

# Comunicación C-7

## CORRECCIÓN POR PERFIL VERTICAL DE REFLECTIVIDAD DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN RADAR

Fernando Aguado Encabo

Sección de Teledetección Terrestre del INM

### RESUMEN

*El error sistemático en la pluviometría radar muestra una fuerte dependencia de la distancia debido a que el campo de precipitación en tierra se infiere de medidas realizadas a altura creciente según nos alejamos del emplazamiento. Numerosos estudios han demostrado sin embargo que el perfil vertical de reflectividad permanece razonablemente constante dentro de los límites geográficos y temporales de la exploración radar, lo cual abre la posibilidad de mejorar la estimación de lluvia si se conoce o supone un perfil vertical aproximado. En este trabajo se presenta una implementación de esas características para los sistemas de radar del Centro Regional del INM. En tiempo real, usando datos del volumen polar se determina el perfil vertical de reflectividad. A continuación, añadiendo datos topográficos y de bloqueo parcial del haz, se usa el perfil obtenido para corregir los datos del PPI según la altura media de cada pixel y obtener así una estimación de la reflectividad junto al suelo. La bondad del procedimiento se comprueba visualmente con imágenes obtenidas por el radar de La Coruña y también de forma objetiva comparando datos con y sin corrección con valores de precipitación proporcionados por pluviómetros*

### 1. Introducción

Los intentos de obtener campos fiables de precipitación en tierra a partir de las medidas realizadas por el radar meteorológico son tan antiguos como el propio instrumento. Durante mucho tiempo, los esfuerzos se han orientado de forma principal en dos direcciones: la comprensión de las propiedades microfísicas y dinámicas de las nubes que determinan la relación entre la reflectividad ( $Z$ ) y la intensidad de precipitación ( $R$ ) y la mejora en las estimaciones integrando en un producto común los datos radar con datos pluviométricos procedentes de las redes convencionales de observación. (Battan, 1973) y (Wilson y Brandes, 1979), pasan revista a esas líneas de trabajo que se han traducido operativamente en sistemas como los nuevos NEXRAD de EEUU (Hudlow *et al.* 1992) o los desarrollados para la *Met. Office* inglesa (Collier, 1986 I-II-III).

En 1986, (Koistinen, 1986) realizó un planteamiento novedoso al mostrar la influencia de la estructura vertical de los ecos en la calidad de las estimaciones de lluvia. De la observación de que gran parte del error sistemático procede de las propias limitaciones del instrumento (el dato más bajo disponible es de mayor altitud y el volumen atmosférico representado en él, más grande conforme nos alejamos del radar) y suponiendo una cierta persistencia en la estructura vertical de la reflectividad, propuso el uso de un perfil representativo de la situación ineteorológica para estimar la precipitación junto al suelo a partir de los datos medidos por el radar en altura. Desarrollos posteriores de (Koistinen, 1991), (Joss y Waldwogel, 1990), (Andrieu y Creutin, 1991), (Fabry et al., 1992a,b) o (Divjak, 1994) han demostrado la fecundidad del planteamiento y desarrollado ese enfoque hasta hacerlo dominante en la comunidad científica.

La ventaja del método estriba en que permite un tratamiento coherente de los errores sistemáticos utilizando datos del propio radar y reservando de momento un papel de verificación a las medidas realizadas por las redes convencionales de observación.

Muy recientemente (Joss y Lee, 1995) han traducido estos desarrollos en una implementación operativa para los radares suizos de la nueva generación, un trabajo al que el autor debe muchas de sus ideas.

