

IDŐJÁRÁS

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA
92. ÉVF. * 6. SZÁM * 1988. NOVEMBER—DECEMBER

TARTALOM

<i>Klaić, Z. – Lisac, I.:</i> A csapadékvíz hosszú távú savasodása Észak-nyugat Horvátországban (angol nyelven)	313
<i>Möller, D. – Horváth, L.:</i> A csapadékvíz természetes savassága globális léptékben (angol nyelven)	324
<i>Horváth László:</i> A nitrogénvegyületek légköri mérlege Magyarországon (angol nyelven)	336
<i>Bozó László:</i> A magyarországi kénmérleg újabb értékelése (angol nyelven)	342
<i>Saikó János:</i> Az ionoszféra-rétegek naptevékenységgel kapcsolatos változásai .	348
<i>Zsoldos Erzsébet:</i> A szélmaximum szintje Budapest fölött	357
<i>Farkasné Takács Olga:</i> A Nap sugárzó energiájának gyengülése a légkörben	365
<i>Krónika</i>	372

CONTENTS

<i>Klaić, Z. – Lisac, I.:</i> On the long-term acidification of precipitation collected in the NW of Croatia (in English)	313
<i>Möller, D. – Horváth, L.:</i> Estimation on the natural acidity of precipitation water on global scale (in English)	324
<i>Horváth, L.:</i> The atmospheric budget of nitrogen compounds in Hungary (in English)	336
<i>Bozó, L.:</i> A new evaluation of the atmospheric sulfur budget over Hungary (in English)	342
<i>Saikó, J.:</i> Variations of the ionosphere related to solar activity	348
<i>Zsoldos, E.:</i> The level of the wind maximum over Budapest	357
<i>F. Takács, O.:</i> Decline of the sun's radiation energy in the atmosphere	365
<i>Chronicle</i>	372

JOURNAL OF THE HUNGARIAN METEOROLOGICAL SERVICE

VOL. 92. * NO 6 * NOV—DEC 1988 * BUDAPEST

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata
Journal of the Hungarian Meteorological Service

Felelős szerkesztő – Editor-in-Chief

MÉSZÁROS ERNŐ

Központi Léggörfizikai Intézet

1675 Budapest Pf. 39.

Telefon: 585-711

SZERKESZTŐBIZOTTSÁG – EDITORIAL BOARD

AMBRÓZY P. (Budapest)

ANTAL E. (Budapest)

BENGTSSON, L. (Reading)

BÖHME, W. (Potsdam)

BUDYKO, M. I. (Leningrad)

CZELNAI, R. (Geneva)

FISHER, B. (Leatherhead)

GEORGII, H. – W. (Frankfurt a. M.)

GÖTZ G. (Budapest)

GULYÁS O. (Budapest)

HAMAN, K. (Warsaw)

HUSAR, R. (St. Louis, Missouri)

KAPOVITS A. (Budapest)

KONDRATYEV, K. YA. (Leningrad)

MAJOR GY. (Budapest)

MESINGER, F. (Beograd)

MILOSHEV, G. (Sofia)

PRÁGER T. (Budapest)

PRUPPACHER, H. R. (Mainz)

RÁKÓCZI F. (Budapest)

RENOUX, A. (Paris-Créteil)

ŠAMAJ, F. (Bratislava)

SPÄNKUCH, D. (Potsdam)

STAROSOLSZKY Ö. (Budapest)

SZEPESI D. (Budapest)

TAYLOR, F. W. (Oxford)

TÄNCZER T. (Budapest)

VARGA-HASZONITS Z. (Budapest)

VITEK, V. (Praha)

WHELPDALE, D. M. (Downsview, Ont.)

WIRTH E. (Pécs)

ZAHARIJEV, V. (Sofia)

Műszaki szerkesztő – Technical Editor

SZABÓ ÉVA

Szerkesztőség: 1525 Budapest, Postafiók 38

Előfizetés: 1 évre 744 Ft. Megrendelhető: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Pénzügyi Osztályán
1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1. Levélcím: 1525 Budapest, Pf. 38. Megjelenik kéthavonként.

Egyes szám ára: 124 Ft

Editorial Office: H – 1525 Budapest P. O. B. 38. This journal, published bimonthly, can be purchased
from the distributor: KULTURA, H – 1389 Budapest, P. O. B. 149
The actual subscription rate is determined by the distributor

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 92. évf. 6. szám. 1988. november – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 92 No 6 Nov – Dec 1988. Budapest

On the long-term acidification of precipitation collected in the NW of Croatia

Z. KLAÍĆ and I. LISAC

*Geophysical Institute, University of Zagreb,
Horvatovac bb. POB 224. 41000 Zagreb, Yugoslavia*

The pH values of daily precipitation samples collected during the 1969/85 period at two stations in north-western part of Croatia were analysed to estimate the rate of long-term acidification in this area. One sampling station situated in the city center of Zagreb, and the other on the nearby mountain top, represent the urban and the natural environment. The horizontal distance between the stations is about 10 km, and the difference in altitude is about 800 m. A trend toward a higher precipitation acidity since early 70-ies has been found at both stations, especially on the mountain top. Sector analysis of the air trajectories provided the first estimation on the importance of the long-range transport of acidification-causing pollutants toward NW Croatia. The analysis showed that the NW and SW sector related to the highest and the lowest acidity, respectively. One episodic case of highly acidic precipitation is illustrated by a 4-days backward 925 hPa air trajectory.

*

A csapadékvíz hosszútávú savasodása Északnyugat-Horvátországban. A szerzők az 1969/85 közötti periódusban, Északnyugat-Horvátország két állomásán gyűjtött napi csapadékminták pH-értékeit analizálták, a célból, hogy a hosszútávú savasodás mértékét megállapíthassák. Az egyik mintavételi hely, mely Zágráb város közepén található, a városi környezetet, míg a másik mely a közeli hegytetőn helyezkedik el, a természetes környezetet képviseli. A két állomás közti vízszintes irányú távolság kb. 10 km, a magasságkülönbség mintegy 800 m. A 70-es évek elejétől kezdve a csapadékvíz pH-ja a savas irányba tolódott, különösen a hegyvidéki állomáson. A légpályák szektoranalízise lehetővé tette, hogy első közelítésben rámutassanak a savasodást okozó szennyezőanyagok nagyléptékű terjedésére Északnyugat-Horvátország felé. Az analízis alapján az északnyugati irány felel meg a legnagyobb, míg a délnyugati a legalacsonyabb savasságnak. Egy erősen savas csapadék epizód jelenségét is bemutatják egy 925 hPa-os 4 napra visszszámolt trajektória segítségével.

1. Introduction

Due to the carbon dioxide, permanently present in the atmosphere, precipitation is naturally slightly acidic. However, there are some other substances which can also affect acidity, (e.g. atmospheric sulphur compounds of natural origin). It has been suggested that the so-called neutral point of atmospheric

waters due to CO_2 absorption is at a pH value of 5.6 (Junge, 1963). Recently, Galloway *et al.* (1982) estimated that the lowest limit of natural precipitation should be $\text{pH} = 5.0$. Precipitation samples with $\text{pH} < 4.0$ should be considered as strong acid samples.

Several authors pointed out that increased acidity in precipitation, recorded in many areas during the last few decades in the Northern Hemisphere, is directly related to an increase of fossil fuel combustion, i.e. to increased anthropogenic sulphur and nitrogen emissions. Total European emissions of sulphur

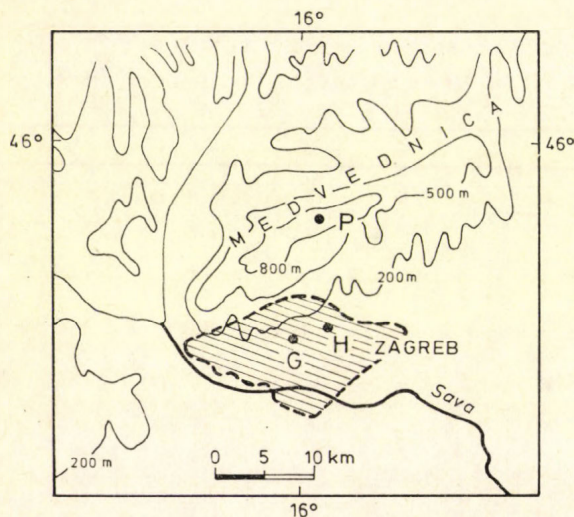


Fig. 1. Sampling sites Grič (G), Puntijarka (P) and Horvatovac (H).

dioxide (SO_2) for instance, doubled between 1950 and 1980 (*U. K. Review Group on Acid Rain*, 1983). According to several surveys, the order of magnitude of European emissions of SO_2 (excluding Greece, Iceland, Portugal and European part of Soviet Union) estimated for the time period between the 1972–1980, is $3.5 - 4.0 \cdot 10^7$ tons of SO_2 per year (Fisher, 1975; Eliassen *et al.*, 1982; Lehmann *et al.*, 1986).

The relative contribution of the sulphur and nitrogen compounds to the total precipitation acidity is still not completely known. Several authors studied the contribution of sulphuric and nitric acids to rainfall acidity. Galloway and Likens (1981) estimated from the precipitation samples collected in the NE of United States, that the maximum contribution of sulphuric acid in summer and winter samples could be up to 73% and 59%, respectively. The corresponding figures for nitric acid are 31% and 61%. On the other hand, for Northern Britain Fowler *et al.* (1982) estimated that the maximum contribution of nitric acid to average precipitation acidity could be up to 38%, while total acidity could originate from sulphuric acid only. This means that the major part of the total acidity is controlled by sulphuric acid. However, ApSimon *et al.* (1987) suggest that ammonia (NH_3) also plays an important part in the control of precipitation acidification. The presence of NH_3 can increase the oxidation rate of SO_2 to SO_4^{2-} in the cloud, and can therefore induce high concentrations of S in precipitation. The reduction in emissions of sulphur will thus not necessarily lead

to proportional reductions in deposition. The same authors also estimate a 50% increase in NH_3 emissions over Europe between 1950 and 1980 (from $2.35 \cdot 10^6$ to $3.45 \cdot 10^6$ tons per year).

The influence of increased acid-causing pollutant emissions during the last several decades is revealed by the 17-year time series of pH data measured at two nearby stations situated in the NW of Croatia (Fig. 1). Some results of the statistical analysis of these data have already been presented (Lisac, 1986; Lisac and Klaić, 1986). The results show a trend toward more acid pH

TABLE 1.

Yearly precipitation amounts at Puntijarka (PP) and Grič (PG) during the period 1969–1985. TP and TG represent the relative precipitation amounts for Puntijarka and Grič, in which pH measurements were made within 3 days after sampling

Year	PP (mm)	TP(x)	PG (mm)	TG (%)
1969	1 387.0	29.8	952.4	56.3
1970	1 322.0	20.9	1 031.4	44.9
1971	942.0	13.4	615.8	37.0
1972	1 554.0	18.5	1 061.8	52.2
1973	1 012.0	83.7	607.0	51.2
1974	1 439.0	31.8	1 085.0	55.6
1975	983.0	86.8	745.4	59.0
1976	1 293.0	89.6	877.3	56.7
1977	1 257.0	83.8	956.7	53.4
1978	1 142.0	88.7	780.6	39.2
1979	1 387.0	64.8	915.2	59.5
1980	1 392.0	71.9	979.0	52.3
1981	1 374.0	—	899.3	11.9
1982	1 278.0	13.2	799.0	49.7
1983	1 083.0	1.6	724.0	24.9
1984	1 339.0	6.5	938.0	25.3
1985	1 201.0	1.9	858.8	54.9
tot.	21 385.0	40.6	14 825.9	46.1

values on both stations. In the late 60-ies the samples are more or less naturally acid and it seems that the acidification process started in the early 70-ies, which is about one decade later than in NW and W Europe. Some comparison showed that during the 1969–1985 period the acidification of precipitation samples was less intensive than it was when it started in West European countries (Lisac, 1986). This paper is the continuation of these preliminary studies. It contains the results obtained by sector analysis with an aim to estimate the origin of precipitation acidification in NW Croatia.

2. Measuring sites and data

Fig. 1 illustrates the positions of the sampling sites:

1. Zagreb Grič Observatory ($45^{\circ}49' \text{ N}$, $15^{\circ}59' \text{ E}$, $h = 158.5 \text{ m}$) situated in the city centre, pH measurements during the 1969–1985 period.

2. Puntijarka Observatory (45°54' N, 15°58' E, h = 988 m) situated on one of the tops of the Medvednica mountain, about 10 km far from the city centre of Zagreb, pH measurements during the 1969–1985 period.

3. Horvatovac, Geophysical Institute (45°50' N, 16°00' E, h = 178 m), situated in a green area, pH measurements from 1983 until today (temporary).

During the first 11 years the pH measurements, based on daily precipitation samples taken at 06 GMT, were regular. Later, the observations became temporary, owing to the limited technical conditions. The reading on the scale of the pH-meter was done with an accuracy of 0.05, after the stabilization of the instrument (1–3 minutes after the electrodes were put into the sample). The pH-meter (Iskra-Kranj) used was equipped with a glass and a calomel electrode as well as by a portable transistor. In most samples the pH measurements were taken within the first 3 days after the collection. If the pH value was measured on the day of collection, the sample was considered as a "fresh" one. The precipitation amounts on sampling sites were available on daily bases.

TABLE 2.

Mean monthly precipitation amounts at Puntijarka (PP) and Grič (PG) during the period 1969/85. TP and TG represent the relative precipitation amounts for Puntijarka and Grič, calculated for the samples in which pH was measured on the day of sampling

Month	PP (mm)	TP (%)	PG (mm)	TG (%)
1	79.8	19.4	56.9	16.3
2	76.4	15.6	49.0	22.2
3	101.1	19.3	62.1	25.1
4	104.4	18.8	64.0	29.1
5	109.1	28.4	87.8	20.5
6	137.3	21.8	96.0	29.5
7	112.4	28.2	84.3	28.6
8	122.4	22.5	94.0	12.6
9	99.7	23.3	76.1	15.7
10	99.0	33.7	77.1	24.0
11	113.1	23.2	78.0	24.3
12	103.4	16.0	63.3	10.4
total	21 385.0	22.7	14 825.9	21.6

3. Analysis methods

The data selection. Most of the statistical evaluations presented here were made by using the pH data measured up to 3 days after the sampling. The monthly means were calculated only from the fresh samples. The results obtained in this way were compared with the earlier ones obtained by using the data for all the samples. *Tables 1 and 2* illustrate the relative precipitation amounts, in which pH measurements were made, expressed in percentage of precipitation totals. Data are tabulated for the samples up to 3 days old and for the fresh samples, respectively.

It should be noted that in the sector analysis only pH values of fresh precipitation samples were used. Such a rigorous selection of the data makes the pollutant transport estimation as reliable as possible.

