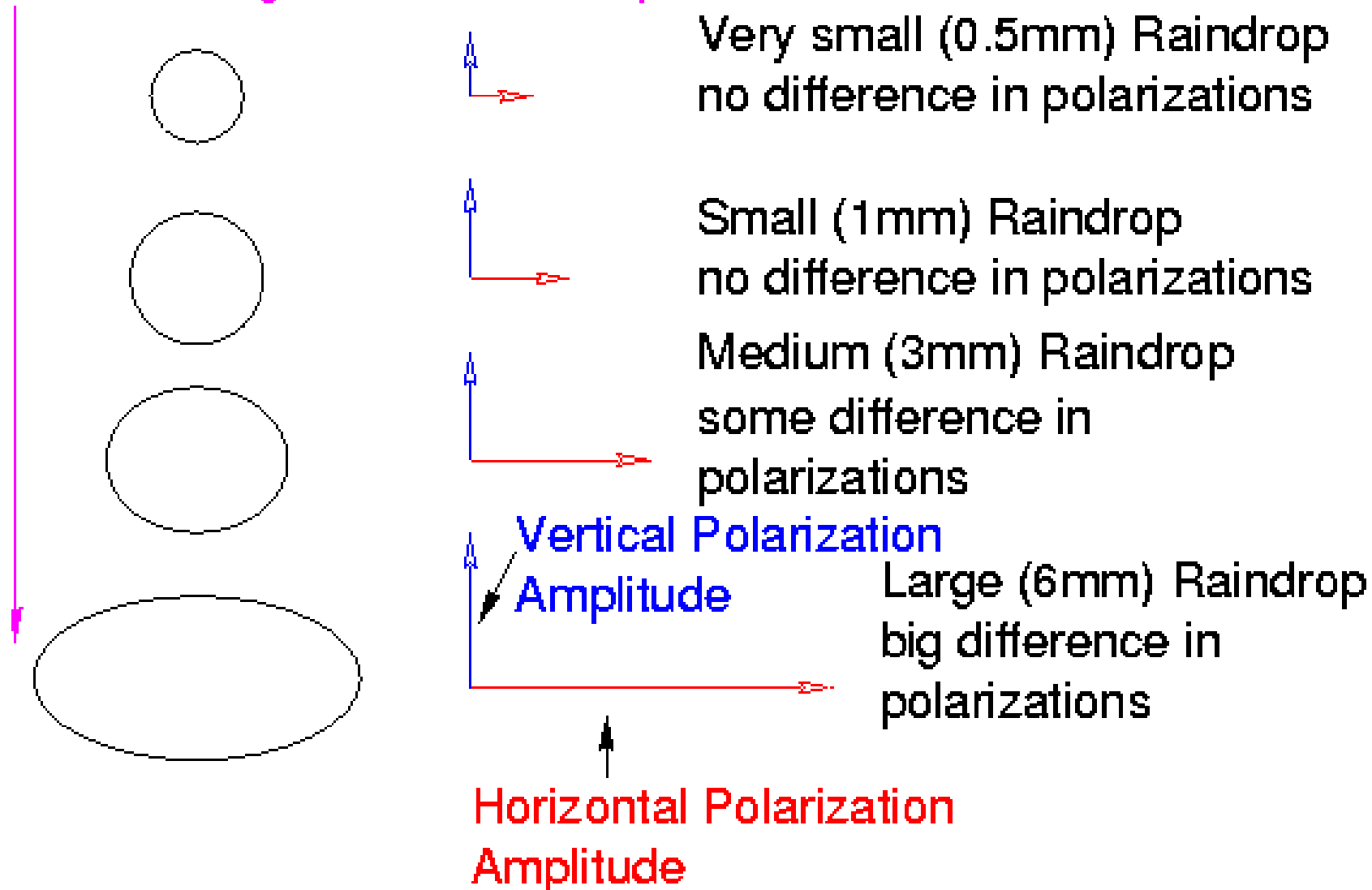
σταγόνες βροχής παρουσιάζουν $Z_{DR} > 0$

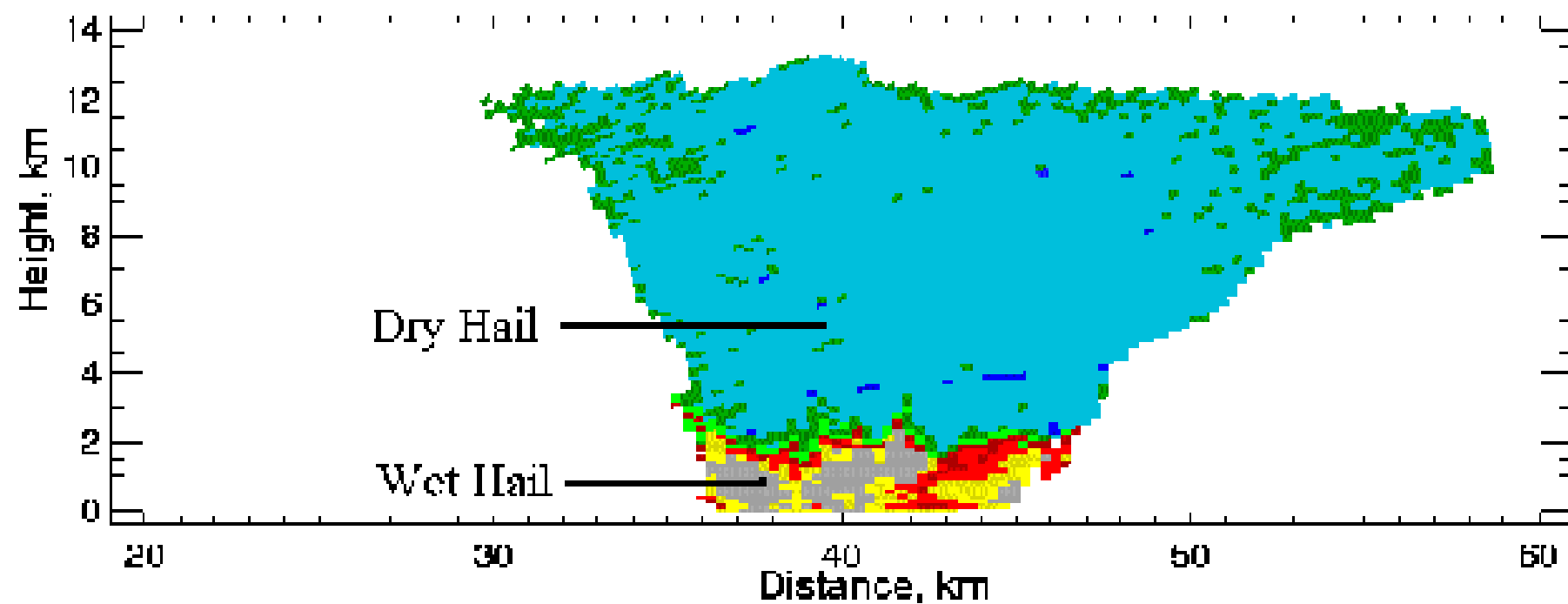
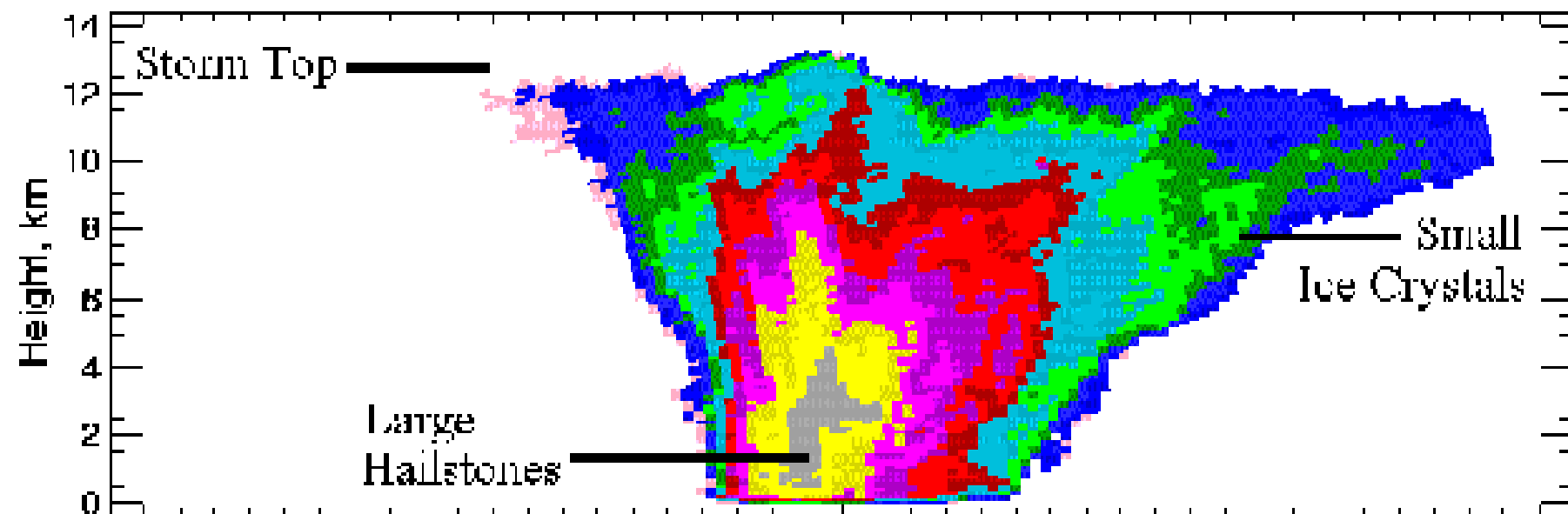
σωματίδια πάγου παρουσιάζουν $Z_{DR} < 0$