**2. Definición del perfil**

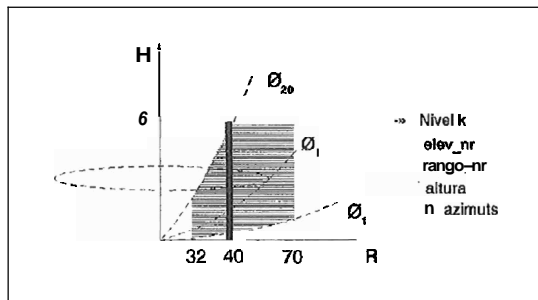


Fig. 1. Definición de elementos para el cálculo del perfil

La corrección que aquí se describe se basa en los datos de reflectividad del modo normal de operación de los radares del INM, consistente en 20 elevaciones  $\phi_i$  realizadas con una anchura de haz  $\phi$ . Una elevación se compone de 419 sectores de azimut cada uno de los cuales tiene 120 datos en rango cuyos centros se distribuyen uniformemente entre 1 y 241 km. Una máscara de ecos fijos obtenida de una exploración en día claro señala como eco de tierra aquellas celdillas del volumen polar cuyo valor sea igual o superior a 0 dBZ.

La definición del perfil consiste en determinar qué celdillas del volumen polar se pueden tomar como representativas del valor de reflectividad en niveles separados unos 200 metros y comprendidos entre el suelo y 6 km por encima del emplazamiento radar. Para ello y tal y como se ilustra en la Fig. 1 se determina en primer lugar y a una distancia de 40 km del emplazamiento, cuáles son los niveles del perfil buscados que estén iluminados por el pseudohaz limitado por los ángulos  $(\phi_1 - \phi/2, \phi_20 + \phi/2)$ . Para ellos, a continuación se explora la altura de cada celdilla (expresada como par  $[elev\_nr, rango\_nr]$ ) cuyo rango en km se encuentre dentro del intervalo [32, 70] (excepto para la primera elevación donde los límites son [23, 78]) y se asigna al nivel del perfil buscado aquel par que quede más cerca.

La limitación en rango se utiliza para mantener dentro de márgenes el volumen representativo de los datos que conforman cada nivel del perfil. Recurriendo a la máscara de ecos fijos, se determinan por último en azimut las celdillas libres de ecos cuyos valores pueden utilizarse posteriormente como representativos del nivel particular.

La Tabla 1 muestra los resultados para el Sistema Radar de la Coruña. Resulta interesante observar

Tabla 1

Definición del perfil para el radar de La Coruña

Sistema de radar de La Coruña				
Definición de perfil vertical				
Numero de niveles:		30		
Altura mínima:		200.0		
NIVEL	ELEV NR	RANGO NR	ALTURA	N_DATOS
1	1	11	209.2	229
2	1	19	403.5	281
3	1	26	598.1	268
4	1	33	815.9	295
5	1	38	985.6	339
6	2	23	1218.6	314
7	2	26	1399.1	341
8	2	29	1583.9	338
9	2	32	1772.8	362
10	3	24	2016.2	338
11	3	26	2199.8	346
12	4	21	2387.6	359
13	4	30	2572.7	369
14	3	32	2761.9	379
15	4	26	3000.0	382
16	5	22	3183.2	405
17	4	29	3373.1	372
18	4	31	3624.1	391
19	5	26	3799.5	414
20	4	34	4004.3	411
21	6	24	4226.3	417
22	6	25	4412.0	414
23	6	26	4598.0	418
24	6	27	4784.6	417
25	6	28	4971.6	419
26	7	22	5200.2	419
27	7	26	5395.5	419
28	7	21	5592.4	419
29	7	28	5831.6	419
30	7	29	6050.4	419

la proximidad relativa de la altura del centro de las celdillas a la altura nominal buscada y el elevado número de datos válidos en azimut para cada nivel del perfil.