Average weighted acidity, hydrogen ion concentration and wet deposition. The average weighted acidity, hydrogen ion concentration and acid wet deposition were calculated using the following formulae:

$$\overline{pH} = -\log([\overline{H^+}])$$

$$[\overline{H^+}] = \frac{\sum [H^+]_i P_i}{\sum P_i} = \frac{\sum 10^{-pH_i} P_i}{\sum P_i}$$

$$\text{wet dep} = [\overline{H^+}] P$$

where P_i , pH_i and $[H^+]_i$ are the precipitation amount, the pH value and the hydrogen ion concentration of the i -th sample, respectively, while, P and $[\overline{H^+}]$ represent the total precipitation amount and the average weighted hydrogen ion concentration for the period considered in wet deposition calculation.

Sector analysis. The pH values of fresh samples (measured during the period of 1972–1985, and the corresponding hydrogen ion concentrations were grouped into sectors according to the direction of air trajectories to determine the origin of air masses arriving at the sampling site (OECD, 1979). The following assumptions were used:

- SO_2 plays an important role in precipitation acidification;
- most of the long range transport of sulphur takes place in the lowest 2 km of atmosphere (OECD, 1979);

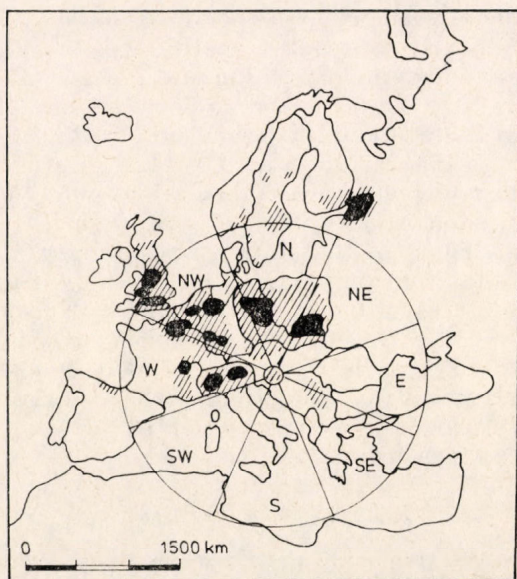


Fig. 2. Sectors around Puntijarka. The dashed and blacked area represent main SO_2 emission sources in Central Europe (arcoding to Nordo et al., 1974). Note: black areas give territories with the highest emission.

— SO_2 concentration of an air column is caused only by sulphur emitted during the last 48 hours (*Eliassen and Saltbones, 1975*).

Two days backward 850 hPa air trajectories arriving at Puntijarka were used to illustrate the mean acidification of precipitation caused by remote emission sources.

Trajectories arriving four times a day (06, 12, 18, 00 GMT) were calculated using the Pettersen's method, as described in the OECD (Organisation for

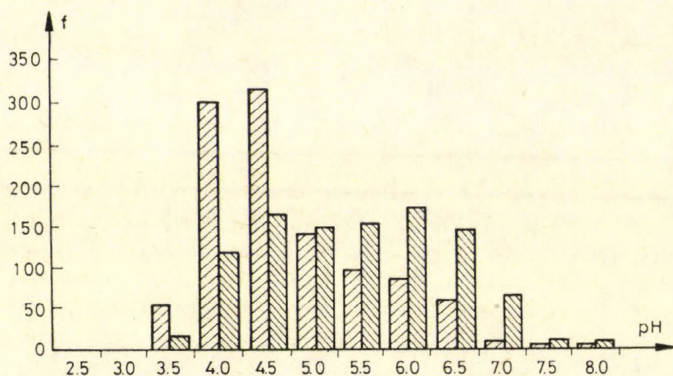


Fig. 3. Absolute frequency distributions (f) of pH values of daily precipitation samples in which pH measurement was carried out within the first 3 days after sampling at Puntijarka (left columns) and Grič (right columns) during the period 1969–1985.

Economic Co-operation Development) programme (*OECD, 1979*). Trajectories were calculated for 6-hourly intervals 2-hourly steps using EMEP (European Monitoring Evaluation Programme) 150 km grid (*Eliassen and Saltbones, 1983*). Eight azimuth sectors were defined, each 45 degrees wide. The first sector had the symmetry axis in N direction, the second in NE direction, etc. Inner and outer radius of each sector was 150 and 1500 km, respectively, as shown in *Fig. 2*, which also illustrates the main SO_2 emission sources in NW and Central Europe according to *Nordo et al., (1974)*. If more than half of the points (calculated for each two hours) of the trajectories, arriving at 12 and 18 GMT on the previous day and at 00 and 06 GMT on the day considered, were within a certain sector, it was assumed that the measured pH value and the corresponding hydrogen ion concentration were controlled by sources located in this sector. If this was not the case, the data were formally grouped in the g^{th} sector (*EMEP, 1984*), which means that the origin of the air mass is unknown. After the described classification, the average weighted pH and $[\text{H}^+]$ values were calculated for each sector separately.

4. Results and discussion

Fig. 3 illustrates the frequency distributions of pH values of the samples up to 3 days old for Grič and Puntijarka, respectively. The unimodal distribution on the mountain top has the maximum in the acid part of the pH scale (4.5–5.0). In the city centre the frequency distribution tends to be bimodal,

having two equally and not especially expressed maxima. One of them is in the acid part (4.5–5.0) and the other is situated close to the neutral part of the pH scale (6.0–6.5). The same character of the pH frequency distribution is valid for both stations (*Lisac and Klaić, 1986*) also when all the samples were taken into account. According to the previous results the described characteristics of the frequency distribution on Puntijarka remain independent of seasons, as opposed to Grič, where seasonal influence cannot be neglected.

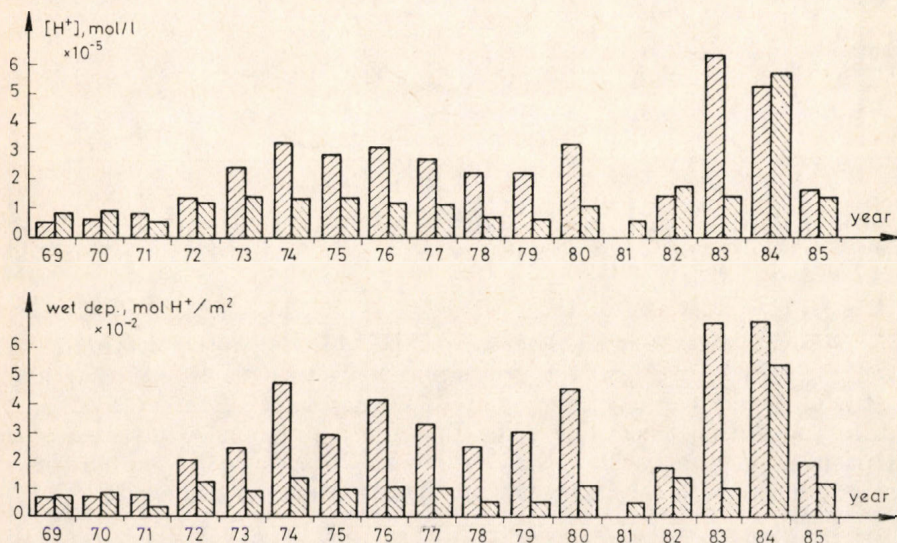


Fig. 4. Mean hydrogen ion concentrations $[H^+]$ in daily precipitation samples and annual wet depositions calculated from the samples in which pH measurement was carried out within the first 3 days after sampling in the period 1969–1985. Left and right columns represent Puntijarka and Grič, respectively.

The mean pH value at Puntijarka is 4.59 (which corresponds to $2.55 \cdot 10^{-5}$ moles H^+ per litre), while at Grič it is 4.93 ($1.19 \cdot 10^{-5}$ moles H^+ /l). These values do not differ significantly from the values obtained for all the samples (4.62 and 4.94, respectively). The figures show that the mean hydrogen ion concentration at Puntijarka is about 10 times higher than it should be, as compared to the pH = 5.6, while at Grič it is about 5 times higher.

Fig. 4 illustrates annual hydrogen ion concentrations and corresponding wet depositions on both stations during the 1969–1985 period. The trend toward the higher acidity is found at both stations, especially on mountain top, where it is confirmed by the Spearman rank test (significance at the 5% level). The increase of precipitation acidity is found at the middle of the 70-ies. The trend lowered at the end of 70-es and increased after 1979 again. However, calculations for the years after 1980, are based on a smaller number of samples, and are therefore less reliable, especially for Puntijarka (Tab. 1).

The constantly higher level of $[H^+]$ in precipitation on the mountain top compared to the values on the urban area, persisted during the whole 17-year

period, but there was no other chemical analysis available, to discuss it any further. The difference between the two stations is even more pronounced in wet deposition values, since they are also affected by precipitation amounts, always increasing with the altitude above the sea level.

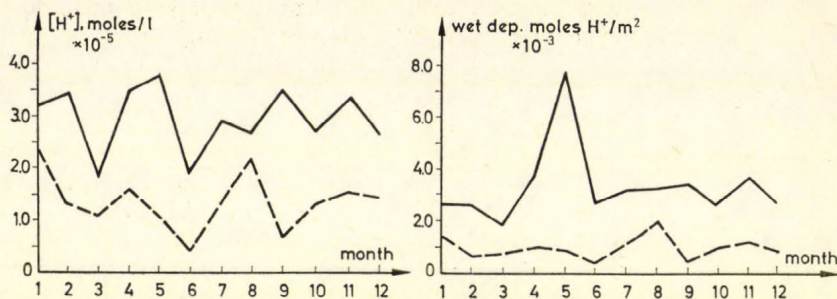


Fig. 5. Monthly mean hydrogen ion concentrations $[H^+]$ and corresponding monthly wet depositions for Puntijarka and Grič (solid and dashed line, respectively) in the period 1969–1985. $[H^+]$ were calculated only from samples in which pH measurement was carried out on the day of sampling.

Fig. 5 illustrates the monthly means of $[H^+]$ in daily precipitation samples and the estimated monthly wet deposition for Grič and Puntijarka. Higher concentrations and corresponding wet depositions are again noticed on the mountain top during the whole year. There is a pronounced increase of acid wet deposition on Puntijarka in May, as a result of high hydrogen ion concentrations combined with the increased precipitation amounts (Tab. 2).

TABLE 3.

Average weighted pH values and corresponding average hydrogen ion concentrations $[H^+]$ at Puntijarka and Grič in different trajectory sectors during the period 1972–1985. The averages were calculated from those samples whose pH was measured on the day of sampling

Sector	Puntijarka		Grič	
	pH	$[H^+]$ mol/l	pH	$[H^+]$ mol/l
N	4.60	2.50×10^{-5}	5.06	8.61×10^{-5}
NE	4.48	3.33×10^{-5}	4.23	5.90×10^{-5}
E	4.40	4.02×10^{-5}	4.73	1.85×10^{-5}
SE	4.49	3.26×10^{-5}	4.88	1.32×10^{-5}
S	4.64	2.31×10^{-5}	4.93	1.17×10^{-5}
SW	4.66	2.18×10^{-5}	5.10	7.97×10^{-5}
W	4.53	2.96×10^{-5}	4.95	1.12×10^{-5}
MW	4.30	5.03×10^{-5}	4.61	2.46×10^{-5}
Undecided	4.50	3.15×10^{-5}	4.84	1.46×10^{-5}

Tab. 3 contains the results of sector analysis. In the table the average weighted pH values and corresponding $[H^+]$ are listed for different sectors at Grič and Puntijarka. The most acid precipitation at Puntijarka can be found

in the NW sector. Precipitation water in the E sector is also rather acidic. On the other hand, the acidity is the lowest in the SW sector. For Grič, the most acid precipitation is related to the NE sector, followed by the NW sector, while air masses with the lowest acidity also come from the SW sector, which covers

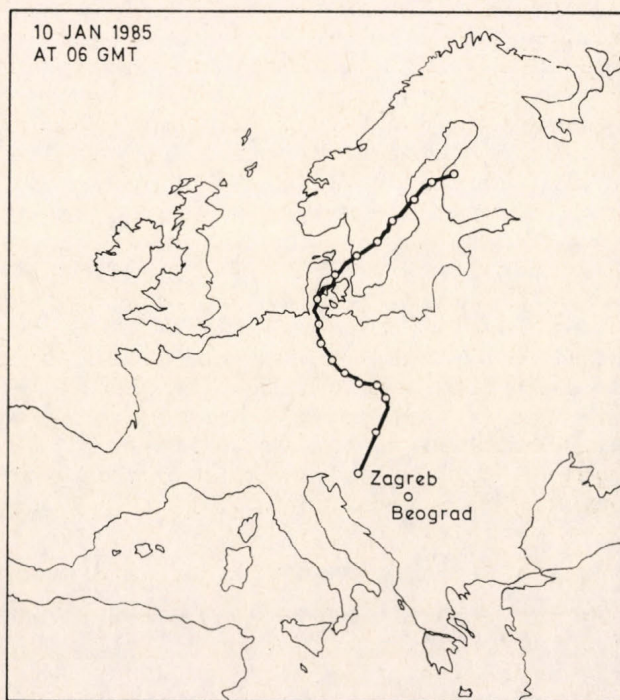


Fig. 6. 4-days backward 925 hPa air trajectory (calculated at Norwegian Meteorological Institute) arrived on January 10th, 1985 at 06 GMT. Daily precipitation samples collected simultaneously at Grič. Puntijarka and Horvatovac had pH values 3.80, 3.90 and 3.80, respectively. Trajectory positions are marked for each six hours.

the area with low SO₂ emission (Fig. 2). Sectors with the most acid precipitation differ at two sampling sites, which is certainly due to different environmental conditions and to the modification of general air flow pattern by Medvednica mountain (Lisac, 1984). Puntijarka is situated almost at the top of the SW – NE oriented mountain, so it is exposed to the undisturbed NW air flows arriving from the areas of high sulphur emissions. Its position and altitude induces precipitation formation and consequently enhances wet deposition of acidity. Higher acidification could be expected on the NW slope of the mountain, but there are no corresponding measurements in that area to check this assumption. On the other hand, Grič is on the lee side of the mountain for the NW flows, so their influence on the precipitation acidification is probably reduced to some extent. At the same time the city is open to the NE flows.

Fig. 6 illustrates one episode of particularly high snow acidity. Daily precipitation samples collected at 06 GMT January 10th, 1985 at Grič, Puntijarka

and Horvatovac, had pH values of 3.80, 3.90 and 3.80, respectively. For this case the 4 days backward 925 hPa trajectory is shown. The trajectory arrived at Puntijarka at 06 GMT on the same date. It shows that before their arrival at Puntijarka, the air masses passed over the areas with high SO₂ emissions as illustrated in Fig. 2.

