

# Talajnedvesség térképezés repülőgép-fedélzeti mikrohullámú rádióméterrel

DR. IJJAS GÁBOR

BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék  
Úrkutató Csoport

## 1. Összefoglalás

A Budapesti Műszaki Egyetem Úrkutató Csoportja távérzékelési alkalmazásokra, repülőgép fedélzeti mikrohullámú rádióméter-rendszert fejlesztett ki. A rendszer érzékelői az L-, S-sávú mikrohullámú és a hő-infra rádióméter, amelyek egy Pilátus-Porter repülőgép fedélzetén helyezkednek el. A rendszer fő feladata, nagy területek talajnedvesség-térképének azonnali felvétele 10-50 m-es területi felbontással. A rendszer alkalmazható mezőgazdasági, vízgazdálkodási és környezetvédelmi célokra.

Az adatfeldolgozó programcsomag indiai-magyar együttműködés keretében készült el, a Budapesti Műszaki Egyetem (BME) és az Indian Institute of Technology, Bombay (IIT, Bombay) részvételével.

Jelen cikk részletes leírást tartalmaz az érzékelőkről, az adatkezelő-adatfeldolgozó rendszerről és a rendszerrel végrehajtott terepi és légi mérésekről, melyeket mezőgazdasági területek felett hajtottunk végre 1988-ban, és 1989-ben.

## 2. A fedélzeti mikrohullámú rádióméter-rendszer

A fedélzeti mikrohullámú rádióméter-rendszer (AMRS-Airborne Microwave Radiometer System) blokkvázlata a 2.1. ábrán látható. Az AMRS a légi és a földi egységből áll (Ijjas et al. 1988, Zsámboki et al. 1988.). A légi egység főbb elemei az L-sávú (1,41 GHz), az S-sávú (2,695 GHz) mikrohullámú és a hő-infra (8-14  $\mu\text{m}$ ) rádióméter, valamint a mikroszámítógépes fedélzeti adatgyűjtő rendszer. Továbbá a légi egységet egy telemetria adó és egy kommersz video camcorder egészíti ki.

Az L-, és S-sávú rádióméterek ún. zajinjektált típusúak, karakterisztikájuk lineáris. Az L-, és S-sávú mikrosztrip antennák 3 dB-es nyílásszöge 19.1 illetve 20.7 fok. A hő-infra rádióméter (Everest Interscience, model 112) könnyű, hordozható típus, nyílásszöge a félintenzitású pontok között mérve 3 fok. A hő-infra rádióméter felbontása 0.1 °C, pontossága +/- 0.5 °C. A kvarcórával ellátott kommersz video camcordert a mért adatok területi azonosíthatósága érdekében helyeztük el. A rádióméter-antenna által érzékelt terület a televíziós kamera, valamint a fedélzeten elhelyezett 4 inch képátlójú színes TV monitor segítségével folyamatosan követhető.



DR. IJJAS GÁBOR

1969-ben elvégeztem a Kandó Kálmán Híradásipari Technikumot. Ugyanebben az évben felvételt nyertem a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának nappali tagozatára. 1972-ben fejeztem be egyetemi tanulmányaimat és védtam meg diplomámat a Mikrohullámú Híradástechnika Tanszéken. A diplomatervem témája: „Biharmonikus rf erősítők tervezése”.

1972 óta a BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék Úrkutató Csoportjában dolgozom,

kezdetben tudományos segédmunkatársként, majd később mint tudományos munkatárs. 1978-ban sikeresen védtam meg doktori disszertációm, melynek címe, „L-sávú QPSK adó tervezése 24 Mbit/s adate sebességre”.

Fontosabb kutatási feladataim: műhold rádiotelemetria rendszerének fejlesztése, műholdas adatgyűjtő rendszer fejlesztése, repülőgép fedélzeti mikrohullámú rádióméter rendszer fejlesztése, nagyteljesítményű rádiófrekvenciás erősítők fejlesztése félvezetőikkel, földi műhold vevőállomás fejlesztése, navigációs műholdvevő modul fejlesztése. A kutatási feladatokon kívül a tanszék oktatási munkájában is részt veszek. A kutatási munkáimmal kapcsolatosan 26 cikkem jelent meg 16 előadást tartottam hazai és külföldi konferenciákon, valamint 4 tanulmány elkészítésében vettem részt.