### 3. Definiciones para el dato cartesiano

La corrección por perfil se realiza sobre los datos del PPI que es una representación cartesiana de los datos de la primera elevación. La conversión de los datos originales en coordenadas polares a este nuevo formato se facilita a través de una tabla en la que se determina para cada *pixel* del PPI qué tres celdillas de la elevación más baja (la más cercana y las contiguas en azimut y rango) son las más próximas al centro del *pixel* y qué pesos se deben aplicar (en función de su distancia a él) a los valores recogidos en ellas para obtener el dato cartesiano. La máscara de ecos de tierra se usa aquí para sustituir de forma ((inteligente)) aquellas celdillas señaladas como eco de tierra por otras que no lo estén y que, eventualmente, pueden estar situadas en distinta elevación.

Para los trabajos de la corrección que nos ocupa, se calcula e incorpora a esa tabla la altura a la que se realiza la medida como un promedio pesado de las alturas del centro de las celdillas señaladas en la interpolación. Asimismo se incorporan datos de la altura media del terreno en cada *pixel* usando una «imagen topográfica») correspondiente a la escala y proyección del PPI y una escala de ocultación parcial obtenida mediante el tratamiento climatológico de imágenes PPI obtenidas por el radar particular en numerosos episodios de precipitación.

### 4. Cálculo de perfiles y arranque de la corrección

Los radares del INM realizan una exploración en modo normal cada diez minutos y con esa misma frecuencia se determinan los valores de reflectividad en cada nivel del perfil como un promedio de los registrados en las celdillas definidas en el apartado 2. El promedio se calcula con la condición de que haya al menos diez datos con un valor superior a 6 dBZ; en caso contrario el nivel se marca como carente de datos. En cualquier caso, haya o no datos en el nivel particular, su valor nunca puede ser inferior a un valor mínimo (establecido por ahora en 12 dBZ) que permite sintonizar la corrección limitando su valor. El perfil en su conjunto se considera válido si hay al menos seis niveles representados. Conviene mencionar que se han elegido 6 dBZ como un valor de compromiso para, por un lado, poder representar adecuadamente en el perfil las posibles zonas de lluvia (12 dBZ equivalen a 0,1 mm/h en la relación Z/R de Marshall y Palmer) comprendidas en una corona circular de radios 32 y 70 km y por otro minimizar el efecto que puedan producir los ecos de tierra que aparecerán en condiciones estándar de propagación por debajo de 0 dBZ.

El perfil que se utiliza posteriormente en la corrección se obtiene mediante promediado de hasta ocho perfiles válidos obtenidos de ciclos radar anteriores. Las restricciones al cálculo de este perfil promedio se reducen al hecho de disponer de al menos un ((perfil instantáneo)) válido en las últimas dos horas.

En cada ciclo de diez minutos se intenta obtener el perfil promedio. Siempre que se consiga, la corrección se realizará sobre los datos del PPI como más adelante veremos. El uso del perfil promedio tiene por objeto suavizar los valores del perfil y representar más adecuadamente en él la situación meteorológica.

En situaciones de banda brillante es muy probable que su altura se sitúe al nivel del terreno en numerosas áreas de la cobertura y si no se toman precauciones la corrección puede empeorar las cosas en lugar de mejorarlas. Para evitar ese efecto es necesario determinar la altura de la banda brillante y su rango de influencia en la vertical en el perfil promedio mediante el análisis de su derivada segunda en la vertical, introduciendo un dato de isocero procedente de sondeos o con una combinación de ambos procedimientos.

### 5. Corrección del PPI

Siempre que se disponga del adecuado perfil medio de reflectividad, en el ciclo radar posterior se realizará la corrección del PPI para transformarlo en una estimación de la reflectividad junto al suelo. Cada *pixel* de esa imagen cambiará su valor de acuerdo con la siguiente fórmula,