These results roughly agrees with the two previous estimations. A simple statistics of the prevailing surface wind blowing during the rainfall showed the difference in prevailing wind directions in the case of pronounced acidity and alkalinity of precipitation (*Lisac*, 1986). The most acid precipitation was connected with the NE wind of both sites, while alkaline precipitation was often observed with wind from the S and W quadrant. A later study of the relation between the pH values and wind directions at 850 hPa surface above Zagreb, covering the summer samples during the 1972–1982 period (*Klaić*, 1986) showed a significant correlation between the two parameters. Acid samples (pH < 5.6) were most often related to the NE and E winds, while non-acid samples were measured in the case of SW and S winds. In comparison with sector analysis discussed in the present work it seems that previous examination underestimated the influence of NW flows on acidification.

Petkovsek (1987), using his box model, examined the dependence of SO₂ concentration in western Yugoslavia for the so-called typical trajectories arriving from western directions. Typical trajectories related to the highest and the lowest SO₂ concentrations in the air could approximately be located to NW and SW sector, respectively. This is in good agreement with our results for hydrogen ion concentrations in precipitation at Puntijarka.

5. Conclusion

The results presented show that the acidity of precipitation on the mountain top is about 10 times and in the city centre about 5 times higher than the neutral value controlled by CO₂ absorption ($pH = 5.6$). Such differences in acidification between the two sampling sites are observed more or less all over the year. Specially significant is the high acid wet deposition on the mountain top in May.

Air flows from NW and SW directions are related to the highest and the lowest acidity, respectively. It seems that due to the local emissions, together with the lee side position of the urban site, this influence is to some extent modified in the city centre, leading generally to lower acidity in the case of NW flows.

Acknowledgements. Most of the work was done during the stay of one of the authors (ZK) at the Norwegian Meteorological Institute, Oslo, under the Norwegian Government scholarship. This author is very grateful to Dr. Jorgen *Saltbones* and Prof. Anton *Eliassen* from Norwegian Meteorological Institute for providing her with trajectory and sector data. Republic of Croatia Hydrometeorological Service of the Socialist Republic of Croatia provided the data on precipitation amounts at Puntijarka during the 1981/85 period.

REFERENCES

- ApSimon, H. M., Kruse, M. and Bell, J. N. B., 1987: Ammonia emissions and their role in acid deposition. *Atm. Env.* 21, 1939–1946.
- Eliassen, A. and Saltbones, J., 1975: Decay and transformation rates of SO₂ as estimated from emission data, trajectories and measured air concentrations. *Atm. Env.* 9, 425–429.
- Eliassen, A., Hov, O., Isaksen, I. S. A., Saltbones, J. and Stordal, F., 1982: A lagrangian long-range transport model with atmospheric boundary layer chemistry. *J. Appl. Met.* 21, 1645–1661.
- Eliassen, A. and Saltbones, J., 1983: Modelling of the long-range transport of sulphur over Europe: a two-year model run and some model experiments. *Atm. Env.* 17, 1457–1473.
- EMEP, 1984: Summary report from the Chemical Co-ordinating Centre for the second phase of EMEP. EMEP/CCC, 2/84. Norwegian Institute for Air Research, Lillestrom, Norway.
- Fisher, B. E. A., 1975: The long range transport of sulphur dioxide. *Atm. Env.* 9, 1063–1070.
- Fowler, D., Cape, J. N., Leith, I. D., Paterson, I. S., Kinnaird, J. W. and Nicholson, I. A., 1982: Rainfall acidity in northern Britain. *Nature* 297, 383–386 (according to U. K. Review Group on Acid Rain, 1983).
- Galloway, J. N. and Likens, G. E., 1981: Acid precipitation: the importance of nitric acid. *Atm. Env.* 15, 1081–1085. (according to U. K. Review Group on Acid Rain, 1983).
- Galloway, J. N., Likens, G. E., Keene, W. C. and Miller, J. M., 1982: The composition of precipitation in remote areas of the world. *J. Geophys. Res.* 87, 8771–8786 (according to U. K. Review Group on Acid Rain, 1983).
- Junge, C. E., 1983: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.
- Klaić, Z., 1986: Precipitation water acidity correlated with 850 hPa surface wind observations. Proceedings of the 19. Conference on Alpine Meteorology. ITAM–86, Rauris, 1–8 September 1986, 423–427.
- Lehmhaus, J., Saltbones, J. and Eliassen, A., 1986: A modified sulphur budget for Europe for 1980. Report EMEP/MSC–W. 1/86, Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Lisac, I., 1984: The wind in Zagreb: A contribution to the knowledge of climate of the city of Zagreb, II (in Croatian). *Geofizika* 1, 47–134.
- Lisac, I., 1986: The acid rain statistics over broader area of the city of Zagreb. Proceedings of the 19. Conference on Alpine Meteorology. ITAM–86, Rauris, 1–6 September 1986, 428–432.
- Lisac, I. and Klaić, Z., 1986: Trend analyses in the time series of precipitation acidity in Zagreb. Proceedings of the Inaugural meeting and symposium on interregional air pollutant transport with special emphasis on linearity question. Budapest, April 22–24 1986, 15–18.
- Nordo, J., Eliassen, A. and Saltbones, J., 1974: Large-scale transport of a transport of air pollutants. Proceedings of a symposium on turbulent diffusion in environmental pollution. Charlottesville, Virginia, April 8–14 1973. Academic Press, New York, 137–150.
- OECD, 1979: *Programme on long-range transport of air pollutants*. 2nd ed., Paris, OECD.
- Petkovšek, Z., 1987: Some characteristics of long-range air pollution with SO₂ and sulphates in western Yugoslavia (in Slovenian). *Zašt. atm.* 15, 1–4.
- U. K. Review Group on Acid Rain, 1983: Acid deposition in the United Kingdom. Report, Warren Spring Lab., Stevenage.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 92. évf. 6. szám. 1988. november – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 92 No 6 Nov – Dec 1988. Budapest

Estimation of the natural acidity of precipitation water on a global scale

D. MÖLLER

“Heinrich Hertz” Institute for Atmospheric
Research and Geomagnetism, Academy of Sciences of GDR,
1199 Berlin, Rudower Chaussee 5, GDR.

L. HORVÁTH

Institute for Atmospheric Physics
H-1675 Budapest, P.O. Box 39, Hungary.

Natural acidity of precipitation water has been estimated for oceans, coastal areas and continents. Using the source strengths of natural sulfur and nitrogen compounds as well as the estimated ratio for wet deposition to emission rate, wet deposition figures and pH of precipitation water were calculated for these territories. The results show that above coastal areas and oceans the predicted “natural” pH of precipitation water are ~ 5.0 and ~ 5.4 , respectively. For continents the estimated pH lies between 4.9 and 6.8 depending on the influence of neutralizing processes. On global scale the pH of natural precipitation water is probably neutral or weakly acidic i.e. natural acidity is balanced by ammonia gas.

*

A csapadékvíz természetes savassága globális léptékben. Becslést végeztünk a csapadékvíz természetes savasságára vonatkozólag óceánok fölött, valamint parti területeken és kontinenseken. A természetes eredetű kén- és nitrogénvegyületek emisszióit, valamint a nedves ülepedés/emisszió számított arányát felhasználva kiszámítottuk a nedves ülepedést, illetve a csapadékvíz pH-jának értékét az említett területeken. Az eredmények szerint parti területeken, illetve óceánok fölött a „természetes” csapadékvíz becsült pH-ja ~ 5.0 , illetve ~ 5.4 . Kontinenseknél a számított pH 4.9 és 6.8 között van, a semlegesítő folyamatoktól függően. Globális léptékben a természetes csapadékvíz pH-ja valószínűleg semleges vagy gyengén savas, azaz a természetes eredetű savasságot az ammónia gáz valószínűleg semlegesíti.

1. Introduction

One of the main environmental risks today is the modification of biogeochemical cycles by anthropogenic activity. Owing to its ecological consequences the acidification of the environment as a result of increased man-made emission of sulfur and nitrogen oxides has become an important problem.

Wet acid deposition (besides the dry deposition) is the main cleansing mechanism, especially above unpolluted remote areas (Horváth and Möller, 1987). The acidity of precipitation (in term of pH) can be regarded as an indicator of the air pollution at different regions. There is disagreement concerning the “natural” reference level of precipitation acidity. The mean pH-value, reported

by Galloway et al. (1982) and Sequeira (1982), ranges from 4.8 to 7.5 in remote areas (excess sulfate concentration $\leq 10 \mu\text{equ./l}$). The frequently used pH = 5.6 as a reference level, based on the absorption and hydrolysis of atmospheric CO_2 is not appropriate because the effect of sulfur and nitrogen compounds of natural origin. In the absence of basic materials average "natural" value of pH ~ 5 is expected (Charlson and Rodhe, 1982). A pH of 5.5 has been found for some remote areas (Antarctic and Greenland: Hammer, 1977 and Delmas et al., 1980) as opposed to pH-values of about 5.0 measured in remote maritime precipitation (Galloway et al., 1983; Galloway and Gaudry, 1984).

The composition of natural precipitation and the resulting pH are controlled by sulfur compounds of biogenic and volcanic origin (H_2S , DMS, COS, CS_2 and SO_2) and by acidic and alkaline nitrogen compounds (NO_x and NH_3) as well as at least above continental regions by soil-derived basic Ca compounds (Möller and Zierath, 1986). The aim of this paper is to try to evaluate the strength of natural emission of above mentioned species on global scale, which make it possible to calculate the "natural" acidity of precipitation water, above oceans, coastal areas* and continents.

2. Estimation of natural emission

The emission figures used in this paper result from different approaches. The evaluations are mainly based on global and/or regional budget studies using experimental deposition and atmospheric concentration values as well as on a generalization of measured specific emission figures. The uncertainty of these estimates lies in the range of 50 to 100 percent.

A summary of the present state of knowledge concerning the atmospheric sulfur cycle is given by Möller (1983, 1984, 1985). Natural emissions of sulfur compounds are compiled in Table 1. As one can see reduced sulfur species such as DMS and H_2S , represent around 90 percents of the natural S emission. On the

TABLE 1.

Global natural emission of sulfur and nitrogen compounds in Tg S/yr or Tg N/yr

Region	SO_2^c	DMS ^c	H_2S^c	$\text{CS}_2 + \text{COS}^c$	NO_x^g	NH_3	area in 10^{12}m^2	mean rain-falle in $\text{l/m}^2 \text{ yr}$
Ocean	—	40 ^d	—	3	5	—	334	1250
Coastal area	negl.	10	7	2	1	negl.	30	900
Continents ^a	2	negl.	16	3	19	29	126	750
tropical area ($30^\circ\text{N} - 30^\circ\text{S}$) ^b	2	negl.	11	2	12	16 ^f	30	1000
temperate zone ($60 - 30^\circ\text{N}$, $> 30^\circ\text{S}$) ^{a, b}	negl.	negl.	5	negl.	7	13	47	640
Global ^d	2	50	21	8	25	29	490	1125

^a without Antarctic — ^b without deserts, around 50% of this area is covered by tropical forest — ^c after Möller (1984) — ^d after Andreae and Barnard (1984) — ^e after Möller (1951) and *Global Water Balance...* (1974) — ^f after Delmas et al. (1982) — ^g including HNO_3 .

* Coastal area is defined as approximately 100 km wide strip along the coast of continents.

other hand, natural SO_2 emissions due to volcanic activity are probably negligible in comparison with other natural sulfur compounds.

The main natural sources of oxidized nitrogen compounds (NO_x) are lightning, the burning of biomass and soil exhalation. Many uncertainties exist in the estimation of NO production by lightning. Several authors (Böttger et al., 1978; Baulch et al., 1982; Ehhalt and Drummond, 1982; Logan, 1983; Stedman and Shetter, 1983) estimated the NO source strength to be 3–11 TgN/yr. Levine et al. (1984) have made an estimate lying in the range of 2 to 20 TgN/yr. In this paper 10 TgN/yr is taken to be the NO production by lightning.

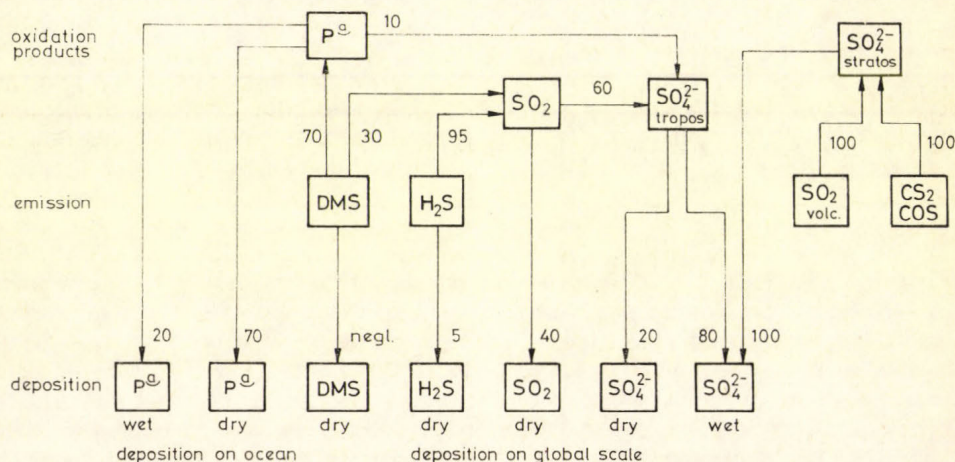


Fig. 1. Atmospheric pathways of natural sulfur compounds. Values are expressed in relative units (percents). (Note: a oxidation products of dimethyl sulfide)

According to Böttger et al. (1978) 70% of NO is produced in tropical areas between latitudes 30°N and 30°S . This is approximately equal to biomass burning, where source strength is around 3 TgN/yr for continental tropical areas (Böttger et al., 1978, without forest burning which is mainly caused by man).

As to the emission from soils, Delmas et al. (1982) estimated the NO_x emission from tropical rainforests to be 5 TgN/yr. One half of this emission occurs in the form of NO , the other half as HNO_3 (Servant and Delmas, 1984). The HNO_3 emission is due to chemical reactions in the soil. Summarizing these figures we obtain an estimate of 12 TgN/yr for continental tropical areas. The estimation of soil NO_x emission in temperate zones by Slemr and Seiler (1984) is 7 TgN/yr. This figure is based on specific emission rates of NO_2 of $10 \mu\text{g NO}_2\text{-N/m}^2\text{h}$ and of NO of $8 \mu\text{g NO-N/m}^2\text{h}$. In the case of soils covered by vegetation the NO_x emission is strongly reduced due to the uptake of the plants (Slemr and Seiler, 1984; Johansson, 1984). A large contribution to the global NO_x emission arises from the activity of soil microorganisms and has a magnitude of 10 TgN/yr, according to Levine et al. (1984). Based on estimates above, we accept regional NO_x emissions listed in Table 1.