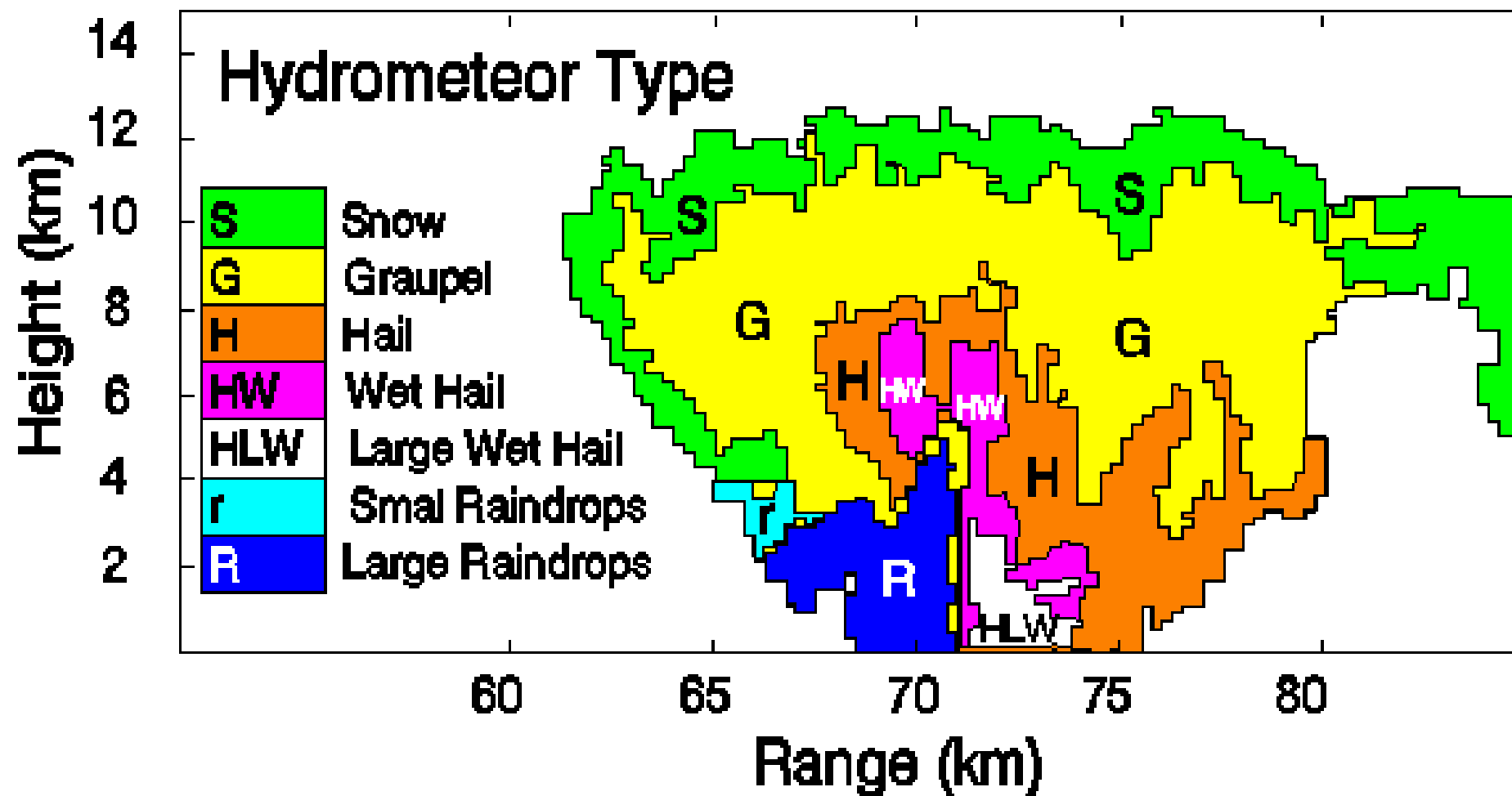
Increasing Drop Size

Increasing Deformation (oblateness)

Increasing Polarization Amplitude Difference







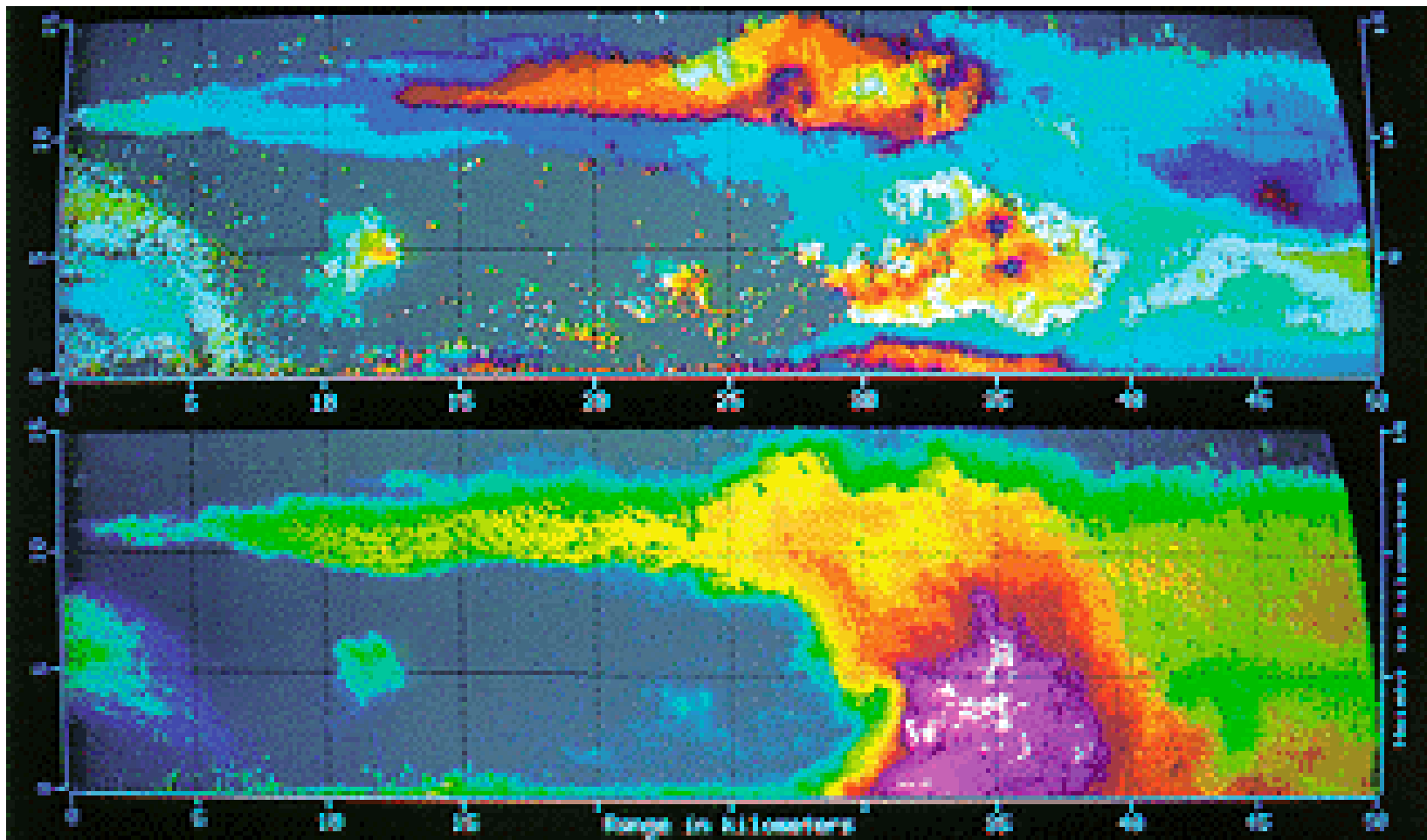
30 June 1990, 1414 UTC Höller et al., JAS 1994