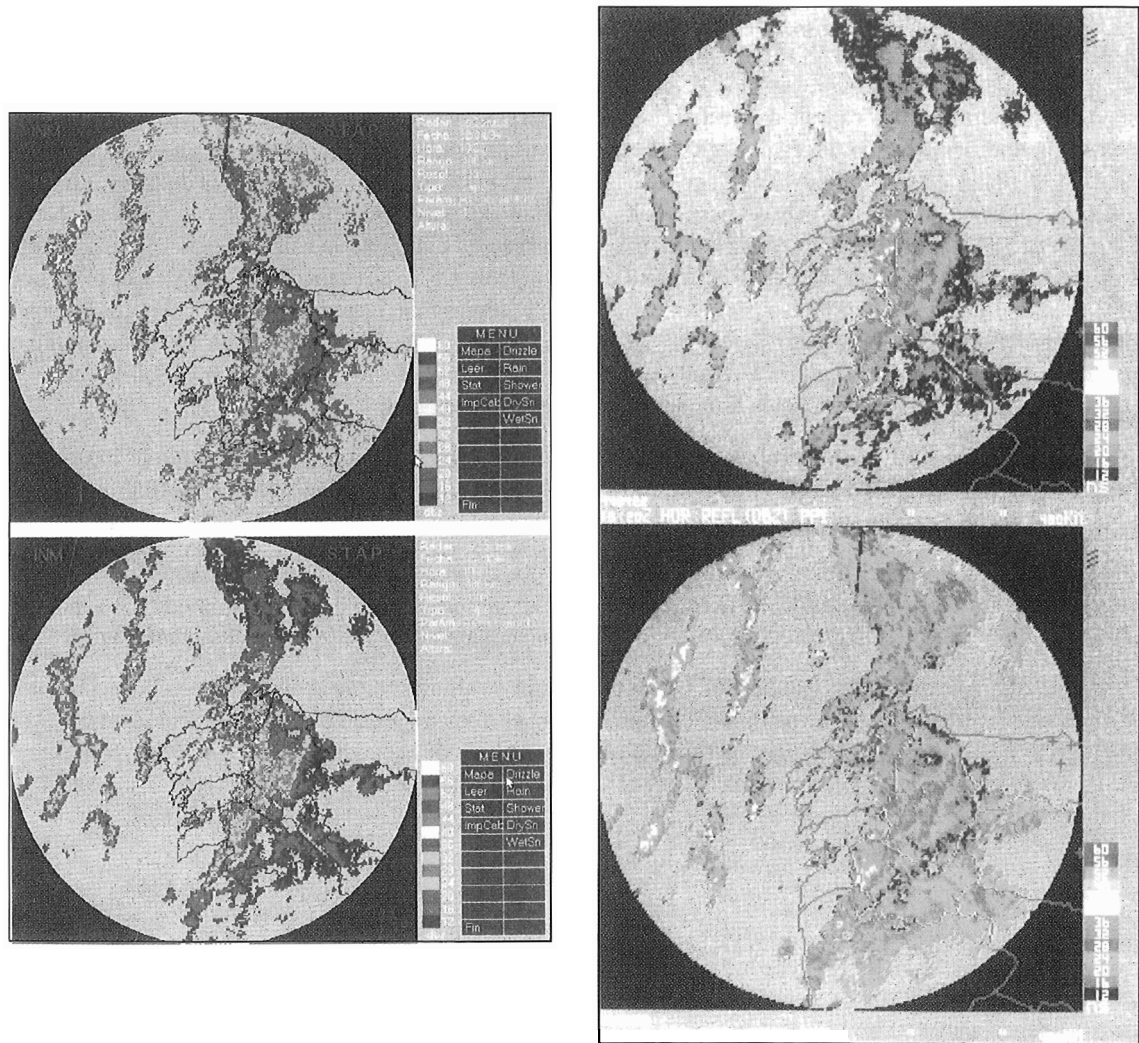
$$Z(x, y, h_0) = \frac{N * Z_p(h_0)}{8 * Z_p(h)} * Z(x, y, h) * F(x, y, h), \quad N = 1 \dots 8$$

donde  $Z(h_0)$  es la estimación de la reflectividad a la altura inedia del terreno en el pixel,  $Z(h)$  la reflectividad medida por el radar y cuyo valor queremos transformar, las  $Z_p$  son los valores del perfil medio a las alturas  $h_0$  y  $h$ ,  $N$  es el número de perfiles instantáneos válidos que han contribuido al perfil promedio y  $F$  es el factor de incremento que se debe aplicar a  $Z$  de acuerdo con la ocultación parcial del *pixel*.