Natural emission of ammonia is probably significant only above continental areas. The strength of sources in Table 1 is calculated from emission of soils (0.01–0.1 gN/m²yr, according to Möller and Schieferdecker, 1982) and from the contribution of wildlife animals (5–7 Tg/yr, Söderlund and Svensson, 1976). In this way we have estimated around 13 TgN/yr of soil emission for temperate zone. The tropical forest seems to be also a substantial emission source of NH₃ according to Delmas et al. (1982), which have been estimated to be around 16 TgN/yr for this area (see: Table 1.).

3. Atmospheric pathways

For calculation of precipitation acidity firstly we have to estimate the ratio of wet to dry deposited sulfate, nitrate and ammonium produced from sulfur and nitrogen compounds of natural origin.

The reduced biogenic sulfur gases emitted (dimethyl sulfide, hydrogen sulfide) are, in part, directly deposited or oxidized and deposited as sulfur dioxide or sulfate (Fig. 1). Little is known on the direct deposition of biogenic sulfur species emitted. Dry deposition velocity for hydrogen sulfide has been measured by Judeikis and Wren (1977) by laboratory measurement (see: Table 2). We assumed that dry deposition of some reduced sulfur gases does not play important role (e.g. Kluczewski et al., 1985: reported figures for dry deposition velocity of COS $v < 10^{-3}$ cm/s). Dry deposition velocity of DMS has not been reported in the literature. Assuming that there is an approximate correlation between dry deposition velocity (v_d) and the solubility expressed by Henry's law constant (Table 2) we have estimated a probable value of $v_d = 0.2$ cm/s for the deposition velocity of DMS. By using the lifetime concept $\tau_d = H/v_d$, and the formula of $1/\tau = 1/\tau_d + 1/\tau_{ox}$, where H is the mixing height, τ_d and τ_{ox} are the partial lifetimes determined by dry deposition and oxidation respectively (neglecting the term of τ_w for wet deposition), we can calculate the percentage of the emission which is dry deposited. The lifetime of DMS, however, is lower than calculated in Table 2 for oxidation by OH radicals alone. Nguen et al. (1987) found experi-

TABLE 2

Atmospheric kinetic parameters for sulfur species (v_d : dry deposition velocity, H': Henry-law constant, k_{OH} : rate constant of reaction with OH radicals, τ_{ox} : lifetime due to oxidation)

	v_d (cm/s)	H' (mole/atm)	k_{OH} (10^{-12} cm ³ /s)	τ_{ox} ^h (days)
SO ₂	0.05 ^a	1.2 ^d	1.2 ^e	0.5 ⁱ
H ₂ S	0.016 ^b	0.014 ^c	3.1 ^f	3.7
DMS	1.2 ^j	0.56 ^c	9.5 ^g	1.2

^a on water (Garland et al. 1973) – ^b on soils (Judeikis and Wren³ 1977) – ^c Brimblecombe and Shooter (1987) – ^d Jacob (1986) – ^e Izumi et al. (1984) – ^f Stuhl (1974) – ^g Kurylo (1978) – ^h lifetime $\tau_{ox} = 1/k_{ox}$ assuming [OH] = $1 \cdot 10^6$ molecules/cm³ – ⁱ there are further important oxidation reactions determining the overall lifetime (Möller 1980) – ^j see text.

mentally that τ_{ox} lay between 4 min and 16 h because of the influence of other oxidation mechanism. *Finlayson-Pitts* and *Pitts* (1986) estimated the DMS lifetime, via $DMS + NO_3$ reaction at night to be around 1 h. Assuming $\tau_{ox}(DMS) = 1$ h, we derived a negligible dry deposition rate compared with oxidation processes (see Fig. 1.).

The direct production of SO_2 through DMS oxidation has been estimated by several authors: 0.21 (*Hatakeyama et al.*, 1982), 0.35–0.73 (*Grosjean* and

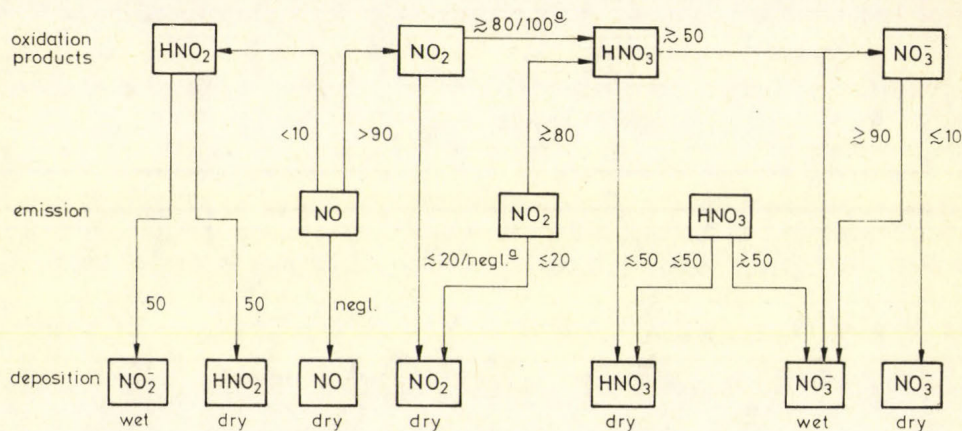


Fig. 2. Atmospheric pathways of natural oxidized nitrogen compounds. Values are expressed in relative units (percents). (Note: ^a continent) ocean).

Lewis, 1982), 0.31 (*Bentley et al.*, 1972). For our calculation we use a figure of 30% for the $DMS \rightarrow SO_2$ transformation (Fig. 1). The remaining DMS (70%) is oxidized to methansulfonic acid CH_3SO_3H (MSA), dimethylsulfoxide CH_3SOCH_3 (DMSO) and dimethylsulfone $CH_3SO_2CH_3$ ($DMSO_2$). All these compounds have been detected in atmospheric aerosols and in rainwater. The total flux with rain is around 6 Tg S/yr above the ocean (*Brimblecombe and Shooter*, 1987), whereas the percentage of contribution has been estimated as follows: 80 percents of MSA, 16 percents of $DMSO_2$ and 4 percents of DMSO. The figure for wet deposition rate amounts to 20% of the DMS oxidation products (Fig. 1). Little is known about the further fate of these oxidation products. It may be that the partial lifetime owing to oxidation is similar to that of carbonic acids (10 to 20 days, *Zetsch and Stuhl*, 1981). Assuming a partial lifetime due to dry deposition of 2 to 3 days similarly to SO_2 , we conclude that the ratio of dry deposition to further oxidation of DMS products to sulfate is around 7 to 1.

Based on the kinetic parameters of SO_2 atmospheric chemistry (*Möller*, 1980) we have found that around 60 percents of SO_2 is converted to sulfate, 80% of the sulfate is deposited by wet and 20 percents is removed by dry deposition processes (Fig. 1). The assessed pathway of H_2S (Fig. 1) is based also on the kinetic parameters compiled in Table II. Ratios of hydrogen sulfide deposited directly and transformed to sulfate are 5 : 95, respectively (see: Fig. 1).

Biogenic CS_2 and COS species emitted in the troposphere are chemically relatively stable. Significant oxidation occurs only in the stratosphere. Owing

to the high atmospheric lifetime of these components it is reasonable to assume a quantitatively conversion into sulfate which is removed from the upper troposphere by precipitation. Volcanic SO_2 is emitted into higher troposphere so that dry deposition is negligible in comparison with oxidation.

The atmospheric pathways of natural nitrogen compounds can be seen in *Figure 2*. Since the atmospheric chemistry of nitrogen oxides is rather complicated we have to make some simplifications.

TABLE 3
Molar ratio of $\text{NO}_2^-/\text{NO}_3^-$ in precipitation water

Region	Ratio	Author
Hungary	0.03	Horváth (1981)
GDR	0.12	Marquardt et al. (1985)
GDR	0.01	Zierath (1981)
FRG	0.07–0.11	Gravenhorst (1983)
USA	0.06	Pratt et al. (1983)
USA	0.01	Gravenhorst (1983)
UK	0.01	Radojevic (1986)
Australia	0.11	Anderson (1915)

If we neglect the rate of dry deposition of NO (see: *Fig. 2*) nitrogen monoxide gas transforms to N(III) and N(IV \rightarrow V). Based on different experimental results (*Table 3*) the N (III)/N(V) ratio in rainwater lies in the range between 0.01 and 0.1. Supposing that the measure of dry to wet deposition of HNO_3 (*Johansson and Granat, 1986*) and HNO_2 is equal, approximately or less than 10 percents of NO converts to HNO_2 and more than 90 percents of it transforms to NO_2 . The ratio of dry deposition rate and atmospheric oxidation is around 1/4 according to our calculation based on parameters in *Table 4*.

TABLE 4
Atmospheric kinetic parameters for nitrogen species (v_d : dry deposition velocity, τ_d , τ_{con} and τ_w are lifetime due dry deposition, conversion and wet deposition)

	v_d (cm/s)	τ_d (days)	τ_{con}^e (days)	τ_w^e (days)
NO_2	0.5 ^a , b	2.3	0.5	—
HNO_2	2.0 ^d	0.6	0.5–1	—
HNO_3	2.0 ^c	0.6	0.5–1	—
NO_3^-	0.03 ^a	40	—	3–4
NH_3	0.14 ^a	8	0.8	—
NH_4^+	0.02 ^a	60	—	3–4

^a Várhelyi (1980) — ^b NO_2 dry deposition onto water is negligible ($v_d = 0.01–0.04$ and 0.034 cm/s after *Aalst and Diederer, 1985* and *Horváth et al., 1981*, respectively) — ^c Huebert and Robert (1985) — ^d assumed — ^e after *Kind and Möller (1987)* for NO_x and *Möller and Schieferdecker (1982)* for NH_x .

Nitrate aerosol particles formed from HNO_3 are mainly deposited (at least in 90 percents) by precipitation taking into account the ineffective dry deposition process (see e.g. in: *Mészáros and Horváth, 1984*). Considering the figures in Fig. 2. we can calculate a factor of 0.35 for nitrate wet deposition/nitrogen oxide source strength ratio. This figure is in a good agreement with a two-year experimental investigation of nitrogen deposition in Hungary (*Table 5*). This fact may

TABLE 5
Nitrogen deposition over Hungary in g N/m² yr (Horváth 1985)

Component	Dry	Wet	Total	Percentage of total deposition
	deposition			
NO_2	0.39	—	0.39	40
HNO_3	0.24	—	0.24	24
NO_2^-	0.00	0.01	0.01	1
NO_3^-	0.01	0.33	0.34	35

suggest that in spite of our rough estimation in Fig. 2, results seem to be correct for an approximate calculation.

In a similar way the atmospheric NH_3 pathway in *Fig. 3* is estimated. In our opinion the NH_3 oxidation rate is rather low in comparison with other processes. The lifetime of NH_3 owing to transformation to ammonium particles is about 1 day (*Lenhard and Gravenhorst, 1980*). The figures in Fig 3 are based on field measurements of ammonia/ammonium dry and wet deposition in Hungary (*Horváth, 1985*).

By means of Fig. 1, 2 and 3. we have calculated the ratio of wet deposition to emission (f) for different species emitted. They are compiled in *Table 6*.

TABLE 6
Ratio of wet deposition in relation to emission (f-value)

Species emitted	f
DMS	0.20 (± 0.10)
H_2S	0.45 (± 0.15)
CS_2 , COS, SO_2 (volc.)	1.00
NO	0.35/0.45 ^a (± 0.15)
NO_2	0.40 (± 0.15)
NHO_3	0.50 (± 0.20)
NH_3	0.85 (± 0.05)

^a continent/ocean

4. Estimation of precipitation acidity

With the knowledge of natural emission and the ratio of wet to dry deposition rate of natural S and N compounds we can calculate the chemical composition as well as the acidity of "natural" precipitation water. However, for our calculation the following simplifications have to be taken into account:

a) The natural sources of S and N compounds are homogeneously distributed above different regions (oceans, coastal areas, continental areas). By

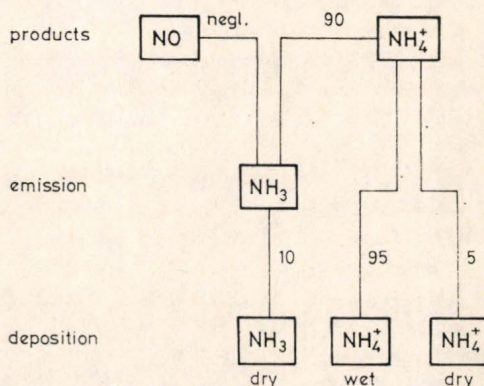


Fig. 3. Atmospheric pathways of natural ammonia emission. Values are expressed in relative units (percents).

means of above hypothesis we can estimate an average precipitation acidity for different regions. In reality, it is not realized since natural sources are not homogeneously dispersed. Therefore, deviations would be expected from mean pH value calculated for different into regions.

b) Only CS_2 , COS and volcanic SO_2 emissions are homogeneously distributed over the globe. This assumption is not generally valid. E.g. Prospero et al. (1985) pointed out the continental effect on the air quality of remote

TABLE 7

Wet deposition of natural S and N compounds and chemical compositions of "natural" precipitation water

Region	Mean $\text{SO}_x + \text{NO}_x$ deposition (mequ./m ² yr)	Mean concentration of ($\text{SO}_x + \text{NO}_x$) compounds (μequ/l)	Mean concentration of NH_4^+ (μequ/l)	pH
Ocean	3.4	2.7	neglig. ^a	~ 5.4
Coastal area	8.9	9.9	neglig. ^a	~ 5.0
Continents	9.3	12.4	18.6	4.9 - 6.8 ^b
- tropical area	23.7	23.7	32.3	4.6 ^c - 6.9 ^{b, c}
- temperate area	10.3	16.2	26.2	4.8 - 7.0 ^b
Global	5.3	4.7	3.2	5.3 - 5.5 ^b

^a neutralization effect of ammonia is negligible - ^b upper limit of pH, supposing the highest neutralization effect of ammonia - ^c can be modified due to weak organic acids.

North Pacific islands during special conditions. This effect would probably be substantially lower without anthropogenic emission. The exchange of sulfur and nitrogen of natural origin between continents and oceans results in decrease and increase of precipitation acidity above lands and oceans respectively.

c) Organic acids do not play an important role in the control of precipitation acidity on global scale. However, according to *Galloway et al.* (1982) and *Keene et al.* (1983) organic acids may contribute up to 40–60% to free acidity at tropical locations, especially in wet season. Otherwise at other parts of the world contribution of organic acids is insignificant (*Keene et al.*, 1983).