Με ένα ραντάρ ποικίλης πόλωσης και εφαρμογή αλγορίθμων μπορεί κανείς να διακρίνει τα είδη των υδρομετεώρων.

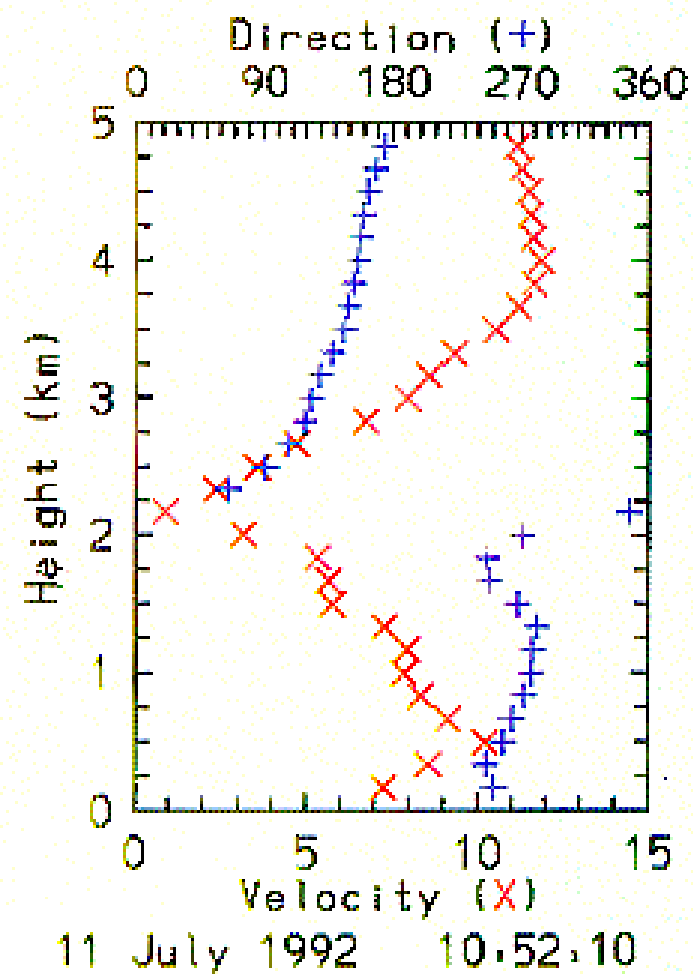
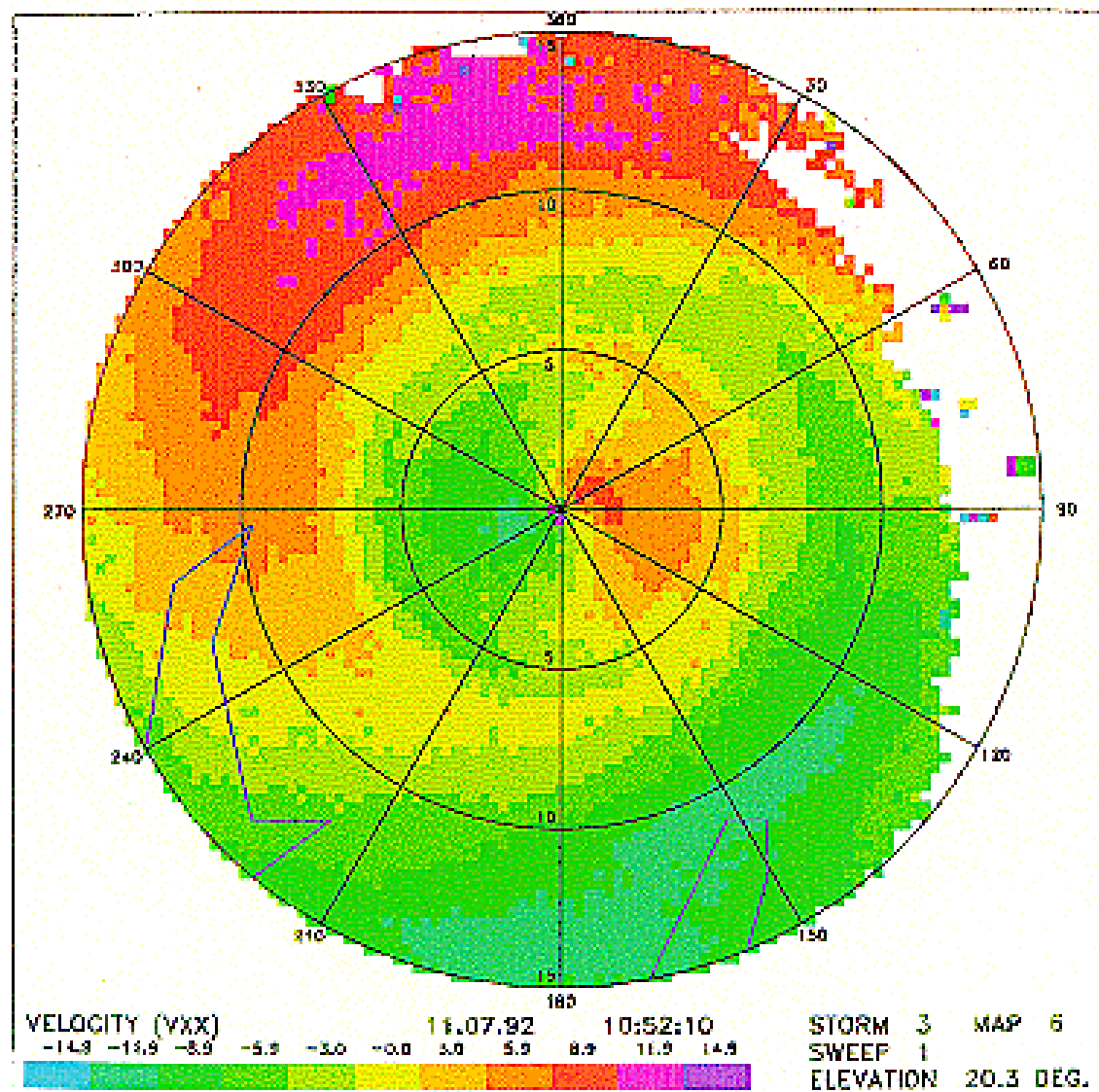
Ραντάρ Doppler

Η μετατόπιση Doppler που προκαλείται από μετακινούμενο στόχο (αγνοώντας τις απώλειες ραντάρ): $f_D = -2V/\lambda$