Los valores  $Z_p$  se obtienen por interpolación entre los valores del perfil en los niveles contiguos situados a las alturas reales del centro de los elementos del volumen polar que los representan.

En el caso en que se detecte banda brillante en las inmediaciones de la altura  $h_0$ , el valor  $Z_p(h_0)$  se determina de un modo especial, buscando en los niveles contiguos del perfil el primer valor que se considere no situado en la banda brillante. La búsqueda comienza en los niveles inferiores si los hubiese y para ellos el valor será simplemente sustituido. En el caso en que hubiera que recurrir a niveles superiores, el valor será un promedio de ambos para compensar la sobreestimación del punto situado en la banda brillante con la subestimación del punto que mide zonas en que los dispersores están en fase sólida.

Las Figs. 2 muestran los resultados de la corrección sobre una imagen PPI del radar de La Coruña. Aunque en este caso  $h_0$  es cero y  $F$  es uno, a simple vista se puede apreciar una mayor uniformidad en la textura de los colores lo que indica una sensible reducción en la componente dependiente del rango del sesgo de la estimación.

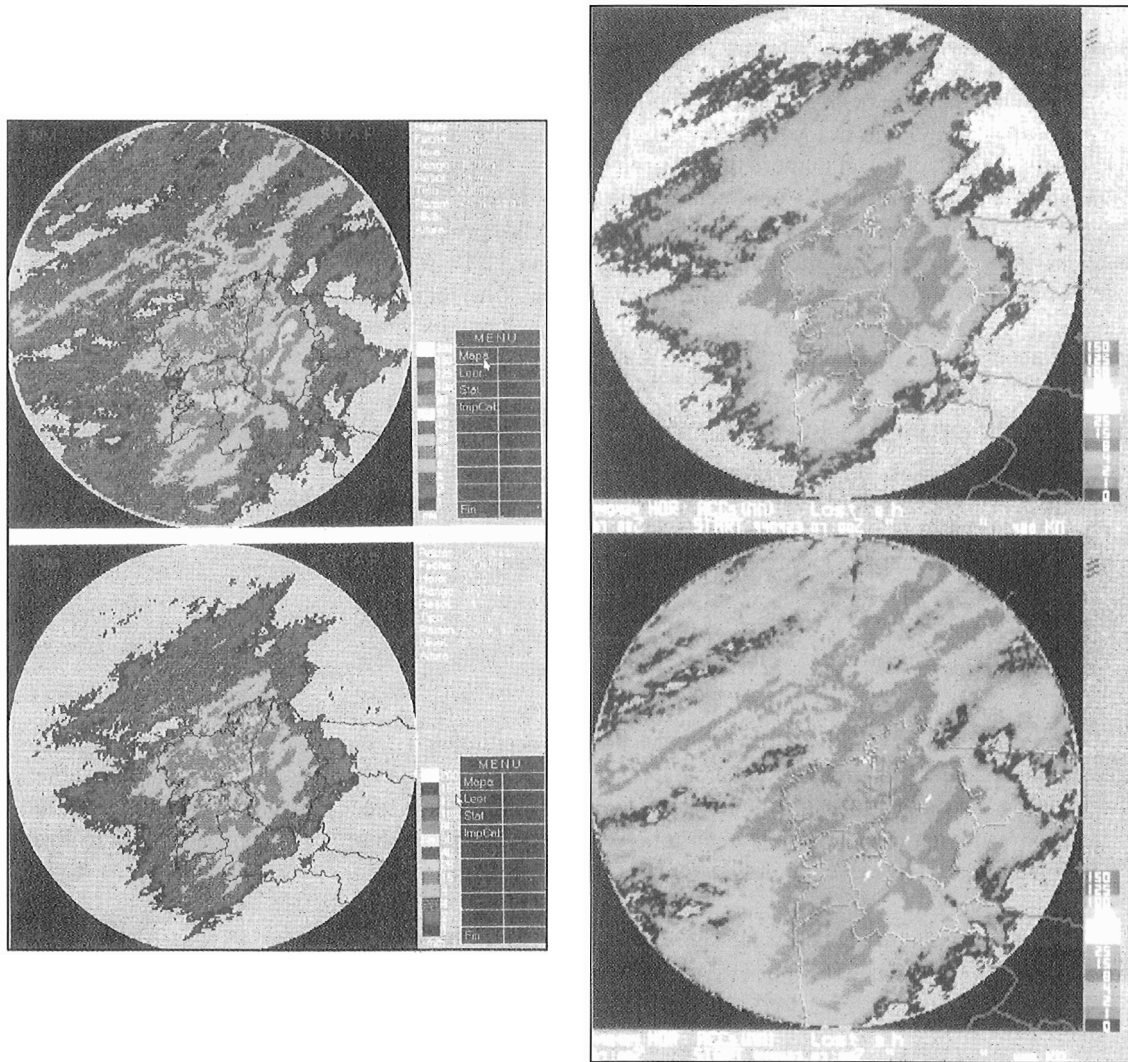


**Figs. 2.** Los PPI original y corregido según el perfil

## 6. Verificación de acumulaciones radar

El nuevo producto obtenido a partir del PPI tiene bastante interés hidrológico puesto que los datos de reflectividad estimados junto al suelo se transforman en datos de intensidad de precipitación aplicándoles una adecuada relación Z/R. Se debe observar además, que el método de cálculo permite elegir una diferente relación Z/R para agua o nieve según que el nivel de la banda brillante se halle o no más alto que el primer nivel del perfil y atacar así una de las principales fuentes de error en las estimaciones radar de precipitación.