By means of data in Table 1.–4. natural wet deposition of acidic sulfur and nitrogen compounds has been calculated for oceanic, coastal, and continental areas (Table 7). Taking into account yearly rainfalls, acid deposition has been converted to pH (see lower limits in Table 7.), which express the potentially highest acidity without neutralization processes. The acidity of natural precipitation water above continental areas can be neutralized by ammonia and by soil derived particles. The contribution of basic materials in the neutralization of natural precipitation water can be estimated from ammonium and calcium concentrations of natural origin.

Because the NH_3 emission above oceans and coastal areas is negligible (see: Table 1.) pH of precipitation is controlled probably only by sulfur and oxidized nitrogen compounds at these territories. In the lack of neutralization processes mean pH of precipitation in coastal area may be around 5.0. It is in a good agreement with results of *Sequeira* (1982) and *Lacaux et al.* (1987) who reported $\text{pH} = 4.6\text{--}6.1$ and $\text{pH} = 5.0$ respectively, on the basis of field measurements.

Above oceans our calculated value is around $\text{pH} = 5.4$ which seems to be somewhat higher than measured figures (e.g. $\text{pH} = 4.6\text{--}5.0$, *Sequeira* (1982) and $\text{pH} = 4.8\text{--}4.9$, *Galloway et al.* (1982); $\text{pH} \approx 5$ *Galloway et al.* 1983; *Galloway and Gaudry*, 1984) but the anthropogenic effect through long range transmission of pollutants can not be excluded even at remote oceanic areas.

For continents, where neutralization processes can play an important role in controlling precipitation acidity a pH range has been calculated. The lower figure of the range represents the pH without neutralization while upper one shows the case when ammonia has the maximum neutralization effect (i.e. washed out only as ammonia gas and deposited as ammonium). Besides ammonia, alkaline soil-derived calcium carbonate and bicarbonate particles have also neutralizing effect in precipitation. The figure given for the natural (soil) calcium contribution to precipitation is based on the assumption that the anthropogenic ratio is less than 10 percents to the total emission. The possible range of Ca concentration in rainwater is very large depending on the region regarded (*Möller and Zierath* 1986). Lowest (0.002 mg/l) concentration is reported by *Galloway et al.* (1982), while up to 2 mg/l figure can be found in the literature as the approximately highest Ca concentration (e.g. *Petrenchuk*, 1979; *Horváth*, and *Mészáros*, 1984; *Moldan*, 1980). For remote continental areas *Galloway et al.* (1982) found only 0.002--0.05 mg/l for calcium concentration.

As we can see concentration of calcium (and therefore neutralizing effect of soil particles) may vary within 3 orders of magnitude. Therefore, it is not excluded that above some parts of continents precipitation water can entirely be neutralized as the local effect of alkaline particles.

4. Conclusions

On the basis of our assumptions the following conclusions can be drawn, as a first approximation.

Natural emission of acidic S and N species controls the pH of precipitation water above oceans, which takes a value of 5.4, close to the neutral level, controlled by atmospheric carbon dioxide.

In contrast to oceans and mainly due to the relatively high nitrogen oxides and hydrogen sulfide emissions the potentially highest natural acidity above continents especially at tropical regions is higher by one order of magnitude. However, above tropical areas and continents the natural alkaline compounds may neutralize the acids derived from biogenic and volcanic activity. Therefore, it may be concluded that the acidity of precipitation water in the pre-historical eras (or before industrialization) was neutral or weakly acidic.

Significant lower pH values (around 5.0) are expected only in the coastal areas due to high biogenic sulfur emissions and a probably lack of neutralizing species.

On a global scale the natural acidity due to sulfur and nitrogen oxidation products seems to be in equivalence with the natural alkalinity due to ammonia. This means that the natural hydrogen ion sources and sinks are balanced in the biosphere. However, the natural acidity of precipitation is likely to have insignificant variations over the globe. Much more detailed models are required if this variation is to be investigated more closely.

REFERENCES

- Aalst, van, R. M. and Diederer, H. S. M. A., 1985: Removal and transformation processes in the atmosphere with respect to SO_2 and NO_x . In: *Interregional Air Pollution Modelling* (eds.: S. M. Zverver and R. E. van Mann.) Plenum Press, New York and London, 83–147.
- Anderson, V. G., 1915: The influence of weather conditions upon the amounts of nitric acid and of nitrous acid in the rainfall at and near Melbourne, Australia. *J. Roy. Meteor. Soc.* 41, 99–122.
- Andreae M. O. and Barnard, W. R., 1984: The marine chemistry of dimethyl sulfide. *Marine Chem.* 14, 267–279.
- Baulch, D., L., Cox, R. A., Crutzen, P. J., Hampson, R. F., Kerr, J. A., Troe, J. and Watson, R. T., 1982: Evaluated kinetic and photochemical data for atmospheric chemistry: Supplement 1, *J. Phys. Chem. Ref. Data* 11, 327–496.
- Bentley, M. D., Douglas, I. B., Lacadic, J. A. and Winter, D. R., 1972: The photolysis of dimethyl sulphide in air. *J. Air Pollut. Contr. Assoc.* 22, 359–365.
- Böttger, A., Ehhalt, D. H. and Gravenhorst, G., 1978: Atmosphärische Kreisläufe von Stickoxiden und Ammoniak. *Berichte der Kernforschungsanlage Jülich* Nr. 1558.
- Brimblecombe, P. and Shooter, D., 1987: Aqueous phase chemistry of biogenic sulphur compounds. In: *Physico-chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants*, Proceedings of the 4th European Symposium (eds.: G. Angeletti and G. Restelli). D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, 249–257.
- Charlson, R. J. and Rodhe, H., 1982: Factors controlling the acidity of natural rainwater. *Nature* 295, 683–685.
- Delmas, R. J., Aristarain, A. and Legrand, M., 1980: Acidity of Antarctic snow: a natural reference level for acid rains. In: *Ecological Impact of Acid Precipitation* (eds.: D. Drablos and A. Tollan), Oslo, 100–105.
- Delmas, R., Servant, J. and Delapart, M., 1982: The equatorial rain forest as a natural source of atmospheric nitrogen compounds. 75th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, New Orleans.
- Ehhalt, D. and Drummond, J. W., 1982: The tropospheric cycle of NO_x . In: *Chemistry of the unpolluted and polluted troposphere* (eds.: H.-W. Georgii and W. Jaeschke). D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, 219–251.

- Finlayson-Pitts, B. J. and Pitts, Jr., J. N., 1986: *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*. John Wiley & Sons, New York.
- Galloway, J. N., Likens, G. E., Keene, W. C. and Miller, J. M., 1982: The composition of precipitations in remote areas of the world. *J. Geophys. Res.* 87, 8771–8786.
- Galloway, J. N., Knap, A. H. and Church, T. H., 1983: The composition of North Atlantic precipitation using shipboard collectors. *J. Geophys. Res.* 88, 859–864.
- Galloway, J. N. and Gaudry, A., 1984: The composition of precipitation on Amsterdam Island, Indian Ocean. *Atmos. Environ.* 18, 2649–2656.
- Garland, J. A., Clough, W. S. and Fowler, D., 1973: Deposition of SO₂ on grass. *Nature* 242, 256–257.
- Global Water Balance and Water Resources in the Earth* (in Russian), 1974. Gidrometeoizdat, Leningrad.
- Gravenhorst, G., 1983: Der Einfluß von Wolken und Niederschlag auf die vertikale Verteilung atmosphärischer Spurenstoffe in einem eindimensionalen reaktions-kinetischen Modell. *Berichte des Instituts f. Meteorologie und Geophysik d. Universität Frankfurt/M.* Nr. 52.
- Grosjean, D. and Lewis, R., 1982: Atmospheric photooxidation of methylsulfide. *Geophys. Res. Lett.* 9, 1203–1206.
- Hammer, C. U., 1977: Past volcanism revealed by Greenland ice sheet impurities. *Nature* 270, 482–486.
- Hatakeyama, S., Okuda, M. and Akimoto, H., 1982: Formation of sulfur dioxide methane sulfonic acid in the photooxidation of dimethylsulfide in air. *Geophys. Res. Lett.* 9, 583–586.
- Horváth, L., 1981: Chemical composition of precipitation over Hungary (in Hungarian). *Időjárás* 85, 201–212.
- Horváth, L., 1985: On the background concentration and deposition of nitrogen compounds in Hungary (in Hungarian). *Időjárás* 89, 262–268.
- Horváth, L. and Möller, D., 1987: On the “natural” acid deposition and the possible consequences of decreased SO₂ and NO₂ emission in Europe. *Időjárás* 91, 217–223.
- Horváth, L., Mészáros, Á., Mészáros, E. and Várhelyi, G., 1981: On the atmospheric deposition of nitrogen and phosphorus into Lake Balaton. *Időjárás* 85, 194–200.
- Horváth, L. and Mészáros, E., 1984: The composition and acidity of precipitation in Hungary. *Atmos. Environ.* 18, 1843–1848.
- Huebert, B. J. and Robert, C. H., 1985: The dry deposition of nitric acid to grass. *J. Geophys. Res.* 90, 85–90.
- Izumi, K., Mizuochi, M., Yoshioka, M., Murano, K., and Fukuyama, T., 1984: Redetermination of the rate constant for the reaction of OH radicals with SO₂. *Env. Sci. Technol.* 18, 116–118.
- Jacob, D. J., 1986: Chemistry of OH radical in remote clouds and its role in the production of formic acid and peroxomonosulfate. *J. Geophys. Res.* 91, 9807–9826.
- Johansson, C., 1984: Field measurement of emission of nitric oxide from fertilized and unfertilized forest soils in Sweden. *J. Atmos. Chem.* 1, 429–442.
- Johansson, C. and Granat, L., 1986: An experimental study the dry deposition of gaseous nitric acid to snow. *Atmos. Environ.* 20, 1165–1170.
- Judeikis, H. S. and Wren, A. G., 1977: Deposition of H₂S and DMS on selected soil materials. *Atmos. Environ.* 11, 1221–1224.
- Keene, W. C., Galloway, J. N. and Holdren, Jr., J. D., 1983: Measurements of weak organic acidity in precipitation from remote areas of the world. *J. Geophys. Res.* 88, 5122–5130.
- Kind, R. and Möller, D. 1987: *Stickstoffoxide in der Atmosphäre – Ursachen, Wirkungen und Maßnahmen zur Verminderung*. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig.
- Kluczewski, S. M., Brown, K. A. and Bell, J. N. B., 1985: Deposition of carbonyl sulphide to soils. *Atmos. Environ.* 19, 1295–1298.
- Kurylo, M. J., 1978: Flash photolysis resonance fluorescence investigation of the reaction of OH radicals with dimethyl sulfide. *Chem. Phys. Lett.* 58, 233–237.
- Lenhard, U. and Gravenhorst, G., 1980: Evaluation of ammonia fluxes into the free atmosphere over Western Germany. *Tellus* 32, 48–55.
- Levine, J. S., Augustson, T. R., Anderson, I. C. and Holle, Jr., J. M., 1984: Tropospheric sources of NO_x: lightning and biology. *Atmos. Environ.* 18, 1797–1804.
- Lacaux, J. P., Servant, J. and Bandet, J. G. R., 1987: Acid rain in the tropical forests of the Ivory Coast. *Atmos. Environ.* 21, 2643–2647.
- Logan, J. A., 1983: Nitrogen oxides in the troposphere: global and regional budget. *J. Geophys. Res.* 88, 785–807.
- Marquardt, W., Ihle, P., Hubert, B., Rolle, W., Gnauck, T. and Brüggemann, E., 1985: Saure und basische Niederschlagsbestandteile an industriellen Meßpunkten als Folge verschiedener Emissionscharakteristiken. *Forschungsbericht des Instituts für Energetik*, Leipzig.
- Mészáros, E. and Horváth, L., 1984: Concentration and dry deposition of atmospheric sulfur and nitrogen compounds in Hungary. *Atmos. Environ.* 18, 1725–1730.

- Moldan, D., 1980: The analysis of atmospheric precipitation in Czechoslovakia. In: *Ecological Impact of Acid Precipitation* (eds.: D. Drabls and A. Tollan), Jahs Gresslie, Oslo, 124–125.
- Möller, F., 1951: Vierteljahreskarten des Niederschlags für die ganze Erde. *Petermanns Geograph. Mitt.* 95, 1–7.
- Möller, D., 1980: Kinetic model of atmospheric SO₂ oxidation based on published data. *Atmos. Environ.* 14, 1067–1076.
- Möller, D., 1983: The global sulfur cycle. *Időjárás* 87, 121–143.
- Möller, D., 1984: On the global natural sulfur emission. *Atmos. Environ.* 18, 29–39.
- Möller, D., 1985: The conception of geoecological cycles and its application to the sulfur cycle. *Ekologia (CSSR)* 4, 211–224.
- Möller, D. and Schieferdecker, H., 1982: Zur Rolle atmosphärischen Ammoniaks im biogeochemischen Stick – stoffzyklus. *Z. ges. Hyg., Berlin* 28, 797–802.
- Möller, D. and Zierath, R., 1986: On the origin of rainwater components and their relation to acidity. *Tellus* 388, 44–50.
- Nguyen, B. C., Belviso, S., Bonsang, B. and Lambert, G., 1987: Dimethyl sulfide lifetime in the marine atmosphere. In: *Physico-chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants*. Proceedings of the 4th European Symposium (eds.: G. Angeletti and G. Restelli). D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, 434–439.
- Petrenchuk, O. P., 1979: *Experimental investigation of atmospheric aerosol* (in Russian). Hidrometeoizdat, Leningrad.
- Pratt, G. C., Coscio, M., Gardner, D. W., Chevone, B. I. and Krupa, S. V., 1983: An analysis of the chemical properties of rain in Minnesota. *Atmos. Environ.* 17, 347–355.
- Prospero, J. M., Savoie, D. L., Nees, R. T., Duce, R. A. and Merrill, J., 1985: Particulate sulfate and nitrate in the boundary layer over the North Pacific Ocean. *J. Geophys. Res.* 90, 10,586–10,596.
- Radojevic, M., 1986: Nitrite in rainwater. *Atmos. Environ.* 20, 1309–1310.
- Sequeira, R., 1982: Acid rain: an assesment on acid-base consideration. *J. Air Pollut. Control Assoc.* 32, 241–245.
- Servant, J. and Delmas, R., 1984: Formation of particles in the air of the humid tropical forests. *Proc. 11th Int. Conf. on Atmospheric Aerosols, Condensation and Ice Nuclei*, Budapest.
- Stemr, F. and Seiler, W., 1984: Field measurements of NO and NO₂ emissions from fertilized and unfertilized soils. *J. Atmos. Chem.* 2, 1–24.
- Stedman, D. H. and Shetter, R. E., 1983: The global budget of atmospheric nitrogen species. In: *Trace atmospheric constituents, Advan. in Environ. Sci. and Technol.* 12 (ed.: S. E. Schwartz), J. Wiley. New York.
- Stuhl, F., 1974: Absolute rate constant for the reaction OH + NH₃ → NH₂ + H₂O. *J. Chem. Phys.* 59, 635–637.
- Söderlund, R. and Svensson, B. H., 1976: The global nitrogen cycle. *Ecological Bulletin* 22, 23–73.
- Várhelyi, G., 1980: Dry deposition of atmospheric sulfur and nitrogen compounds. *Időjárás* 84, 15–20.
- Zetsch, P. and Stuhl, F., 1981: Rate constants for reactions of OH with carbonic acid. In: *Physico-chemical Behaviour of Atmospheric Pollutants*. Proceedings of the 2nd European Symposium (eds.: B. Versino and H. Ott), D. Reidel Publ. Comp. Dordrecht, 129–137.
- Zierath, R., 1981: Inhaltsstoffe atmosphärischen Niederschläge und ihr Einfluss auf die Sicker- und Grundwasserbeschaffenheit am Beispiel ausgewählter Gebiete. Dissertation, Technische Universität, Dresden.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 92. évf. 6. szám. 1988. november–december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 92 No 6 Nov–Dec 1988. Budapest

The atmospheric budget of nitrogen compounds in Hungary*

L. HORVÁTH

*Institute for Atmospheric Physics,
H-1675 Budapest, P.O.Box 39, Hungary*

The atmospheric budget of nitrogen compounds has been determined by comparison of the strength of emission sources and dry+wet deposition rates. Emissions have been calculated by using statistical data as well as emission factors while deposition rates have been estimated by means of results from the Hungarian air chemistry network. In the case of oxidized nitrogen compounds, the strength of emission is 123 ± 57 GgN/yr, while, the deposition rate is 94 GgN/yr. It means that the rate of deposition is approximately 75 percents of sources in Hungary. For reduced nitrogen compounds emissions (112 ± 5 GgN/yr) exceed deposition (52 GgN/yr) to a significant extent.