λ : μήκος κύματος radar, V : κατ'ακτίνα (radial) ταχύτητα



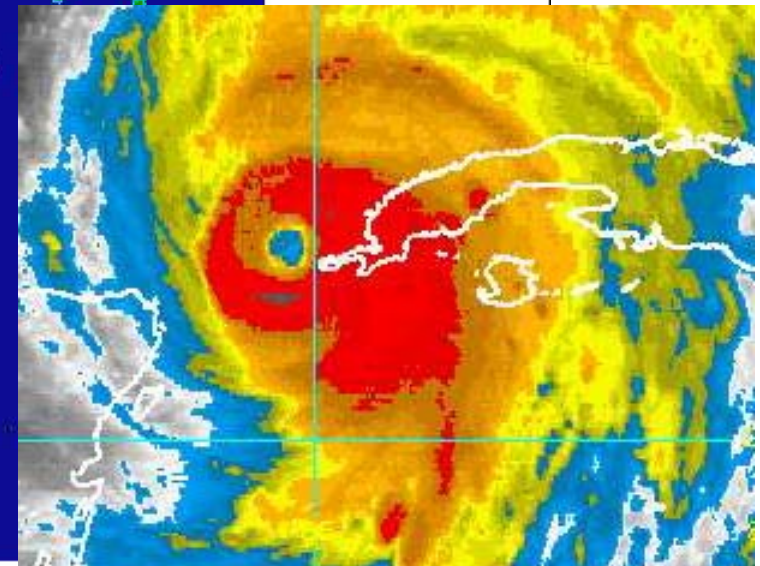
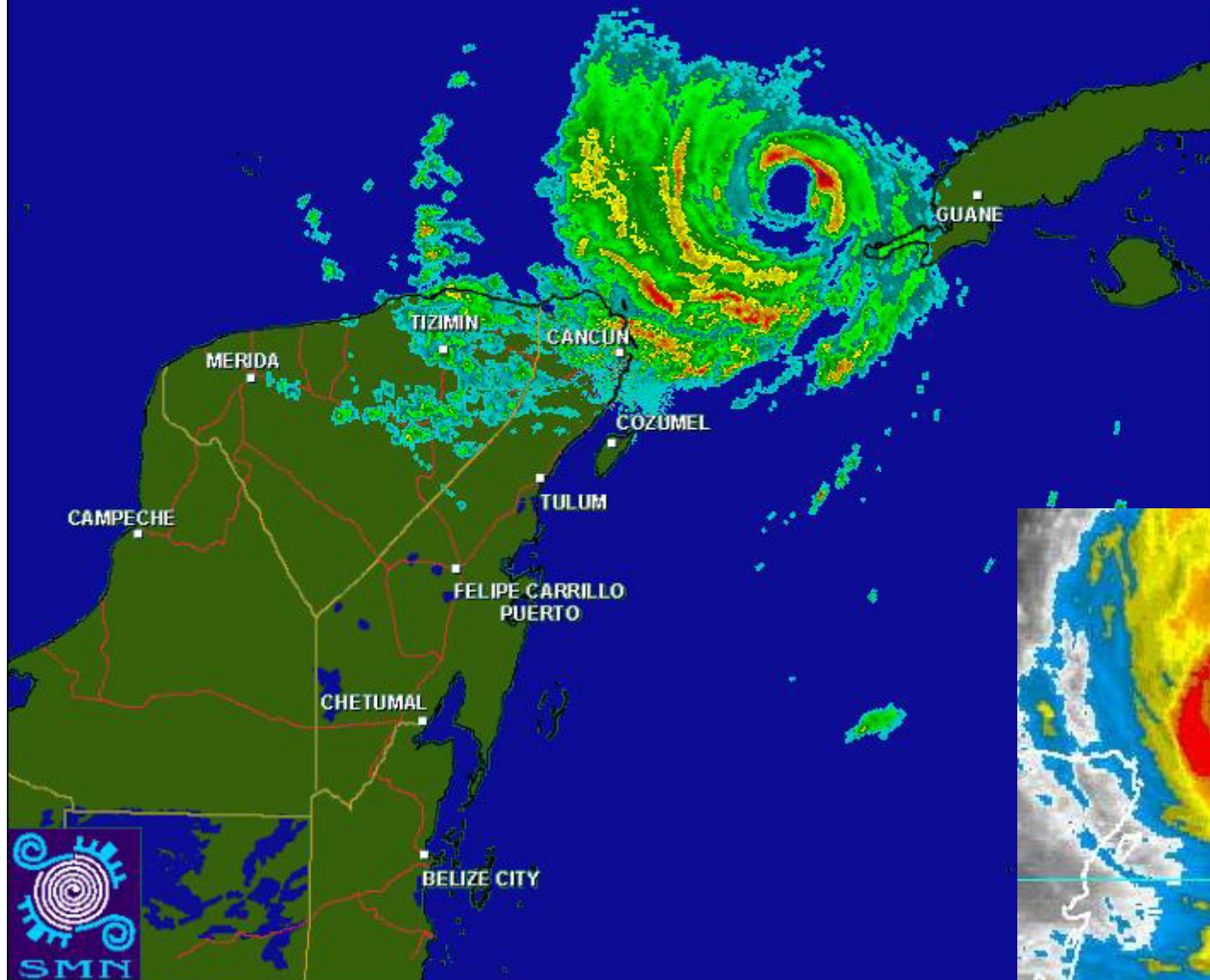
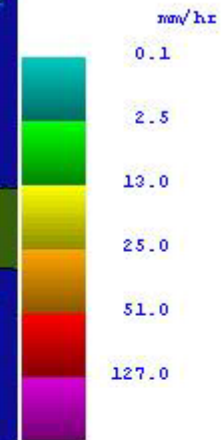
Windprofil mit Velocity Azimuth Display (VAD)