A fedélzeti adatgyűjtőrendszer négy üzemmóddal rendelkezik. Ezek a következők: (1) rádióméter teszt, (2) adatgyűjtés a rádióméterekről, (3) adattovábbítás a rádiócsatornán keresztül (4) adatrögzítés mágnesszalagon és (5) rádióméter kalibráció.

Az AMRS földi egység egy terepjáró gépkocsiban elhelyezett és a következőkben felsorolt főbb elemekből áll: telemetria antenna, telemetria vevő és egy IBM-PC/AT számítógépes munkahely.

Az L-, S-sávú fényességi hőmérsékletek, a hő-infra adatok (TBL, TBS és TH-IR), az idő- és a hely-markerek rögzíthetők akár a fedélzeti adatgyűjtőn akár a földi munkahelyen floppy-lemezen vagy winchesteren.

A talajnedvesség becslésére szolgáló programcsomag a mikrohullámú emisszió értékekből számítja ki a talajnedvesség értékeket a Wang és Schmutge (1980) illetve a Dobson et al. (1985) modellek segítségével. A programcsomag lehetőséget teremt a felszíni érdesség és a növényzet hatásának figyelembevételére. Egy különálló programcsomag segítségével kiszámítható a víz emisszivitása illetve a talaj effektív hőmérséklete.

A talajnedvesség-térkép és a hő-infra térkép nyomtatható, vagy kirajzoltatható az előkészített topográfiai térképre közvetlenül a mérés után.

Az AMRS főbb műszaki adatait a 2.1. táblázat tartalmazza.

2.1. táblázat

Az AMRS főbb műszaki adatai

Rádióméterek és antennák

	L-sávú rádióméter	S-sávú rádióméter
típus:	zajinjektált (NIR)	zajinjektált (NIR)
frekvenciasáv:	1400-1427 MHz ( $\lambda=21\text{cm}$ )	2690-2700 MHz ( $\lambda=11\text{cm}$ )
ant. zajhőmérséklet:	50-300K	50-300K
ant. impedancia:	50 Ohm	50 Ohm
érzékenység:	< 0.3 K ( $\tau=0.7\text{ sec}$ )	<0.5 K ( $\tau=1\text{ sec}$ )
inf. időállandó:	0.07; 0.7; 3.3; 3; 7; sec	0.1; 1; 5; 10 sec
kimenő adatseb.:	110 bit/sec	110 bit/sec
adat interface:	RS 232	RS 232
méret:	250x260x135 mm	250x260x135 mm

	L-sávú antenna	S-sávú antenna
típus	mikrosztrip	mikrosztrip
sávközépi frekv.:	1400 MHz	2695 MHz
nyílásszög (3 dB):	19 fok	21 fok
sávszélesség:	50 MHz	20 MHz
méret:	670x670x17 mm	320x329x7 mm

Hő-infra rádióméter

típus:	Everest Interscience, model 112
hullámhossz:	8 - 14 $\mu\text{m}$
hőmérséklet tart.:	-25... +75 °C
időállandó:	0.5 sec
pontosság:	+/- 0.5 °C

Rádióméter adatgyűjtő rendszer

Üzem módok:	- adatgyűjtés a rádióméterről
	- rádióméter kalibráció
	- rádióméter teszt
	- adattovábbítás a rádiócsatornán
	- adattárolás mágnesszalagon

UHF rádiócsatorna

frekvenciasáv:	400 MHz
moduláció:	digitális, fázis
adatsebesség:	9600 bit/sec
ki/bemenő szintek:	TTL

Adatfeldolgozó program: - talajnedvesség becslésre,  
- talajnedvesség térképezésre,  
- víz feletti kalibrációra

Területi felbontás: 30 m, 100 m-es repülési magasság esetén  
150 m, 500 m-es repülési magasság esetén

### 3. Az alkalmazott elméleti modellek

Az AMRS-el mért adatok kiértékelésére több elméleti modellt alkalmaztunk.