*

A nitrogénvegyületek légköri mérlege Magyarországon. A nitrogénvegyületek légköri mérlegét a források (emisszió) és a nyelők (száraz és nedves ülepedés) összehasonlításával határoztuk meg. Az emissziót a statisztikai adatok és az irodalmi emissziófaktorok segítségével, míg az ülepedést a hazai levegőkémiai mérőhálózat eredményei felhasználásával számítottuk ki. Oxidált nitrogénvegyületek esetén az emisszió 123 ± 57 GgN/év, míg az ülepedés 94 GgN/év mértékű, a hazai ülepedés tehát hozzávetőlegesen 3/4-e a hazai kibocsátásnak. Redukált nitrogénvegyületeknél az emisszió (112 ± 5 GgN/év) mértéke valószínűleg jóval felülmúlja az ülepedését (52 GgN/év).

1. Introduction

The importance of atmospheric nitrogen compounds is well-known. E.g. it has been demonstrated that they play an important role in tropospheric chemistry, especially in acid deposition. Atmospheric nitrogen compounds can practically be divided into two groups: oxidized and reduced species. Most important oxidized nitrogen compounds are: nitrogen dioxide gas nitric acid vapor and nitrate particles in solid or liquid phase. Reduced nitrogen compounds are represented by ammonia gas and ammonium particles.

In this paper dinitrogen oxide is not taken into consideration. Though this compound has a significant concentration in the troposphere, chemically it is stable and does not play an important role in acidification or nitrogen supply for the biosphere.

*) This work was supported by Hungarian Academy of Sciences as an OTKA project.

The knowledge of the nitrogen budget above a given region (e.g. Hungary) is important when we want to decide whether this country has a positive or negative nitrogen balance i.e. do more or less of these nitrogen compounds arrive from or depart for other countries across borders.

The nitrogen budget of Hungary was first determined by *Bónis* (1981). According to her calculations, both for oxidized and reduced nitrogen compounds, sources (emission) and sinks (transformation, dry and wet deposition) are approximately balanced i.e. there are no substantial exports or imports of atmospheric nitrogen compounds. However, in the paper of *Bónis* (1981) the concentration of one of the most important nitrogen species, nitric acid, was not taken into account for lack of atmospheric measurements. Furthermore, for the same reason the concentration of ammonia was overestimated. Considering that in recent years some new sampling and analytical methods have been adopted in the Hungarian air chemistry network, it is now possible to recalculate the Hungarian nitrogen balance more precisely. It is all the more necessary because there has been a substantial change in emissions in Hungary due first of all to the huge increase in the number of vehicles. For these reasons in this paper we attempt to estimate the Hungarian nitrogen budget on the basis of emission data for 1986 as well as deposition figures measured up to 1986.

TABLE 1
Sources of nitrogen oxides in Hungary (1986)

NO _x source		Amount ^a (1986)	Emission factor	Emission (GgN/yr)
Heating, energy production	coal	18.3 · 10 ⁶ t	1.5 – 10.7 gNO ₂ /kg ^b	8 – 60
	lignite	7.1 · 10 ⁶ t	2.7 – 3.25 gNO ₂ /kg ^b	6 – 7
	oil	3.9 · 10 ⁶ t	2.8 – 10 gNO ₂ /1 ^b	2.3 – 15
	natural gas	11.5 · 10 ⁹ m ³	1.3 – 9.5 gNO ₂ /m ^{3b}	4.6 – 33
	wood	2.0 · 10 ⁶ t	0.5 kgNO ₂ /t ^c	0.3
Agricultural equipment	Diesel oil	0.95 · 10 ⁶ t	40 gNO ₂ /1 ^b	15
Transport	Diesel oil gasoline	0.78 · 10 ⁶ t	38 – 44 gNO ₂ /1 ^b	12 – 14
		1.04 · 10 ⁶ t	20 gNO ₂ /1 ^b ; 3 gNO ₂ /km ^d	9; 14 ^e
Natural sources				3 – 7 ^f
Fertilizer use and production		593 · 10 ³ tN	1% ^g	6
Nitric acid production		1.0 · 10 ⁶ t ^h	0.05 – 8.5 gN/kg ⁱ	0 – 8.5
Total				66 – 180

^a KSH (1987) – ^b Logan (1983) – ^c Cooper (1980) – ^d EPA (1973) – ^e number of cars is 1.54 millions; assuming a mileage of 10000 km/yr – ^f together with NH₃ oxidation (*Bónis*, 1981) – ^g Böttger et al. (1978) – ^h in 1980 – ⁱ *Bónis* et al. (1980)

2. Emissions

Oxidized nitrogen compounds are emitted into the atmosphere mostly in the form of nitrogen monoxide and to a lesser degree as nitrogen dioxide due to burning of fuels. It is rather difficult to estimate the amount of nitrogen oxides emitted by anthropogenic sources. Theoretically, with the knowledge of the amount of consumed fuels the rate of emission can be calculated by means of the so-called emission factors. But specific emission factors for different fuels, as pointed out by *Bede and Gács* (1986), are rather uncertain and frequently range over two orders of magnitude. Therefore, upper and lower limits of calculated emissions are considerably different. However, in the absence of an other possibility we have to calculate in this way.

The amount of fuels consumed in Hungary in 1986 was considered on the basis of statistical figures (*KSH*, 1987, see: *Table 1*). Emission factors can also be seen in *Table 1*, which were taken from the paper of *Logan* (1983) who collected specific emission factors for the USA (*EPA*, 1977; 1978; 1982), as well as for the FRG (*Davids*, 1977). The strength of the natural nitrogen oxide sources was calculated by *Bónis* (1981) for Hungary. As can be seen from *table 1*. this is negligible in comparison with anthropogenic sources.

Furthermore, production and use of fertilizers can also be a nitrogen oxide source. Estimation of the strength of these sources, based also on statistical figures, can be seen in *Table 1*. The total nitrogen oxide emission is estimated to be 123 ± 57 GgN/yr, in Hungary.

Reduced nitrogen compounds are emitted into the troposphere mostly by agricultural activity in the form of ammonia gas. Yearly emissions, similar to those of oxidized nitrogen compounds, were calculated by means of statistical figures (*KSH*, 1987) and emission factors published by *Buijsman et al.* (1986),

TABLE 2
Sources of ammonia in Hungary (1986)

NH ₃ source		Number/amount ^a (1986)	Mean emission factor	Emission (GgN/yr)
Husbandry	cattle	1.8 · 10 ⁶	18 kg NH ₃ /yr ^b	27
	pig	9.0 · 10 ⁶	2.8 "	21
	sheep	2.3 · 10 ⁶	3.1 "	6
	horse	0.12 · 10 ⁶	9.4 "	0.9
	poultry	37.1 · 10 ⁶	0.26 "	8
Fertilizer use		593 · 10 ³ tN	6.2% ^b	37
Industrial sources				3.3 ^b
Soil exhalation				4 – 16 ^d
Ammonia oxidation				- 0.6 – / - 2.5 ^d
Total				107 – 117

^a *KSH* (1987) – ^b *Buijsman et al.* (1986) – ^c in 1982 – ^d *Bónis* (1981)

(see *Table 2*). Emission factors for ammonia are more reliable than those of for nitrogen oxides, therefore, only one figure is given instead of an interval. One can see in *Table 2* that industrial sources of ammonia are negligible while natural sources emit 4–16 GgN/yr. Total (anthropogenic and natural) ammonia emission amounts to 112 ± 5 GgN/yr, in Hungary.

3. Deposition

One of the main forms of deposition for nitrogen compounds is scavenging by precipitation. Oxidized and reduced nitrogen compounds are deposited by precipitation as nitrate and ammonium ions owing to chemical processes taking place in gas phase and in liquid drops. Rates of wet deposition can be determined by means of measured concentrations of these ions in precipitation as well as of amounts of precipitation. In Hungary ten wet-only precipitation collectors have been operating since the 1970's. The wet deposition figures calculated from weighted mean concentrations and averaged precipitation amounts from the precipitation chemistry network can be seen in *Table 3*. Consequently, the total wet deposition of nitrogen compounds in Hungary is 76 GgN/yr.

TABLE 3
Sinks of atmospheric nitrogen compounds in Hungary
(after Horváth, 1987)

Components	Wet deposition	Dry deposition	Total deposition
	(GgN/yr)		
NO ₂	—	34	34
HNO ₃	—	27	27
NO ₃ ⁻	33	<1	33
Sum of oxidized N compounds	33	61	94
NH ₄ ⁺	43	1	44
NH ₃	—	8	8
Sum of reduced N compounds	43	9	52
Total	76	70	146

Determination of dry deposition, which is another important form of deposition is a more complex task. For this, one has to know on the one hand the atmospheric concentrations and on the other the so-called deposition velocities of the given species. Atmospheric concentrations of different nitrogen compounds are measured in the Hungarian background air pollution monitoring network. Dry deposition velocities were accepted from the results of measurements carried out in Hungary (for detail see: Horváth, 1987).

It should be mentioned here that the dry deposition velocity of ammonia gas may change from place to place to a high extent not only for the change

of ambient meteorological conditions but also for the different chemical conditions of the lower troposphere and of different surfaces. Moreover, sometimes emission rather than deposition occurs. For the exact determination of the dry deposition of ammonia extended investigations would be needed. Without these, the dry deposition figure for ammonia given in Table 3 is somewhat uncertain.

Dry deposition figures for oxidized and reduced nitrogen compounds can be seen in Table 3. The total dry deposition is practically the same as the wet deposition and amounts to 70 GgN/yr. The total (dry+wet) deposition of nitrogen compounds is 146 GgN/yr, in which the contribution of oxidized nitrogen compounds is the larger fraction.

4. Comparison of strengths of sources and sinks

The strength of sources and sinks can be compared in Table 4 both for oxidized and reduced nitrogen compounds. In the case of oxidized species emission and deposition are in approximately 75 percents balanced, i.e. sinks seem to be less effective than sources.

TABLE 4
Comparison of sources and sinks of nitrogen compounds (first rows are the results of this paper, second rows are based on data of Bónis, 1981)

Components	Sources	Sinks
	(GgN/yr)	
Oxidized N compounds	123 ± 57	94
	74 ± 27	61
Reduced N compounds	112 ± 5	52
	100 ± 27	92
Oxidized + reduced N compounds	235 ± 62	146
	174 ± 54	153

For reduced compounds the calculated emissions are approximately twice higher than deposition. It seems that Hungary exports a considerable amount of reduced nitrogen towards neighbouring countries. Exports occur probably in the form of ammonium ions since the ammonia /ammonium transformation takes place relatively rapidly ($k = 3.9 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}$, *Asman et al.*, 1986). According to *Asman and Janssen* (1987) a considerable part of the ammonium content of air and precipitation (20–80%) is of foreign origin in European countries. From the calculations of the latter authors, the emissions of reduced nitrogen compounds in Hungary is 125 GgN/yr, which is in a good agreement with the figure estimated in this paper (112 GgN/yr). *Asman and Janssen* (1987) have calculated the ammonia emissions similarly to this paper (i.e. from number of animals and by means of emission factors). Ambient concentrations and deposition rates were calculated using a Lagrangian model. According to the model calculations of these authors, the total deposition of reduced nitrogen compounds is 94 GgN/yr, which is in contrast with our figure (52 GgN/yr).

The reason of this contradiction may be the fact that *Asman* and *Janssen* (1987) used atmospheric ammonia and ammonium concentrations which are nearly twice higher for their model calculations than the measured figures.

Considering both oxidized and reduced nitrogen compounds approximately 38 (16–51) percents of emissions are exported towards other countries.