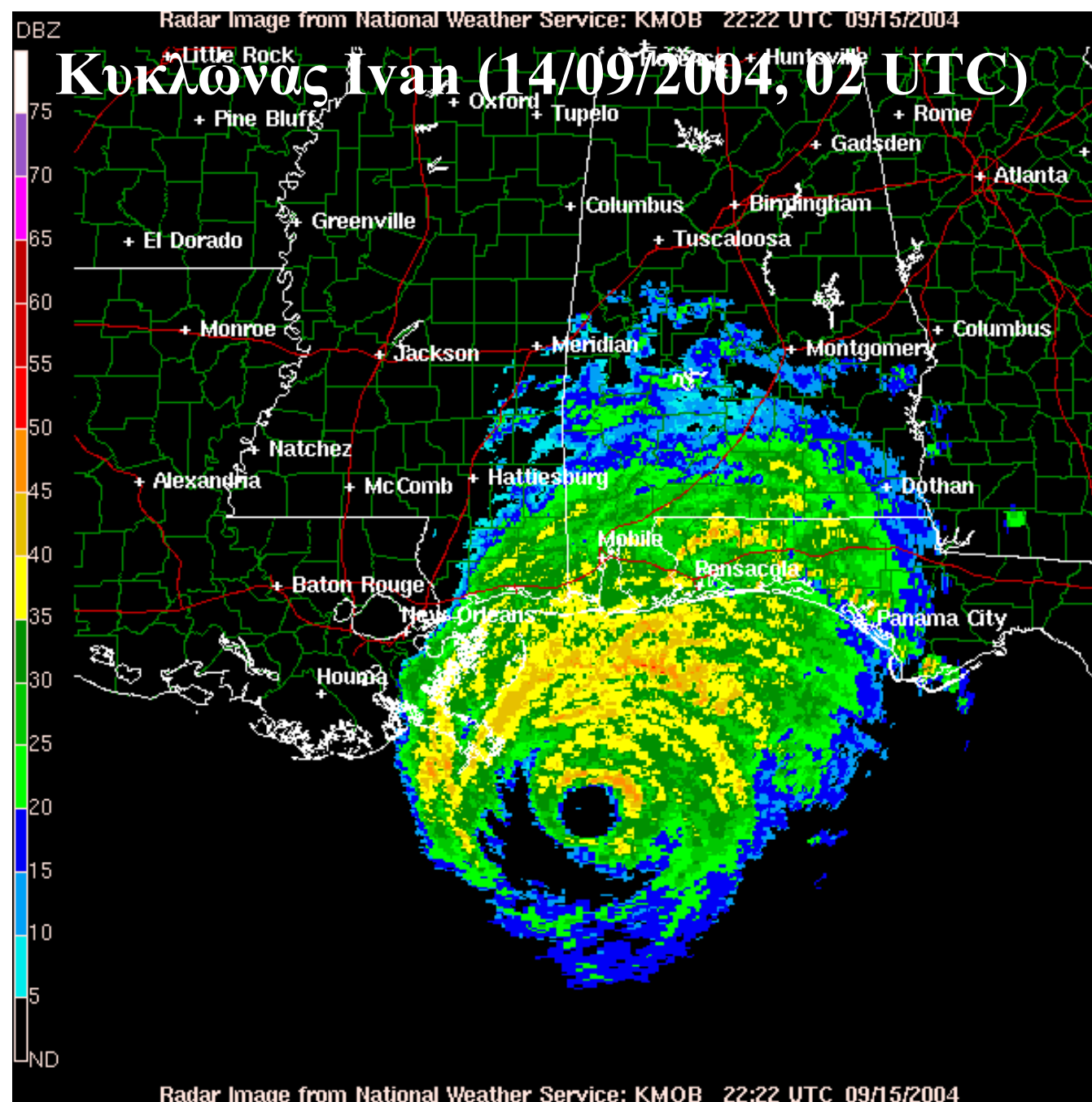


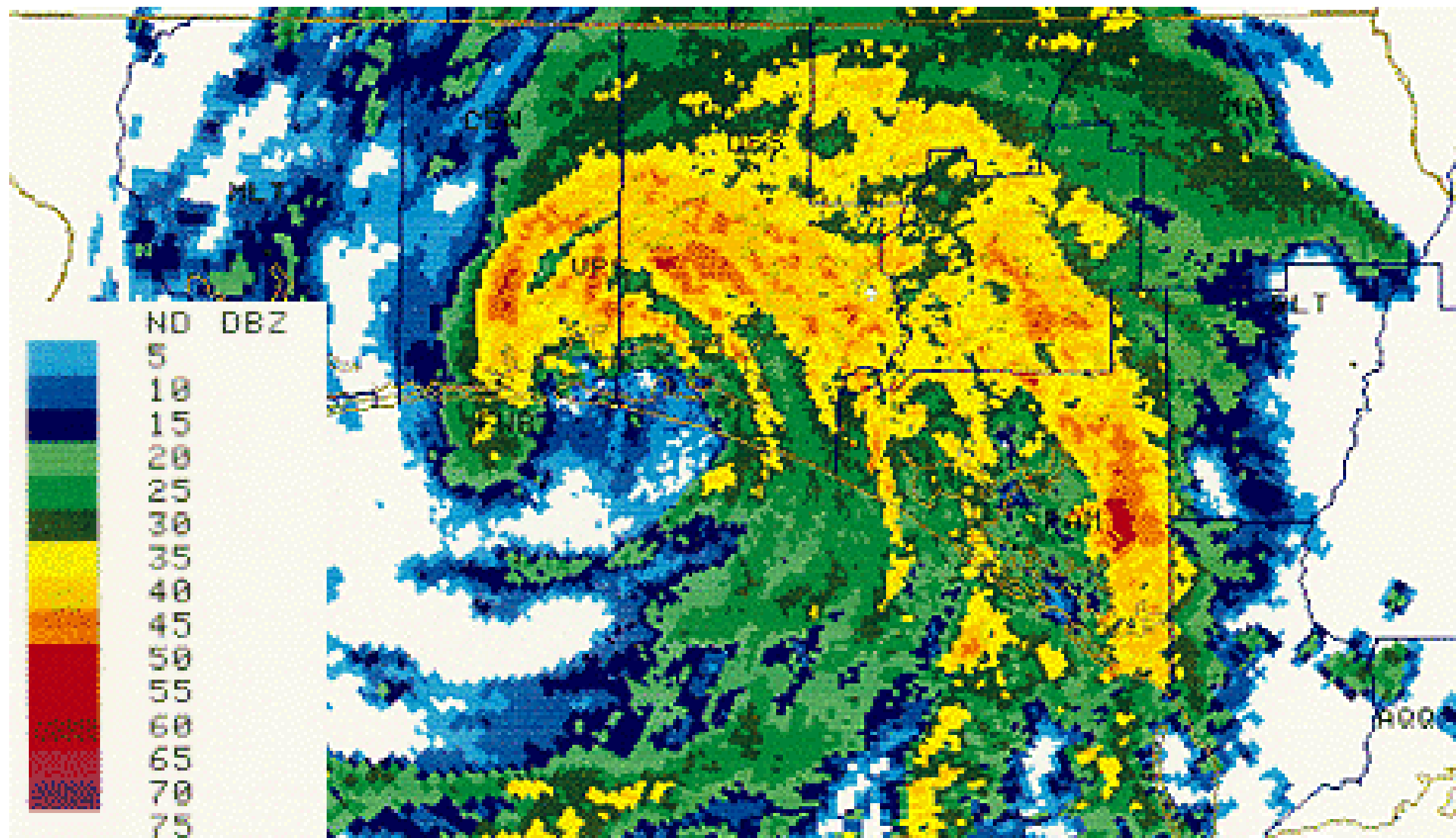
Κυκλώνας Ivan (14/09/2004, 02 UTC)