Los radares del INM generan numerosos productos de acumulación cuya calidad se tiene que ver mejorada si lo hace el PPI que se utiliza para su cálculo. Para comprobarlo basta fijarse en las Figs. 3 donde se muestra el efecto en una imagen de acumulación diaria obtenida en la situación meteorológica mencionada antes. A simple vista se aprecia una distribución más realista del campo de precipitación.



*Figs. 3. Acumulaciones diarias original y corregida según el perfil*

La verificación cuantitativa se ha realizado sobre esta imagen diaria, utilizando parte del procedimiento de control de calidad descrito por (Aguado y Pérez, 1996).

La Tabla 2 muestra la diferencia en las comparaciones de datos radar R obtenidos de la imagen diaria con y sin corrección con la base verificante de datos pluviométricos P.

*Tabla 2**Control de calidad realizado a las imágenes diarias original y corregida*

Las columnas son respectivamente el número de estaciones con dato emparejado radar (correspondiente al *pixel* situado en la localización geográfica de la estación y con dato equivalente en cuanto al período de acumulación), el número de emparejamientos, las probabilidades de coincidencia total, detección, falsa alarma, eco de tierra y ocultación obtenidas de la tabla de ocurrencias de lluvia definida para valores  $R, P \geq 0,8$  litros, el número de parejas detectadas y las probabilidades de coincidencia total, coincidencias débil, moderada y fuerte para umbrales de lluvia  $UDM = 6,8$  mm,  $UMF = 54,0$  mm para la población de parejas con ambos datos  $\geq 0,8$  mm, el cociente de flujos totales de lluvia medidos por el radar y los pluviómetros y, para la población con  $P \geq 0,5$  y  $R \geq 0,8$ , la inedia y la desviación de la distribución Log R/P y la pendiente y correlación de la regresión LogR, LogP.