Wang és Schmutge (1980) empirikus, valamint a Dobson et al. (1985) „négykomponensű” modellt használtuk a nedves talaj dielektromos állandójának meghatározására. Tapasztalataink szerint a két modellel számított talajnedvesség értékek csak kismértékben

térnek el egymástól valós talajnedvesség értékek esetén.

A TB értékek kiszámítására az egyszerű Fresnel egyenletet használtuk homogén mélységi eloszlású talajnedvesség esetén. Nem homogén mélységi eloszlású talajnedvesség esetén a Wilheit (1978) koherens modellt alkalmaztuk.

A talaj felszíni érdesség mikrohullámú emisszióra gyakorolt hatását Mo és Schmutge (1978) modelljével vettük figyelembe, ahol az effektív magasság-változás ( $a$ ) és a korrelációs hossz ( $l$ ) a paraméter. A talaj effektív hőmérséklete ( $T_{\text{eff}}$ ) a TB kiszámításához szükséges, a  $T_{\text{eff}}$  talaj felszín hőmérsékletéből a Choudhury et al. (1982) modellel számítható.

Növényzettel borított talajfelszín esetén a csupasz, sima talajfelszín emisszivitása a Jackson et al. (1982) egyenletekből nyerhető.

### 4. Grafikus térképező programcsomag

A talajnedvesség értékek, topográfiai térképen történő grafikus megjelenítésére a népszerű AutoCAD programot használtuk. A digitalizált topográfiai térkép, a színes talajnedvesség és hő-infra térkép az AutoCAD segítségével jeleníthető meg. A TB és a TH-IR adatok, valamint az „a priori” adatok alapján kiszámított talajnedvesség értékeket egy ún. „talajnedvesség file”-ban tároljuk. A talajnedvesség térkép megjelenítéséhez a talajnedvesség tartományokhoz (pl. 0-5%, 5-10%..etc.), illetve a infra-hőmérséklet tartományokhoz (pl. 283-288, 288-293 K...etc) színekkel rendelünk. Az adatfeldolgozás során két DXF file-t generálunk, melyek közül az egyik a színekkel kódolt talajnedvesség értékeket, a másik pedig a színekkel kódolt talajfelszín hőmérséklet értékeket tartalmazza. Mindkét file az AutoCAD segítségével megjeleníthető a nagyfelbontású színes monitoron, vagy kirajzolható az előre elkészített topográfiai térképre színes pen-plotter segítségével.

Az azonnali térképfelvételnél feltételezzük, hogy a légi navigáció tökéletes és nincs különbség a tervezett és a megvalósított repülési vonalak között. Ez a gyakorlatban megvalósíthatatlan, ezért szükség esetén geometriai korrekciót hajtunk végre a mérés végrehajtása után a mérés alatt rögzített videofilm segítségével.

### 5. Kísérleti eredmények

Az AMRS műszeregyüttessel több terepi és légi mérést hajtottunk végre 1988-ban és 1989-ben.

#### 5.1. L-sávú mikrohullámú rádióméterrel Dunaremete térségében végrehajtott légi mérés

1988 októberében kísérleti légi mérést végeztünk Dunaremetéhez közel (G. Ijjas és Y. S. Rao 1989), erdővel, vízzel borított valamint füves és mezőgazdasági területek felett. A kísérleti mérés fő célja a rendszer műszaki paramétereinek ellenőrzése, valamint a rend-

szer működésének vizsgálata különböző emisszivitású felszíni objektumok esetén. A gyűjtött adatok alapján, a Wang és Schmutge (1980), a Dobson et al. (1985) és az O'Neill (1985) modellek alkalmazásával, a talajnedvesség becslést végeztünk. A becsült talajnedvesség értékeket összehasonlítottuk a korlátozott számú földi referencia adattal. A becsült talajnedvesség értékek és a földi referencia adatok jól korreláltak egymással (Ijjas és Rao. Y. S. 1989).