Rain Rate
480 km range
El: 0.9°



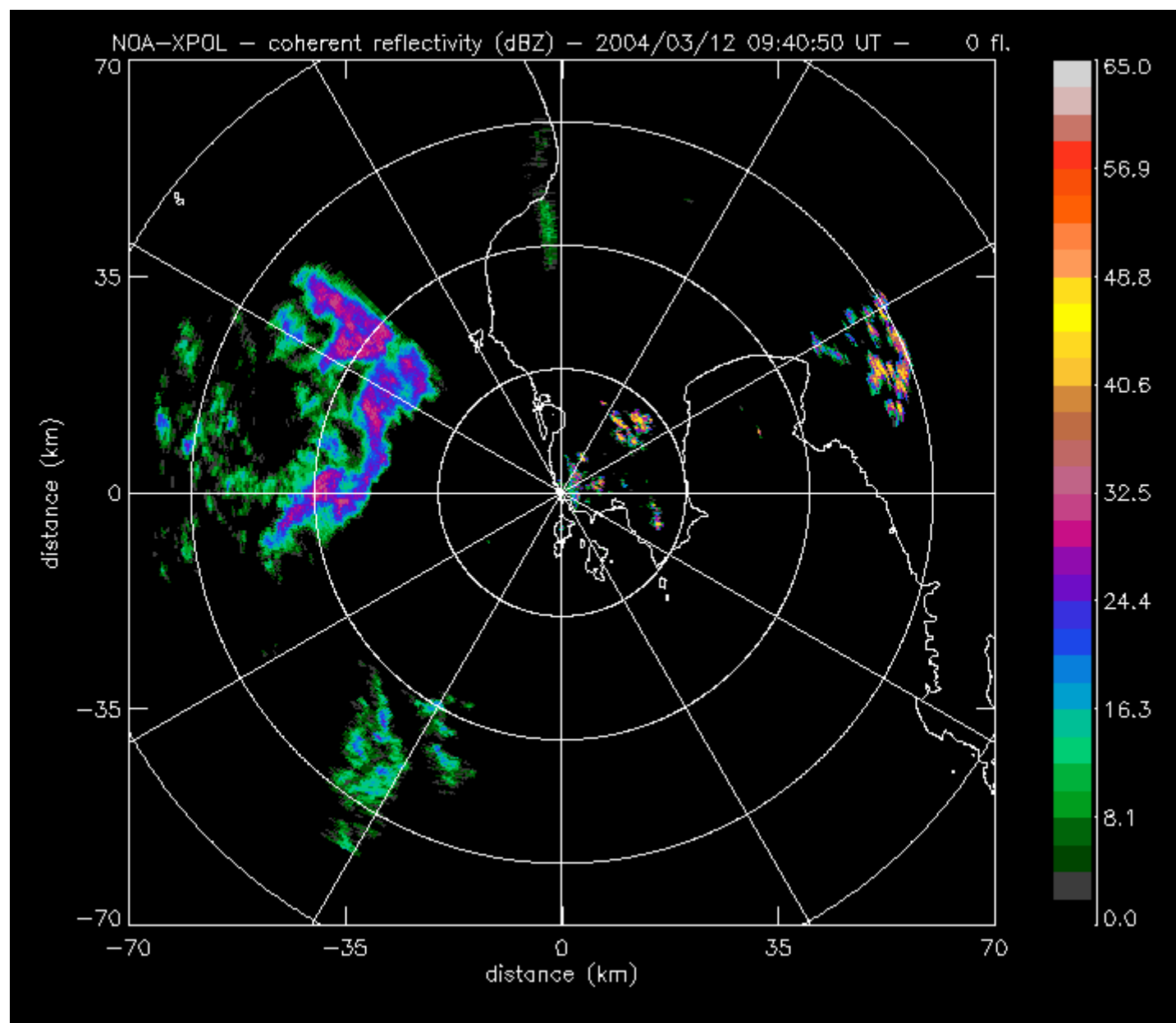




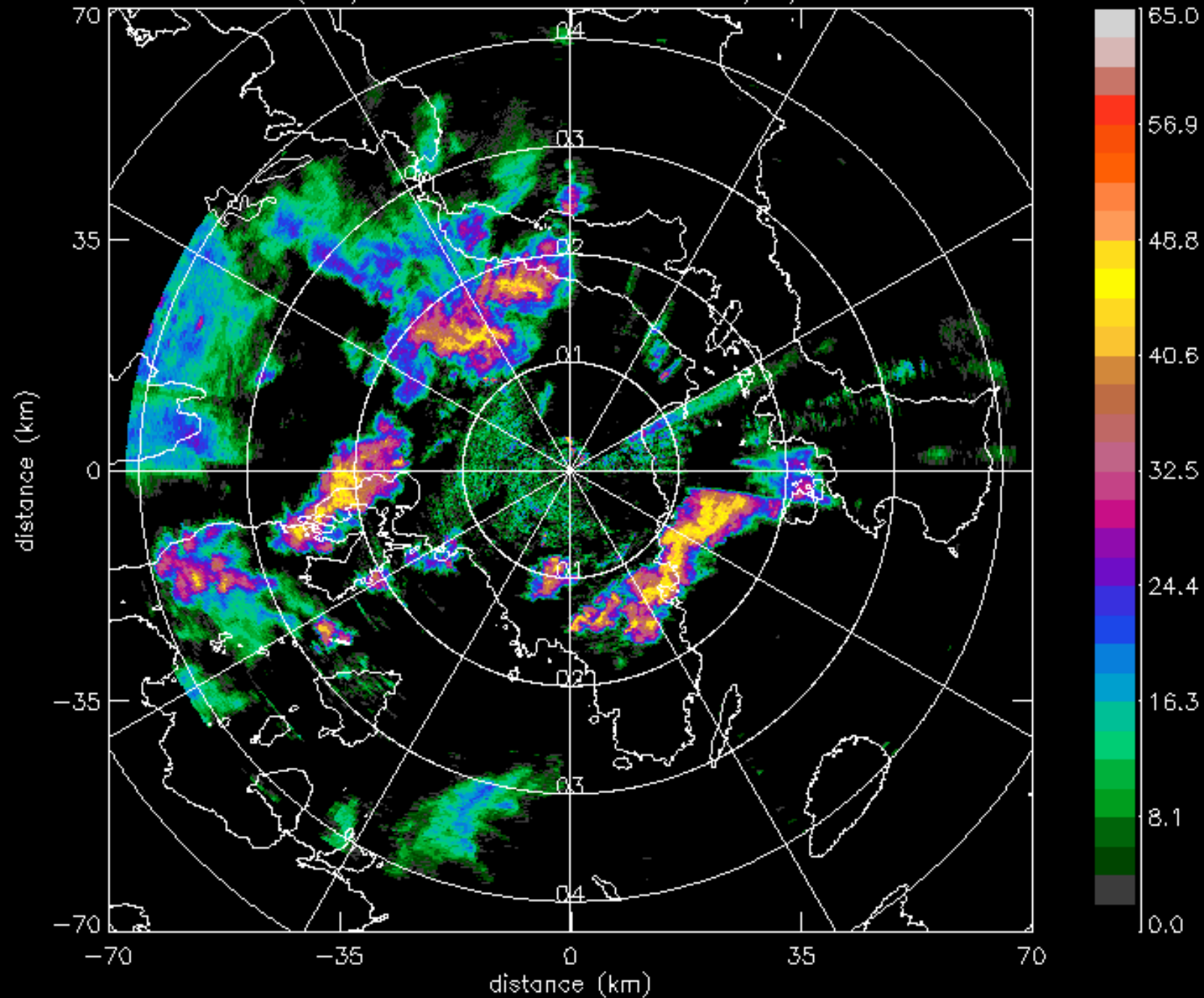
Κυκλώνας Roxanne (Oct. 1994)