REFERENCES

- Asman, W. A. H.* and *Janssen, A. J.*, 1987: A long-range transport for ammonia and ammonium for Europe. *Atmospheric Environment* 21, 2099–2119.
- Asman, W. A. H.*, *Buijsman, E.*, *Vermetten, A.*, *Ten Brink, H. M.*, *Heijboer, R. J.*, *Janssen, A. J.*, *Slavina, J.*, 1986: Import and export of acid pollution in the Netherlands. Institute for Meteorology and Oceanography, Report R-86-6, Utrecht, The Netherlands.
- Bede, G.* and *Gács, I.*, 1986: Present and future sulfur dioxide and nitrogen oxide emissions in Hungary (in Hungarian). *Időjárás* 90, 77–83.
- Bónis, K.*, 1981: The atmospheric budget of nitrogen compounds over Hungary (in Hungarian). *Időjárás* 85, 149–156.
- Bónis, K.*, *Mészáros, E.* and *Putsay, M.*, 1980: On the atmospheric budget of nitrogen compounds over Europe. *Időjárás* 84, 57–68.
- Böttger, A.*, *Ehhalt, D. M.* and *Gravenhorst, G.*, 1978: Atmosphärische Kreislaufe von Stickoxiden und Ammoniak. *Berichte der Kernforschungsanlage Jülich*. Nr. 1558.
- Buijsman, E.*, *Maas, H. F. M.* and *Asman, W. A. H.*, 1986: Anthropogenic ammonia emissions in Europe. Institute for Meteorology and Oceanography, Report R-86-17, Utrecht, The Netherlands.
- Cooper, J. A.*, 1980: Environmental impact of residential wood combustion emissions and its implications. *J. Air Pollut. Contr. Assoc.* 30, 855–861.
- Dauids, P.*, 1977: Materialien zum immissionsschutzbericht 1977 der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag. In: *Umweltbundesamt* (ed.: P. Dauids). Erich Schmidt Verlag, Berlin, Germany.
- EPA*, 1973: *Compilation of air pollutant emission factors*. PB-223996, AP-42. Research Triangle Park, N. C., USA.
- EPA*, 1977: *Compilation of air pollution emission factors*. AP-42. Research Triangle Park, N. C., USA.
- EPA*, 1978: *Mobile source emission factors*. EPA-400/9-78-006, Washington, D. C., USA.
- EPA*, 1982: *Supplements 8-12 to compilation of air pollution emission factors*. AP-42, Research Triangle Park, N. C., USA.
- Horváth, L.*, 1987: *Measure of atmospheric acid deposition in Hungary* (in Hungarian). Thesis for candidature, Budapest.
- KSH*, 1987: *Statistical year-book, 1986* (in Hungarian). Hungarian Statistical Office, Budapest.
- Logan, J. A.*, 1983: Nitrogen oxides in the troposphere: global and regional budgets. *J. of Geophys. Res.* 88, 10,785–10,807.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 92. évf. 6. szám. 1988. november—december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 92 No 6 Nov—Dec 1988. Budapest

A new evaluation of the atmospheric sulfur budget over Hungary*

L. BOZÓ

*Institute for Atmospheric Physics,
H—1675 Budapest, P.O.Box 39, Hungary*

The aim of this paper is the investigation of Hungarian sulfur budget by determining the sulfur emission and deposition in the country. Emission has been calculated on the basis of statistical data and emission factors while dry and wet depositions have been estimated by means of the results from Hungarian air chemistry network. On the basis of the method used the horizontal transport of sulfur can be estimated so conclusions can be drawn on the role of Hungary in the European atmospheric sulfur budget.

*

A magyarországi kénmérleg újabb értékelése. A dolgozat célja a magyarországi kénmérleg vizsgálata a hazai kénemisszió és az ülepedés meghatározásának segítségével. Az emissziót statisztikai adatok, valamint emissziófaktorok, míg a száraz és nedves ülepedést a magyar levegőkémiai hálózat mérési eredményeinek felhasználásával számítottuk ki. Az alkalmazott módszer alapján megbecsülhető a kén horizontális transzportja, így következtetéseket vonhatunk le Magyarországnak az európai kénháztartásban játszott szerepéről.

*

The atmospheric sulfur budget of Hungary was first determined by Várhelyi (1982). As the emission of SO₂ and deposition of SO₂ and sulfate particles have probably changed since then as well as she couldn't take into account correct wet removal data for the lack of the wet-only collectors at the Hungarian air chemistry network, a new sulfur balance estimation is needed. Our calculations were made for a box over Hungary up to the tropopause without any exchange with the stratosphere. It is assumed that there is no accumulation of sulfur in the box over a year's period, which means that the gains and losses of the box are equal on a yearly average.

1. Equations used for the calculations

The mass balance equations for SO₂ and sulfate can be given as follows:

$$E + A_{im} = D_{dry} + D_{wet} + T + A_{ex} \quad (1)$$

$$T + A_{im}^* = D_{dry}^* + D_{wet}^* + A_{ex}^* \quad (2)$$

*) This work was supported by the Hungarian Academy of Sciences as an OTKA project.

where E: SO₂ emission from the surface,
 A_{im}, A_{im}^{*}: import terms for SO₂ and sulfate,
 A_{ex}, A_{ex}^{*}: export terms for SO₂ and sulfate,
 D_{dry}, D_{dry}^{*}: dry deposition of SO₂ and sulfate,
 D_{wet}, D_{wet}^{*}: wet deposition of SO₂ and sulfate,
 T: mass of SO₂ transformed into sulfate
 over the country.

Let $\Delta A = A_{im} - A_{ex}$ and

$\Delta A^* = A_{im}^* - A_{ex}^*$ then it follows from the equations (1) and (2):

$$\Delta A = D_{dry} + D_{wet} + T - E \text{ and}$$

$$\Delta A^* = D_{dry}^* + D_{wet}^* - T.$$

Emission have been determined by taking into account the consumption of fossil fuels and sulfur release of industrial processes. Dry and wet depositions were calculated on the basis of atmospheric measurements. T was estimated by using the calculations of Horváth and Bónis (1980).

2. Emission of sulfur compounds in Hungary

The natural source strength of sulfur species has been estimated on the basis of a data compilation by Várhelyi and Gravenhorst (1981). These authors estimated the average continental emission to be 0.01–0.03 gSm⁻²yr⁻¹. So the corresponding value of release for Hungary has an order of 10⁻³ TgSyr⁻¹. Anthropogenic sulfur emission – that occurs first of all in the form of SO₂ emission – was calculated on the basis of statistical figures (KSH, 1986a; KSH, 1986b).

2.1. Fossil fuel consumption, emission factors. The consumption data for fossil fuels were taken from KSH (1986a).

In order to determine SO₂ emission coming from fossil fuel consumption it was necessary to know the sulfur content of all fuel materials. Since our national energy consumption is only partly based upon fuel materials mined in Hungary, information on the sulfur content of imported materials (Möller,

TABLE 1
 Consumption of fossil fuels and their average S content (1985)

Fuel material	Consumption (10 ³ t)	S content (%)
Hard coal	4 050*	1.8
Brown coal	13 867	2.6
Lignite	7 203	1.4
Coal coke	2 009	1.1
Residual fuel oil	2 861	3.5
Distillate fuel oil	3 738	<0.5**
Gasoline	2 298	<0.1**
Wood	2 138	0.1+

* Without hard coal used in cement industry

** Gerecs (1968)

+ Altmann and Dittmer (1981)

1984) as well as on the part of it in the total national utilization is needed. The data referring to the imported fuel materials were taken from *KSH* (1986b).

Sulfur content of fossil fuels mined in Hungary has been estimated by works of *Bede and Gács* (1986) and *Takács and Bella* (1984). Sulfur content of hard coal used in cement industry is not released into the atmosphere (*Möller*, 1984) this amount, estimated on the basis of the ratio 1 t coal/7.4 t cement (*Cullis and Hirschler*, 1980) was subtracted from the total coal consumption. The production of Hungarian cement industry was $3687 \cdot 10^3$ t cement in 1985, it needed $497 \cdot 10^3$ t hard coal. Consumption of fossil fuels and their average S content are listed in *Table 1*. Emission factors used in calculations were taken from *Várhelyi* (1985) and are shown in *Table 2*.

TABLE 2
Emission factors of SO₂ emitting processes (kgSt⁻¹)
(*Várhelyi*, 1985)

Combustion of*			
hard coal	8.5	Oil refining	1.5
brown coal	7.0	Ore smelting	
coal coke	9.5	Cu	1000**
wood	0.01	Zn	100
Energy petroleum products	9.5	H ₂ SO ₄ production	5

* The emission factors of the combustion processes refer to 1% S content of the fuel

** Without retention (*Möller*, 1984)

Using the fossil fuel consumption, average S content of fuels as well as emission factors, one obtains the SO₂ emissions indicated in *Table 3*.

2.2. *SO₂ release of industrial processes.* Statistical figures referring to the petroleum refining, ore smelting and H₂SO₄ production were taken from *KSH* (1986a) and *UN* (1983). These data are listed in *Table 4*. For the calculation of SO₂ emission the emission factors shown in *Table 2*. were used. It can be seen that SO₂ release coming from the processes of ore smelting and H₂SO₄ production is negligible compared to emission from fossil fuel consumption. It is only the petroleum refining that has a relatively significant contribution to the national SO₂ emission of anthropogenic origin. On the basis of data summarised in *Table*

TABLE 3
SO₂ emission from fuel consumption (1985)

Fuel material	SO ₂ emission (TgSyr ⁻¹)	Fuel material	SO ₂ emission (TgSyr ⁻¹)
Hard coal	0.06	Residual fuel oil	0.1
Brown coal	0.25	Distillate fuel oil	0.02
Lignite	0.07	Gasoline	<0.01
Coal coke	0.02	Wood	<0.01

TABLE 4
SO₂ release from industrial processes (1985)

	Production (10 ³ t)	SO ₂ emission (TgSyr ⁻¹)
Oil refining	8948	0.01
Ore smelting*		
Cu	2.8	<0.01
Zn	0.2	<0.01
H ₂ SO ₄ production	520	<0.01

* UN Statistical Yearbook (1983)

3 and 4 the total SO₂ release is 0.53 TgSyr⁻¹. It is noteworthy that more than half of it originates from the combustion of brown coal and lignite with high S content.

Taking into consideration that S release of natural origin has only an order of magnitude of 10⁻³ TgSyr⁻¹, so it can be neglected compared to the anthropogenic emission.

3. Deposition of sulfur compounds over Hungary

3.1. Dry deposition. Dry deposition of atmospheric sulfur compounds can be determined by multiplying the averaged concentration near the surface and deposition velocity. This latter value for SO₂ has been determined by Várhelyi (1980) above grass surfaces. Its value is 0.6 cms⁻¹. On the basis of measurements carried out in 52 Hungarian towns and at the regional background air pollution station in central Hungary (MTA-OKTH, 1984), 7.9 µgSm⁻³ weighted mean concentration of SO₂ was calculated. So the amount of SO₂ deposited by dry deposition is 0.14 TgSyr⁻¹. Since sulfate concentration has no significant geographical variation in Hungary, dry deposition of sulfate particles was calculated by using sulfate concentration measured at the background station. Its value is 2.8 µgSm⁻³ (MTA-OKTH, 1984). The average deposition velocity of 0.1 cms⁻¹ has been taken from Möller (1983). Thus mass of sulfate deposited onto the surface of Hungary by dry deposition is negligible (<0.01 TgSyr⁻¹) compared to dry deposition of SO₂.

3.2. Wet deposition. Amount of atmospheric sulfate deposited by precipitation has been determined by means of 10 wet-only precipitation collectors which have been operating since the 70's. Sulfate concentration measured in precipitation was 6.32 mg l⁻¹ and the average precipitation amount was 529 mmy⁻¹ in 1985. On the basis of these figures 1.11 gSm⁻² yr⁻¹ sulfate was deposited in Hungary. Regarding the territory of Hungary (9.3 · 10⁴ km²) the total wet deposition of sulfur is 0.10 TgSyr⁻¹. Since the wet deposition of SO₂ and sulfate can only be measured altogether as the sulfate content of precipitation an atmospheric model was used (Várhelyi, 1977) in order to estimate the part of SO₂ as well as sulfate particles in the total wet sulfur deposition. This model describes the main rainout and washout processes of both SO₂ and sulfate particles. Model calculations show that the contribution ratios of SO₂ and sulfate in the total wet deposition are 59% and 41%, respectively. It means that the amounts of SO₂ and sulfate deposited by wet deposition are 0.06 and 0.04 TgSyr⁻¹.

4. Transformation of SO₂ into sulfate over Hungary

The sulfur dioxide-sulfate conversion has to be studied on the basis of atmospheric observations, since the simulation of atmospheric conditions by laboratory experiments is very difficult.

Horváth and Bónis (1980) assumed that the chemical transformation is of first order. They have investigated an air column moving from Budapest towards the regional station in the central part of Hungary. Measured air chemical and meteorological parameters as well as estimated dry deposition velocities have been taken into account. On the basis of their calculations the rate constant for SO₂-SO₄ oxidation has an average value of 0.036 hr⁻¹. Várhelyi (1978) has determined the scale height of SO₂ over Hungary (608 m) on the basis of aircraft measurements. Regarding the average atmospheric ground surface SO₂ concentration of 7.9 µgSm⁻³ the value of T is 0.14 TgSyr⁻¹.

5. Sulfur budget and its comparison with earlier results

Results of our calculations and those of Várhelyi (1982) are summarised in Table 5. It can be seen that our emission value for SO₂ is much lower than that of used in the budget of Várhelyi (1982). (Her figure for SO₂ release was taken from ECE (1978)). Though it can be stated on the basis of 1988 EMEP/ MSC-W report (NILU, 1988) that the Hungarian SO₂ emission declined by about 13% between 1979 and 1985, the emission value for SO₂ is a bit underestimated in this paper. Its possible reason can be the uncertainty of emission factors and the values of average S content of fossil fuels.

Concentrations in air and precipitation are only partly related to Hungarian emissions. They result from all European sources. Since the emission of SO₂ declined not only in Hungary during the period of 1982-1985 but in many countries where Hungary "imports" sulfur from (NILU, 1988) so it is not surprising that the values of dry and wet depositions are lower in our calculations. The lower value in wet deposition is partly caused by the fact that we could take into account the deposition data gained by wet only collectors. One can see in the budget that the main removal processes for SO₂ are dry deposition and transformation into sulfate over Hungary. Dry and wet deposition as well as transformation of SO₂ compensate 64% of Hungarian SO₂ emission. Dry deposition of sulfate doesn't play any significant role over Hungary. Wet deposition of sulfate balances only 29% of sulfate produce by transformation of SO₂.

TABLE 5
Sulfur budget over Hungary (TgSyr⁻¹)

	SO ₂		SO ₄		Total sulfur	
	Várhelyi (1982)	Present paper	Várhelyi (1982)	Present paper	Várhelyi (1982)	Present paper
E	0.75	0.53	-	-	0.75	0.53
T	0.17	0.14	0.17	0.14	-	-
D _{dry}	0.18	0.14	-	-	0.18	0.14
D _{wet}	0.12	0.06	0.08	0.04	0.20	0.10
ΔA	-0.28	-0.19	-0.09	-0.10	-0.37	-0.29

The negative signs of ΔA and ΔA^* mean that less SO_2 and sulfate are deposited onto surface than originate from SO_2 release in Hungary. One can conclude that 45% of Hungarian SO_2 emission is removed by dry and wet depositions of SO_2 and sulfate in our country and 55% is transported out of Hungary. 65% of this transported amount is in the form of SO_2 and the remaining part as sulfate. It should be noted, however, that not the total sulfur removed in our "box" originates from Hungarian sources.