A 4x1 km-es területről 100 m-es repülési magasságból készült, hat repülési vonal adatait és a 200 m-es repülési magasságból készült ugyancsak hat repülési vonal adatait szinkódolt formában Dunaremete topográfiai térképén ábrázoltuk.

### 5.2. Terepi mérések állványos L-, S-sávú mikrohullámú és hő-infra rádióméterrel

1989 júliusában, Budapesthez közel, Pomázon egy mérősorozatot hajtottunk végre (Y. S. Rao 1989).

Ezen mérések fő célja az L-, S-sávú rádióméterek tesztelése, valamint a talajnedvesség-becslésre alkalmazott modellek pontosságának ellenőrzése, különböző felszíni talajnedvesség értékek esetén. Tervbe vettük, két különböző (L, S) frekvencia segítségével történő, a talaj mélyebb rétegeinek talajnedvesség-becslését is. A méréseket az L-, S-sávú mikrohullámú, a hő-infra rádióméterrel és a videokamerával végeztük. A mikrohullámú mérésekkel egyidejűleg gyűjtött talajminták nedvességét a VITUKI szakemberei gravimetrikus módszerrel meghatározták és mérték a talajhőmérséklet profilt az egyes teszt-területeken.

Négy teszt-területet alakítottunk ki a kísérleti mérősorozathoz, a pomázi termelőszövetkezet területén. A teszt-területeket különböző mértékben öntöttük be és a talajfelszínt úgy munkáltuk meg, hogy felszínük különböző érdességű legyen. A kísérleti TB értékeket a Wilheit (1978) modell alapján számított elméleti TB értékekkel hasonlítottuk össze, amint az az 5.2. (a) táblázatban látható. A dielektromos állandó kiszámítását mind a Wang és Schmutge (1980) dielektromos modellel mind pedig a Dobson et al. (1985) modellel elvégeztük. A mért és a becsült talajnedvesség értékeket összehasonlítottuk különböző antenna irányzögeknel ahogy az 5.2.(b) táblázatban látható.

Ezek a táblázatok a 2. számú teszt terület mérési eredményeit mutatják „nedves” állapotban. A talajnedvesség-becslés jó korrelációt mutat a gravimetrikus módszerrel mért talajnedvesség értékekkel, különösen sima és csupasz felszín esetén az L-sávban. Az S-sávban egy légi-forgalmi radar működése zavarta a rádiómétert, amely mintegy „előfeszítve” a rádiómétert mindig nagyobb emisszió értéket eredményezett a reális értéknél.

5.2(b) táblázat

A becsült talajnedvesség értékek és eltérések a mért talajnedvesség értékektől, a fenti táblázat adatainak megfelelően

fok	mért SM [térf%]	becsült SM [térf%] Dobson et al.		SM eltérés [Térf%]	
		L	S	L	S
0	31.2	31.0	24.1	0.2	7.1
5	31.2	30.2	23.2	1.0	8.0
10	31.2	31.6	22.8	-0.4	8.4
20	31.2	32.6	24.4	-1.4	6.8

### 5.3 Lipóti légi mérés az L-, S-sávú és hő-infra sávú rádióméterekkel

1989 októberében Magyarország észak-nyugati részén Lipót térségében légi mérősorozatot hajtottunk végre a rádióméterek víz felszín feletti kalibrációját követően.

A mérősorozat fő célja az AMRS műszaki paramétereinek ellenőrzése, minden lehetséges üzemmódban, valamint talajnedvesség illetve hő-infra térkép azonnali felvétele a mért mezőgazdasági területről. A becsült talajnedvesség értékeket összehasonlítottuk a gravimetrikus módszerrel végrehajtott földi referenciamérések eredményeivel.