Χ-POL Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

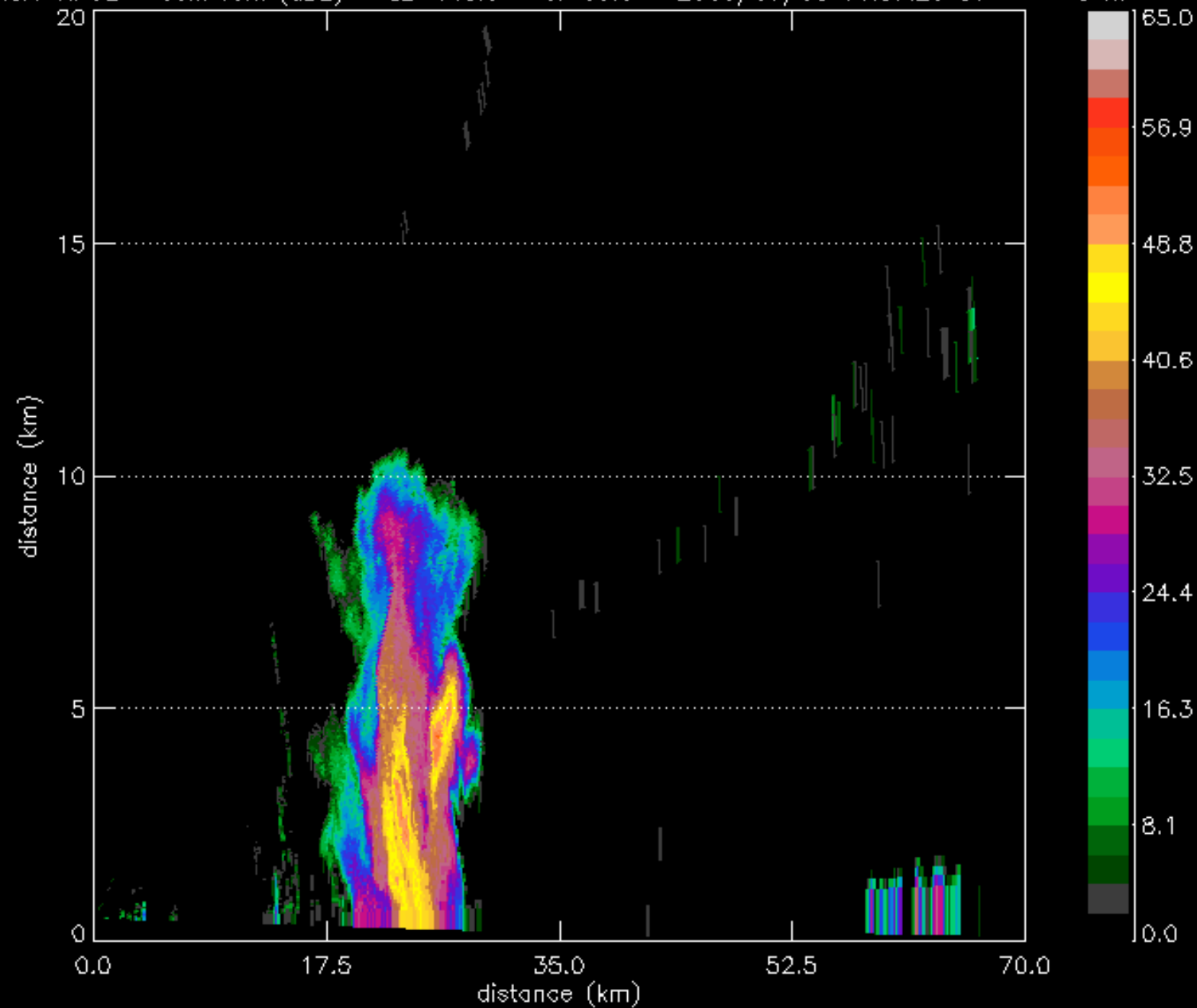


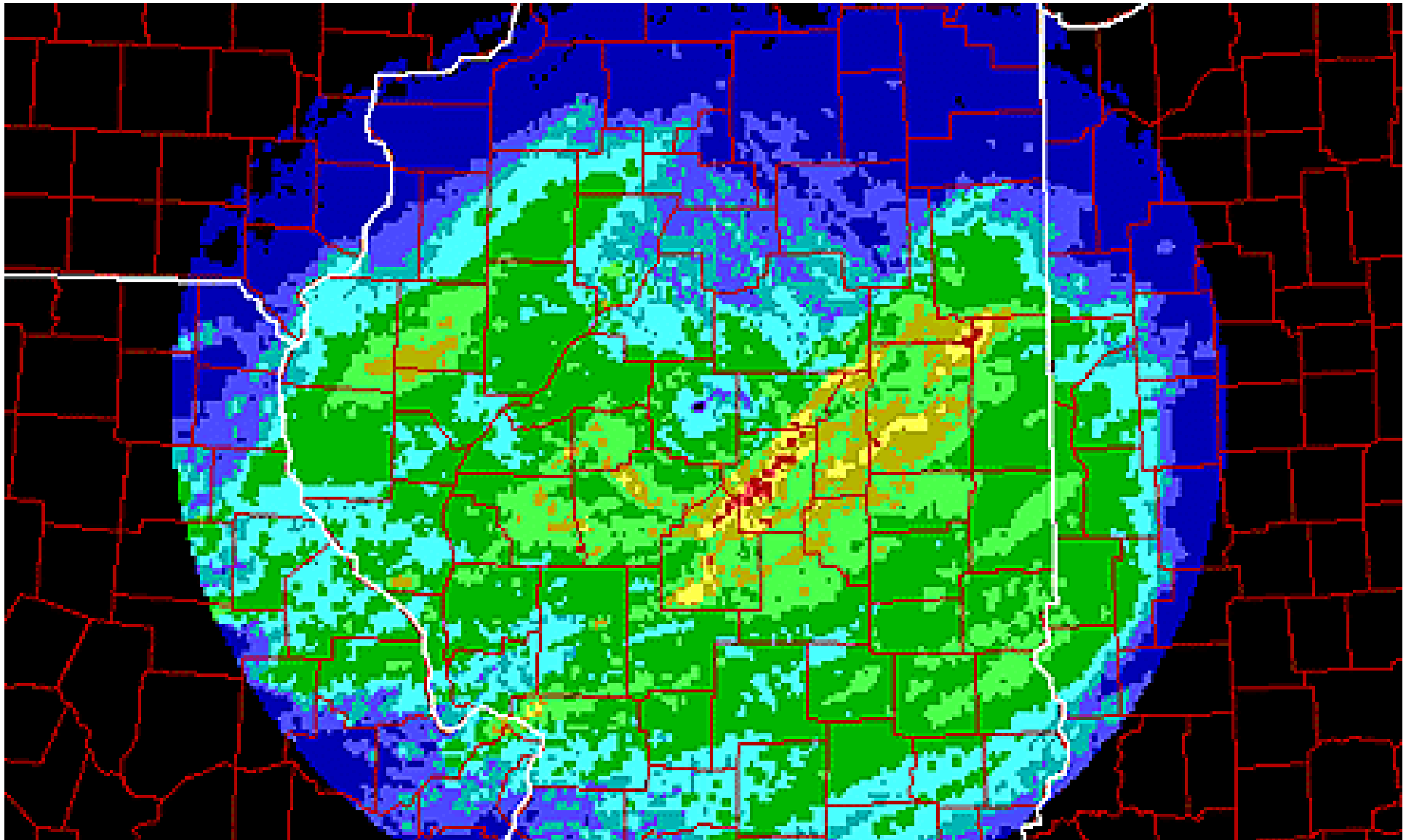


NOA-XPOL - coh. refl. (dBZ) - az= 25.5 - el= 3.5 - 2005/07/03 11:49:19 UT -

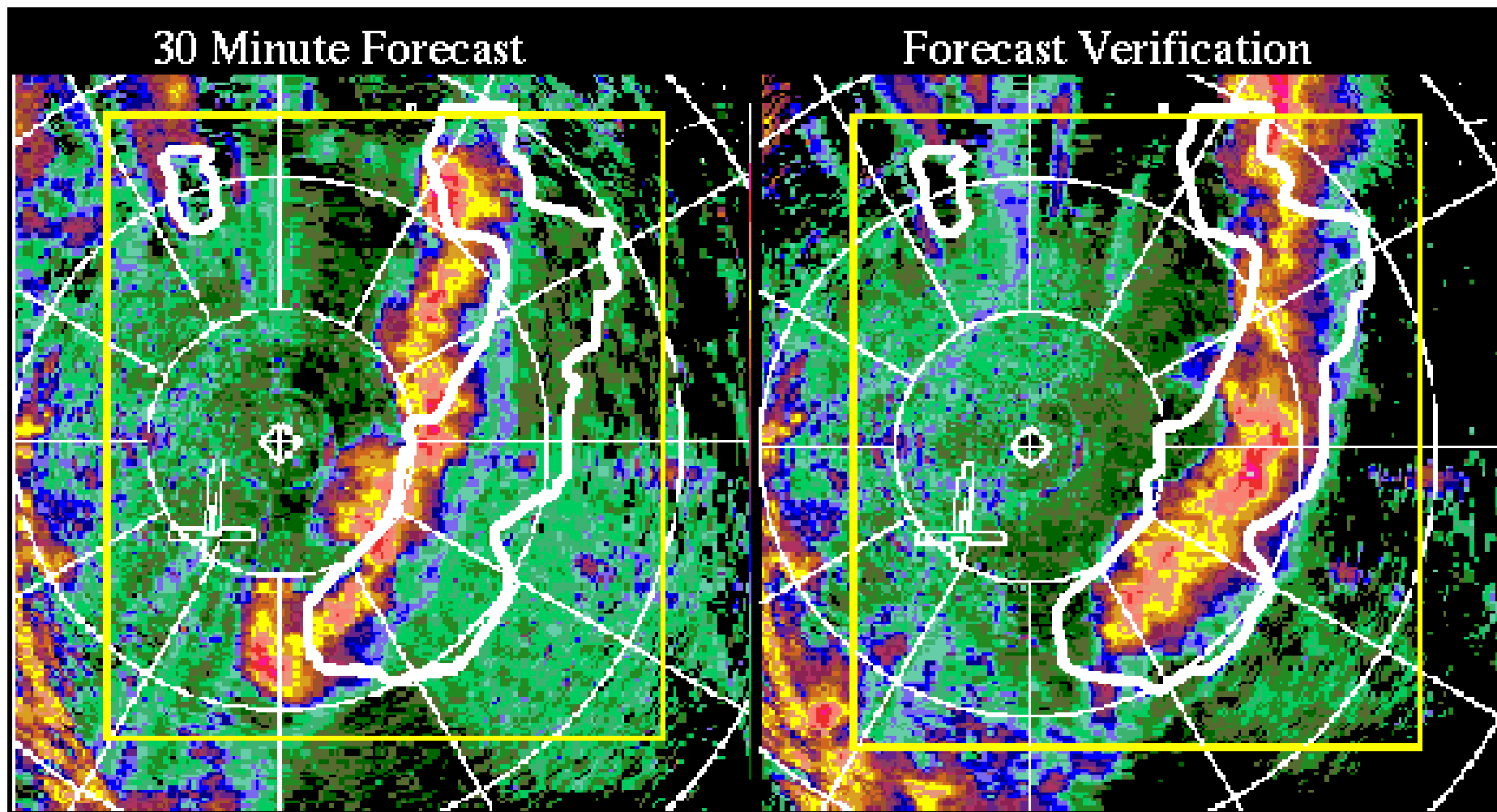


NOA-XPOL - coh. refl. (dBZ) - az=140.3 - el=39.9 - 2005/07/03 11:57:25 UT -





Χάρτης αθροιστικής βροχόπτωσης 12-h (εκτίμηση radar μέσω της σχέσης ανακλαστικότητας- ρυθμού βροχόπτωσης). Οδηγός για επικινδυνότητα πλημμύρας για αντίστοιχες λεκάνες.