Se aprecia una mejora generalizada de todos los indicadores salvo PET y PFA.

Particularmente significativas son la práctica eliminación de la ocultación, la nivelación de los flujos pluviométricos entre ambos sistemas de observación, la mejora drástica en el sesgo de la estimación, y las mejoras sensibles en la dispersión y correlación de los datos.

## 7. Conclusiones

La estimación de la reflectividad en tierra por el procedimiento descrito parece ser una aproximación prometedora para mejorar los datos radar de lluvia. No obstante, conviene señalar que los resultados obtenidos están basados en una sola situación meteorológica obtenida por un radar de banda C, que no se ha tenido en cuenta ni la topografía ni aplicado el término de bloqueo parcial del haz ni, por supuesto, se ha realizado tampoco ningún examen objetivo de la altura del isocero.

Una afirmación más concluyente sobre el procedimiento concreto a emplear debe esperar por tanto al examen de más casos recogidos por éste y otros sistemas de radar.

## Referencias

Aguado, F. y F. Pérez, 1996: *Control de calidad de los datos del Centro Regional Radar- Ses. Póster. IV Simposio Nacional de Predicción. INM.*

Andrieu, H. and J. D. Creutin, 1991: *Effect of the Vertical Profile of Reflectivity on the Rainrate Assessment at Ground Level Preprints, 25th. Int. Conf. on Radar Meteorol. AMS, Boston, pp. 832-835.*

Battan, L. J., 1973: *Radar Observation of the Atmosphere. University of Chicago Press.*

Collier, C. G., 1986: Accuracy of Rainfall Estimates by Radar. Part I: Calibration by Telemetering Raingauges. Part II: Comparison with Raingauge Network. Part III: Application for Short-term Flood Forecasting. *Journal of Hydrol.*, 83 (1986), pp. 207-249.

Divjali, M. Radar Measurement of Precipitation: The Use of Vertical Reflectivity Profiles. 1994, COST/75 Project, Tecn. Report ERBCIPECT-926082/I.

Fabry, F.; G. L. Austin and D. Tees. 1992a. The Accuracy of Rainfall Estimates by Radar as a function of Range. *Quat. Jour. Roy. Meteor. Soc.* 118, pp. 435-453.

Fabry, F.; G. L. Austin and D. Tees. 1992b. Correction for the Vertical Profile of Reflectivity Using a Vertically Pointing Radar. 2nd Int. Symp. on Hydrol. Appl. of Weather Radar. Univ. of Hannover Press. Sept. 1992. Paper K4.

Hudlow, M. D.; R. C. Shedd and A. Peterlin. Preliminary Operational Results and Future Directions for Application of the Next Generation Weather Radar to Hydrologic Forecasting. 2nd Int. Symp. on Hydrol. Appl. of Weather Radar. Univ. of Hannover Press. Sep. 1992. Paper B1.

Joss, J. and A. Waldvogel, 1990: Precipitation Measurement and Hydrology. In *Radar in Meteorology, Atlas, D.* (Ed.), AMS, Boston, pp. 577-606.

Joss, J. R. and R. Lee, 1995: The Application of Radar-Gauge Comparisons to Operational Precipitation Profile Corrections. *Journal of Applied Meteor. AMS.* 1995. Vol. 34 pp. 2612-2630.

Koistinen, J., 1986: The Effect of Some Measurement Errors on Radar-derived Ze-R Relationships. Preprints, 23th Int. Conference on Radar Meteorol., AMS, Boston, JP50, JP53.

Koistinen, J., 1991: Operational Correction of Radar Rainfall Errors due to the Vertical Reflectivity Profile. Preprints, 25th Conference on Radar Meteorol. AMS. pp. 91-94.

Wilson, J. W. and E. A. Brandes, 1979: Radar Measurement of Rainfall. A Summary. *Bull. Amer. Met. Soc.* Vol. 60 No. 9. September 1979.