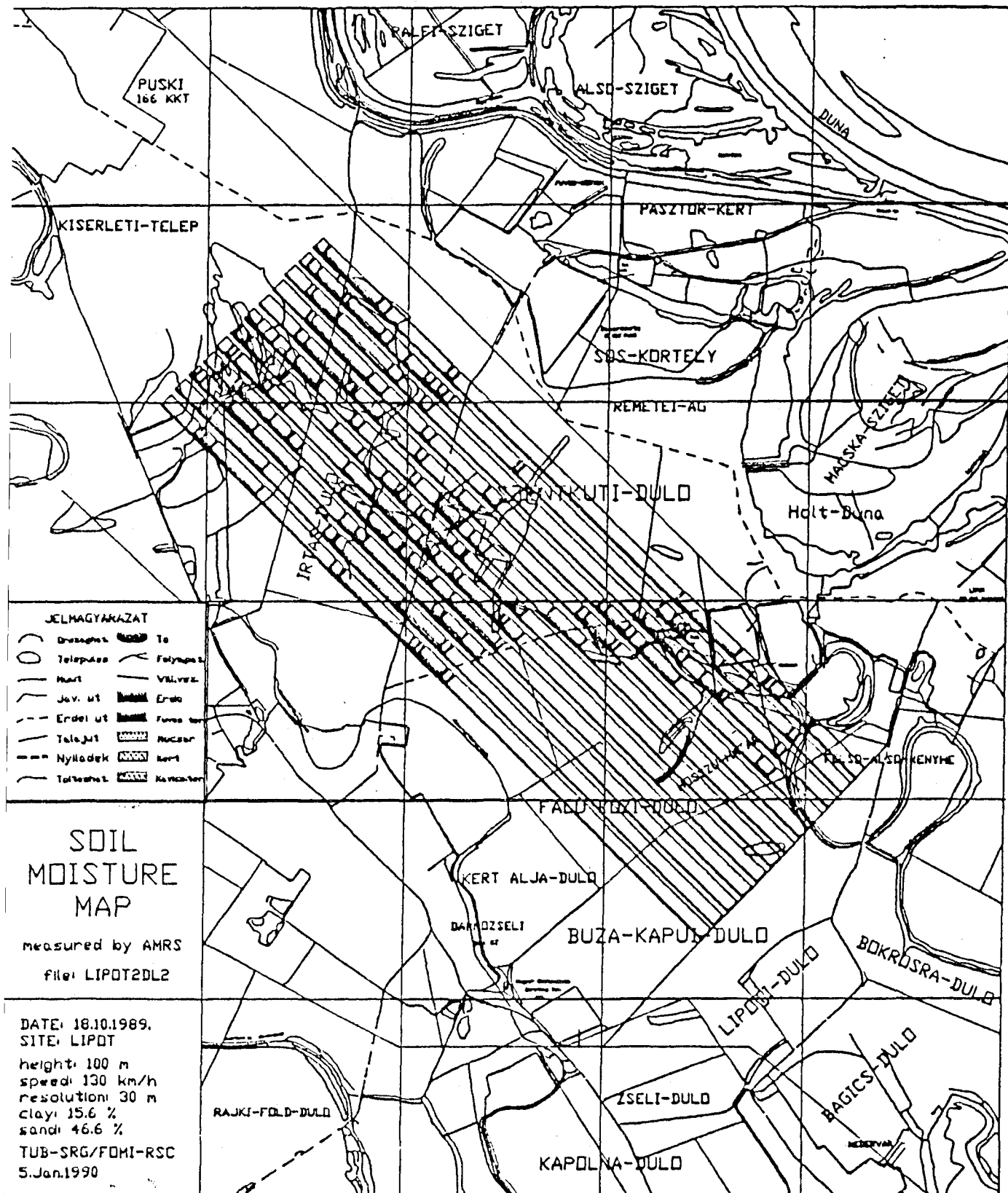
A mérések eredményeképpen kapott, geometriai korrekció nélküli talajnedvesség térképet láthatjuk az 5.3.1.ábrán. A video camcorderrel készült videofelvétel segítségével geometriai korrekciót hajtottunk végre, amelynek eredményeképpen kismértékben el kellett tolni az egyes repülési vonalakat.