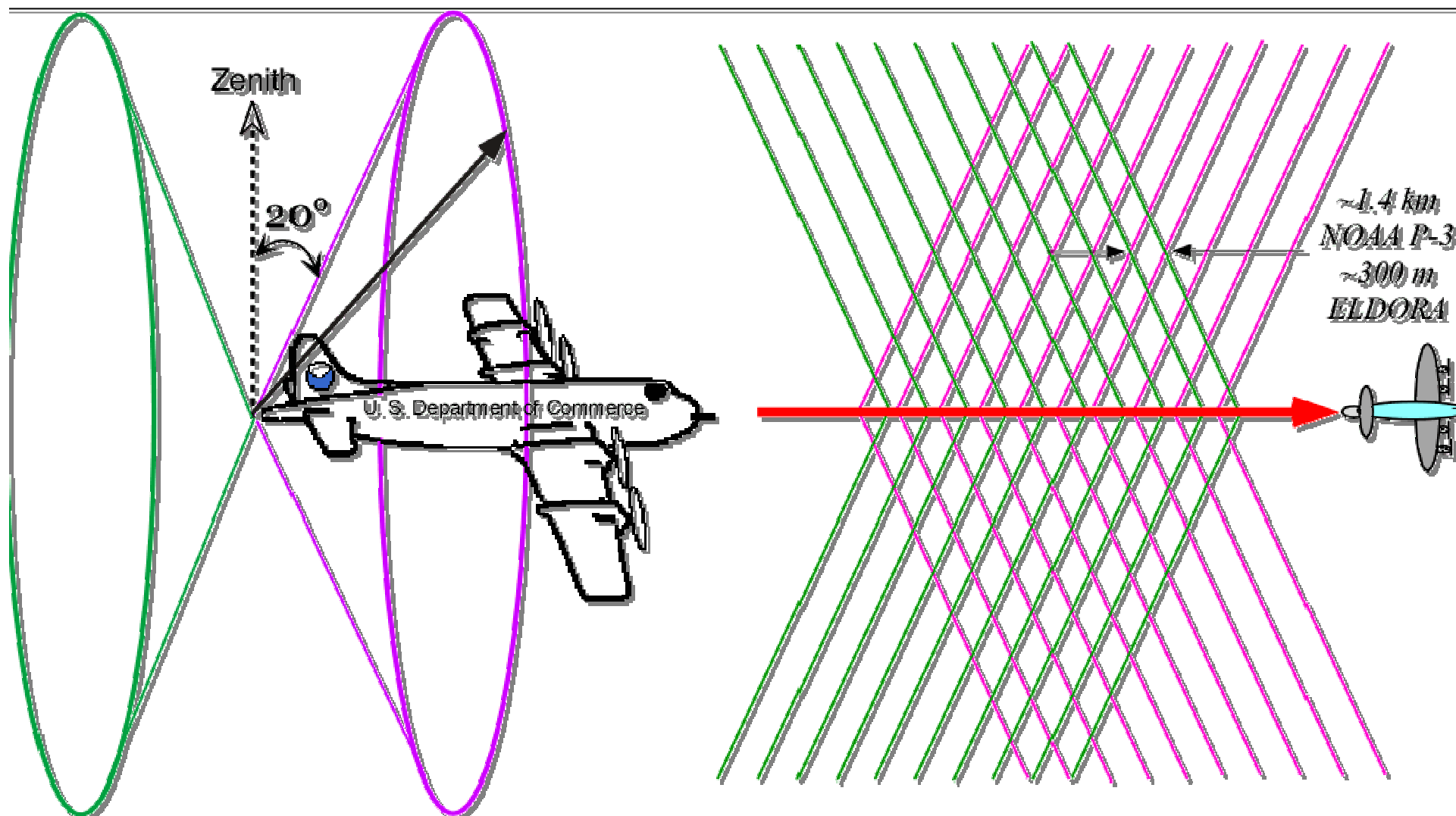
Άμεση πρόγνωση - Nowcasting

Ραντάρ Αερομεταφερόμενα

- NOAA P-3s
 - X-band, κατακόρυφη σάρωση
- NCAR ELDORA (on NRL P-3)
 - X-band, ταχεία κατακόρυφη σάρωση
- U. Wyoming
 - 65 GHz (3-mm W-band, cloud radar),
- ER-2 (EDOP)
 - X-band, κατακόρυφα προφίλ



Ραντάρ Αερομεταφερόμενα



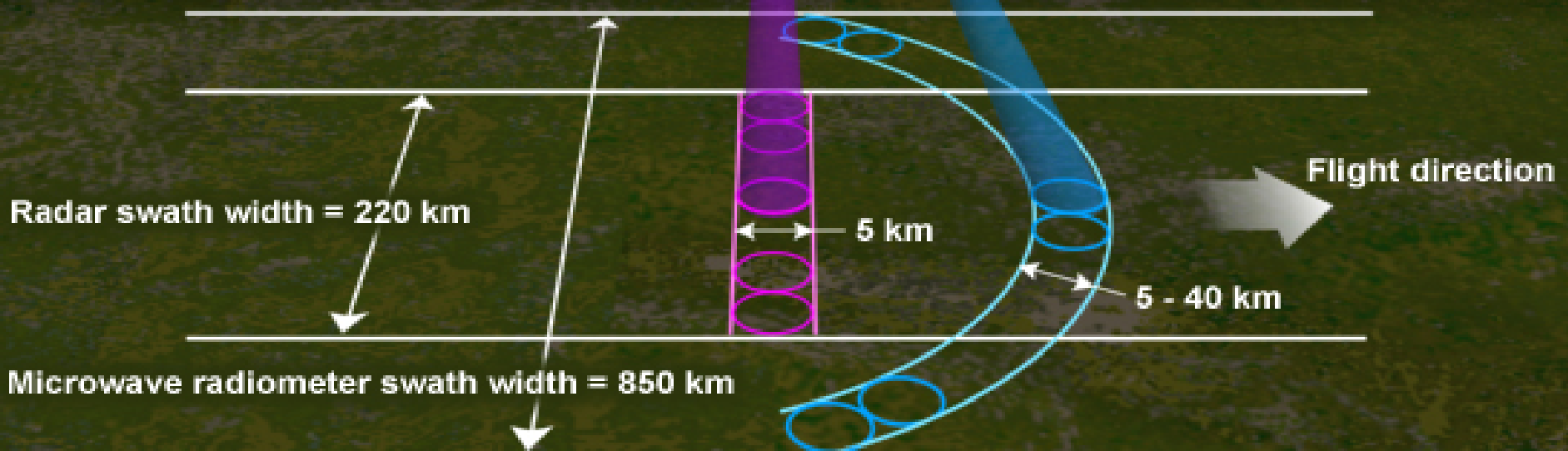
Ραντάρ Αερομεταφερόμενα



Ραντάρ σε δορυφόρους

Precipitation Radar (PR) - TRMM

Είναι το πρώτο ραντάρ βροχόπτωσης που τοποθετήθηκε σε δορυφόρο (TRMM) με στόχο
α) την εκτίμηση της 3-διάστατης δομής της βροχόπτωσης ,
β) την ποσοτική εκτίμηση της βροχής σε θάλασσα και ξηρά
γ) τη βελτίωση της ακρίβειας των ως τώρα εκτιμήσεων με την ταυτόχρονη και συνδυασμένη
χρήση ενεργού (PR) και παθητικού (TMI / VIRS) αισθητήρα.



Το ραντάρ PR είναι ένας ενεργός αισθητήρας με συχνότητα λειτουργίας στα 13.8 GHz. Το μέγεθος της κατασκευής του PR είναι 2.3 m x 2.3 m x 0.7 m. Το PR σαρώνει στην κάθετη διεύθυνση με εύρος $\pm 17^\circ$.