Összehasonlítva a becsült talajnedvesség értékeket a mért értékekkel, jó korrelációt kaptunk a leülepedett

5.2.(a) táblázat

Mért és számított TB értékek, a nedves állapotú 2. teszt területre (1989. július 12.)

fok TH-IR [K]	mért TB [K]		számított TB [K]				különbség a mért és a számított érték között TB [K]	
			Dobson et al.		Wang & Schmutge			
	L	S	L	S	L	S	L	S
0 300.2	187.3	206.3	179.8	183.8	177.4	182.2	7.5	22.5
5 299.8	188.8	208.1	179.3	183.4	177.0	181.8	9.5	24.7
10 299.0	184.4	208.1	178.1	182.0	175.7	180.6	6.3	26.1
20 299.8	177.2	198.7	172.9	177.1	170.6	175.6	4.3	21.6

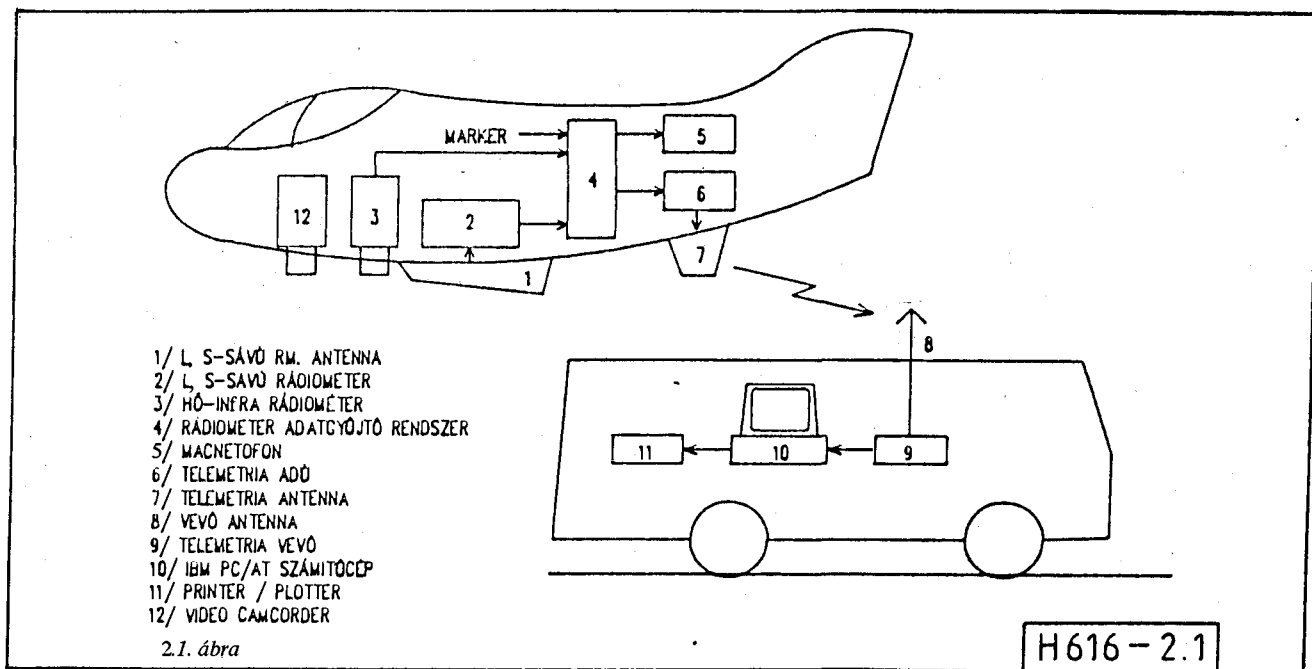


területeken, viszont nagyobb eltérést tapasztaltunk a szántott, durva felszíni területek esetén.

A mikrohullámú mérés végrehajtása után mozaik

5.3.1. ábra

H616-5.3.1



légi felvételt készítettünk 800 m-es magasságból, 6x6 cm-es Hasselblad fényképezőgép segítségével, a mért adatok későbbi kiértékelése érdekében.

#### Következtetések

A cikkben leírt AMRS az adatfeldolgozó programcsomaggal együtt, nagy területek talajnedvesség térképének felvételére alkalmas és hatékony eszközként alkalmazható a mezőgazdaságban, a vízgazdálkodásban és a környezetvédelemben. Az AMRS az adatgyűjtés után azonnal szolgáltatja a talajnedvesség térképet, a területi felbontása 10–50 m (repülési magasságtól függően), a rendszer teljesítőképessége 10–100 km<sup>2</sup>/h.

A fenti kutató-fejlesztő munka az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, az MTA Interkozmosz Tanácsa és a Mezőgazdasági és Élelmiszerügyi Minisztérium anyagi támogatásával készült. A FOMI távérzékelési Intézet koordinátorként és jövőbeni üzemeltetőként alakította ki az együttműködést a BME Mikrohullámú Híradástechnika Tanszék Úrkutató Csoportjával.

#### Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki Zsámboki S., Szalai P., Fekete J., dr. Remetey F. G., dr. Gschwindt A., dr. Bozsóki I., dr. K. S. Rao, dr. Szász G., Winkler P.-nek, a bátorításáért, valamint a kutatómunkához szükséges eszközök és feltételek biztosításáért. Ugyancsak dr. T. J. Jackson-nak a hasznos tanácsokért. Köszönetemet fejezem ki a kutatási-fejlesztési munkában közvetlenül részt vevő, a következőkben felsorolt kollégáknak; Aujeszky L., Bánfalvi A., Hídvégi T., Horváth L., Hörcher F., Kádár O., Kertész J., dr. Major P., Mernyei F., Nelhübel T., Y. S. Rao, dr. Rieger I., Rudi Zs., Szabó J., Völgyi F.

- [1] Choudhury, B. J., Schmugge, T. J. and Mo. T. (1982) A parameterisation of effective soil temperatures for microwave emission. *J. Geophys. Res.*, 87, 1301-1304.
- [2] Dobson, M. C., Ulaby, F. T., Hallikainen, M. T. and El-Rayes, Ma. A. (1985) Microwave dielectric behavior of wet soil - Part II: dielectric models, *IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing*, GE-23: 35-46.
- [3] Ijjas G., Juhász I., Zilahy P. (1988), Airborne microwave equipment for soil moisture investigation. Specialist Meeting on Microwave Radiometry and Remote Sensing Applications, 9-11 March 1988. Florence, Italy
- [4] Ijjas G. and Rao Y. S., (1989) Microwave remote sensing of soil moisture in Hungary, communicated to *Int. J. Remote Sensing*.
- [5] Jackson T. J., Schmugge T. J., and Wang J. R., (1982), Passive microwave remote sensing of soil moisture under vegetation canopies. *Water Res. Res.*, 18, 1137-1142.
- [6] Mo, T., Schmugge T. J., (1987), A parametrisation of the effect of surface roughness on microwave emission, 25, 481-486.
- [7] O'Neill P. E., (1985), Microwave remote sensing of soil moisture: a comparison of results from different truck and aircraft platforms, *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1125-1134.
- [8] Rao Y. S., (1989), Remote sensing of soil moisture using truck mounted L, S microwave and thermal band radiometers. Internal report on research.
- [9] Zsámboki S., Bozsóki I., Remetey F. G., Rao K. S., Ijjas G., (1988), Microwave remote sensing programme for agriculture at Hungary. Aims and present results. Conf. of International Soil Science Society, Budapest, 11-15. April. 1988. proc. 245-253.
- [10] Wang J. R. and Schmugge T. J., (1980), An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, GE-18: 288-293.
- [11] Wilheit T. T. (1978), Radiative transfer in plane stratified dielectric. *IEEE Trans. Geosci. Elect.* GE-16: 138-143.