REFERENCES

- Altman, P. L. and Dittmer, D. S., 1971: *Biology Data Book* (2nd Edition) Bethesda, MD.
- Bede, G. and Gács, I., 1986: Present and future SO_2 and NO_x emissions from sources in Hungary (in Hungarian). *Időjárás* 90, 77–83.
- Cullis, C. F. and Hirschler, M. M., 1980: Emission of sulfur: natural and man-made sources. *Atmos. Environ.* 14, 1263–1278.
- ECE, 1978: ECE Special Group on Long-range Transboundary Air Pollution Emission Data of the European countries.
- Gerecs, A., 1968: *Chemical Technology* (in Hungarian). Tankönyvkiadó, Budapest.
- Horváth, L. and Bónis, K., 1980: An attempt to estimate the rate constant of sulfur dioxide-sulfate conversion in the urban plume of Budapest. *Időjárás* 84, 190–195.
- KSH, 1986a: *Statistical Yearbook*. KSH, Budapest.
- KSH, 1986b: *International Statistical Yearbook*. KSH, Budapest
- Möller, D., 1983: The global sulfur cycle. *Időjárás* 87, 121–143.
- Möller, D., 1984: Estimation of the global man-made sulfur emission. *Atmos. Environ.* 18, 19–27.
- MTA–OKTH, 1984: Formation and measurement of the atmospheric acid deposition in Hungary. *Report 12/1984* (in Hungarian).
- NILU, 1988: EMEP/MSC–W *Report 1/88*.
- Takács, P. and Bella, L., 1984: The emission lowering effect of coal preparation and processing (in Hungarian). *Időjárás* 88, 299–308.
- UN, 1983: *Statistical Yearbook 1981/82*. United Nations, New York.
- Várhelyi, G., 1977: Wet removal of tropospheric sulfur compounds. *Időjárás* 81, 85–93.
- Várhelyi, G., 1978: On the vertical distribution of sulfur compounds in the lower troposphere. *Tellus* 30, 542–545.
- Várhelyi, G., 1980: Dry deposition of atmospheric sulfur and nitrogen oxides. *Időjárás* 84, 15–20.
- Várhelyi, G., 1982: On the atmospheric sulfur budget over Hungary. *Időjárás* 86, 333–337.
- Várhelyi, G., 1985: Continental and global sulfur budgets – I. Anthropogenic SO_2 emissions. *Atmos. Environ.* 19, 1029–1040.
- Várhelyi, G. and Gravenhorst, G. 1981: An attempt to estimate biogenic sulfur emission into the atmosphere. *Időjárás* 85, 126–133.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 92. évf. 6. szám. 1988. november – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 92 No 6 Nov – Dec 1988. Budapest

Az ionoszférarétegek naptevékenységgel kapcsolatos változásai

SAIKÓ JÁNOS

Központi Léggörfizikai Intézet,
H-1675 Budapest, Pf. 39.

A szerző a magyarországi ionoszféra mérések három évtizedes adatsorának felhasználásával statisztikai módszerekkel vizsgálta az ionoszféra foE, foF1, foF2, hpF2 és h'F paramétereinek, valamint az ionoszféra háborgások gyakoriságának naptevékenységgel kapcsolatos változásait. A talált összefüggésekre empirikus formulákat állított fel, amelyek jól alkalmazhatók az ionoszféra változásainak előrejelzéséhez.

*

Variations of the ionosphere related to solar activity. The variations of ionospheric parameters (foE, foF1, foF2, hpF2 and h'F) and the frequency of ionospheric disturbances are discussed in relation with solar activity on the basis of the data set obtained in Hungary during thirty years. The relationships are given by means of empirical formulae which can be used to forecast changes in the state of the ionosphere.

*

Bevezetés. Az ionoszféra 1900-as évek elején történt felfedezését követően közel két évtizednek kellett eltelnie ahhoz, hogy 1924-ben Breit és Tuve-nak sikerüljön megterveznie és megépítenie azt az első rádióimpulzusokkal működő ionoszféra vizsgáló készüléket, amellyel már rendszeresen mérni lehetett a 100 km feletti ionoszférarétegek mindenkori fizikai állapotát. Bár ennek a vizsgálati módszernek az elmélete hamar ismeretessé vált a világon, az egész Földünkre kiterjedő gyakorlati alkalmazása csak a II. világháború után, az elektronikai ipar gyors fejlődése nyomán valósulhatott meg, amikor már sokoldalúan bebizonyosodott, hogy a felső légkör fizikai folyamatainak tanulmányozása, valamint a nagy távolságú rádióösszeköttetések megszervezése szinte elképzelhetetlen az ionoszféra változásainak ismerete nélkül. A mai ionoszféra állomáshálózat és ennek mérési anyagát összegyűjtő adatcentrumok jól működő szervezete a Nemzetközi Geofizikai Év kezdetére (1957) alakult ki. Erre az időre tehető az ionogramok nemzetközileg elfogadott kiértékelési szabályainak pontos megfogalmazása is, amelyeknek alkalmazásával vált lehetővé az ionoszféra-paraméterek egységes értelmezése. Az ionoszféra-vizsgáló állomáshálózat adatcseréjébe az Országos Meteorológiai Szolgálat 1955-ben kapcsolódott be és 1957-től, azaz az NGÉ kezdetétől már rendszeres adatszolgáltatója az ionoszféra adatcentrumoknak is.

Budapesten (1955–60-ig) és Békéscsabán (1960-tól) végzett ionoszféra mérések több mint három évtizedes hazai adatsora jó lehetőséget kínált a különböző irányú kutatásokra, így pl. arra is, hogy részletesen vizsgáljuk az ionoszférarétegek kritikus frekvenciáinak és magasságainak naptevékenységgel összefüggő változásait; e kapcsolat ismerete mind geofizikai, mind rádióhullámterjedési szempontból egyaránt fontosnak minősül.

1. Az ionoszféra rétegek paraméterei

Mielőtt a vizsgálat módszerének és a kapott eredmények ismertetésére rátérnénk, néhány alapfogalmat kell tisztáznunk. A vertikális ionoszféra szondázások regisztrátumaiból többek között a különböző ionoszféra rétegek virtuális, vagy látszólagos magasságait (a rádióhullám terjedési sebességét a visszaverődési magasságig, és vissza, a fény terjedési sebességével véve azonosnak) és a maximális elektronsűrűségeivel arányos kritikus frekvenciáit határozhatjuk meg. Így kerülnek kiértékelésre pl. a legfontosabbnak mondható karakterisztikák: az ionoszféra E, F1 és F2 rétegének kritikus frekvenciái (jelölésük: foE, foF1, foF2), valamint az F tartomány legalacsonyabb virtuális magassága (h'F) és az F2 réteg maximális elektronsűrűségének a magassága (hpF2).

A kritikus frekvenciából a maximális elektronsűrűség (N_e , cm^{-3}) az alábbi egyszerű összefüggés alapján számítható ki (Rawer, 1953):

$$N_e = 1,24 \cdot 10^4 \cdot f^2,$$

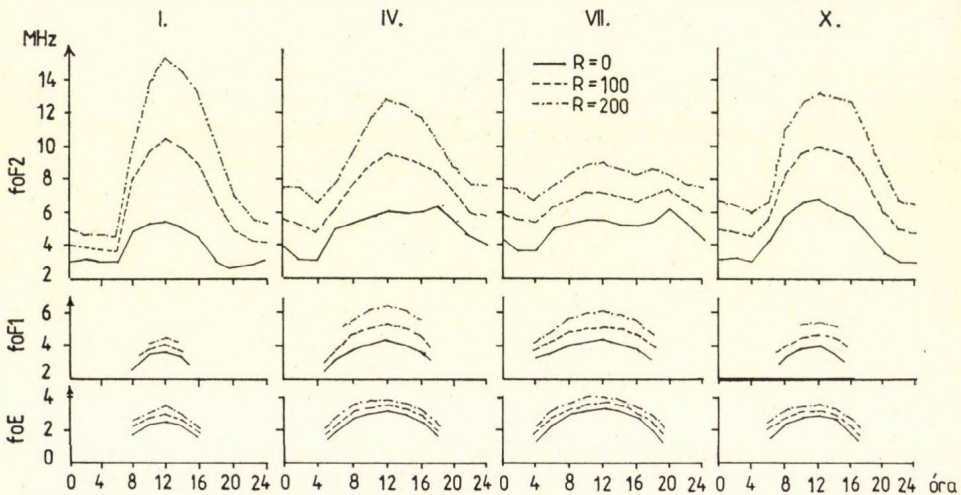
ahol f – a kérdéses réteg kritikus frekvenciája MHz-ben. A kritikus frekvenciát általában a rádió-hullámterjedési vizsgálatoknál, míg a maximális elektronsűrűséget többnyire a geofizikai jellegű kutatásoknál használják.

Már az ionoszféra mérések kezdeti időszakában ismeretessé vált, hogy az ionoszférarétegek napi, évszakos és évi változását elsősorban a napmagassággal összefüggő extrém ultraibolya (17–102,7 nm) és röntgen sugárzás (1–17 nm) erőssége szabja meg (Rishbeth és Garriot, 1969), s azt a naptevékenység szintje is befolyásolja. A naptevékenység okozta változások a Föld különböző pontjain más-más mértékben jelentkeznek és nagyságukat elsősorban az egyes ionoszférállomások hosszú időtartamú adatsorának statisztikai elemzésével lehet meghatározni. Az ilyen jellegű kutatásoknál azonban mindig vitatott kérdésnek számít az, hogy a naptevékenység szintjére vajon milyen mutatószámot is használjunk, ami az ionoszféra ionizációjánál szerepet játszó extrém ultraibolya sugárzás intenzitását a legjobban jellemzi. Bár a napfizikusok a naptevékenység szintjét már számtalan index-szel próbálták jellemezni, mégis úgy tűnik, hogy a Napon végbemenő fizikai folyamatokat egyikük sem tükrözi hűen. Az eddigi tapasztalatok szerint a hosszú adatsorok vizsgálatánál a relatív napfoltszám használata a célszerű, nemcsak azért, mert ezek az adatok visszamenőleg akár évszázadokra is rendelkezésre állnak, hanem azért is, mivel egyelőre jobbat még az ionoszféra előrejelző központok sem tudnak alkalmazni.

2. Az ionoszféraparaméterek kapcsolata a naptevékenységgel

Igaz ugyan, hogy az ionoszféra naptevékenységgel kapcsolatos változásainak összefüggéseit tartalmazó első megbízható empirikus formulákat már 1948-ban közzétették (pl. CRPL–462, 1948), a pontosabb függvényeket csak az NGFé mérési eredményeinek részletes feldolgozása után publikálták, majd ezt követőleg a kutatások egész sora foglalkozott még ezzel a témával.

A hazai ionoszféra-mérések egy rövidebb időszakra kiterjedő (kb. 5–10 év) anyagának a feldolgozásával már nálunk is történtek ilyen irányú kutatások (Flórián, 1961, 1970, 1975), azonban az azóta eltelt idő, a felgyülemlett, immár 30 évi adatsorunk, valamint a hazai frekvencia-előrejelzések szolgáltatásainál felmerülő igények, felhívták a figyelmet az akkor végzett vizsgálatok kiszélesítésének szükséges voltára. Elsősorban az érdekelt bennünket, hogy az ionoszférarétegek hazánk felett 1957–85-ig mért paramétereinek napi, évszakos, évi és 11 éves menetei milyen függvénykapcsolatokat mutatnak a naptevékenységgel.



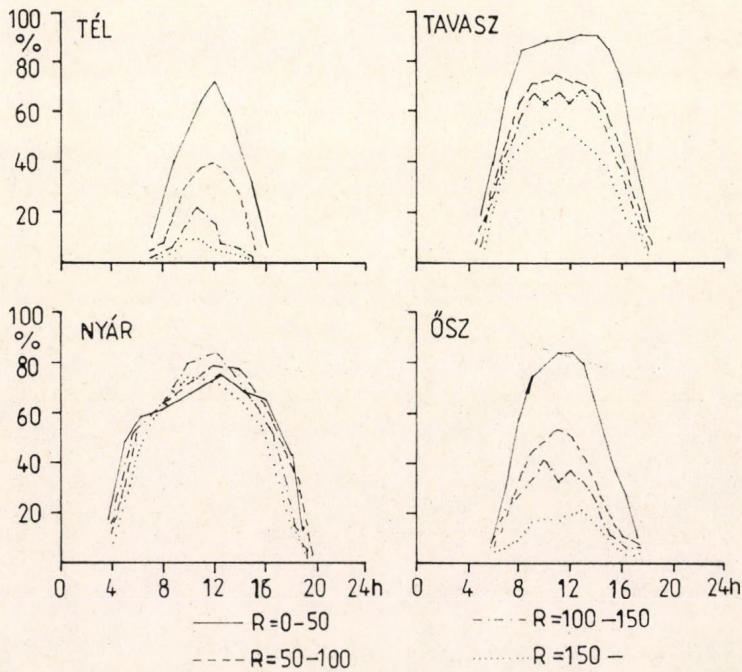
1. ábra. Az foF2, foF1, foE ionoszféra karakterisztika sokéves (1957–85) havi óraátlagainak napi menete I., IV., VII. és X. hónapban $R = 0, 100$ - és 200 -as relatív napfoltszám esetén

E munka keretében már az előző években vizsgálatokat végeztünk (Saikó, 1986, 1987) az foE, foF1 és foF2 ionoszféra karakterisztikák havi óramedián értékei és a havi átlagos relatív napfoltszám (R) közötti összefüggések megállapítására. Az eredményekből kitűnt, hogy a fenti ionoszférparaméterek és a naptevékenység közötti korrelációs kapcsolat a közel 30 évi adatsornak az elemzése során minden hónapban az egész nap folyamán szorosnak mutatkozott ($r = 0,8 - 0,99$), kivételt csupán az foE és foF1 esetében a reggeli és az esti időszakban ($r = 0,6 - 0,8$), – azaz e rétegek keletkezésének és megszűnésének idején – valamint az foE1-nél a téli időszakban találtunk, amikor a lapos szögben érkező napsugárzás az F-régióban az F1 és F2-rétegre történő felhasadást nem, vagy csak nagyon ritkán tudja létrehozni. Ilyenkor az foF1 és a naptevékenység közötti kapcsolatot jelző korrelációs faktorok értékei csak gyenge ($r = 0,3 - 0,7$) összefüggésre utaltak.

A továbbiakban az 1957–85-ig terjedő időszakban mért foE, foF1, foF2, valamint a h'F és a hpF2 ionoszféra karakterisztikák évenkénti havi óramedián értékeinek változását vizsgáltuk a havi átlagos relatív napfoltszám függvényében. A vizsgálataink (Saikó, 1986, 1987, 1988) során kitűnt, hogy a fent említett ionoszféra-paraméterek esetében a kapcsolat regressziós egyenesekkel jól jellemezhető, melyeknek egyenleteit óránként határoztunk meg. Ezeknek az egyen-

leteknek az ismeretében lehetőségünk van pl. arra is, hogy bármely hónap, bármely órájára előrejelzést készítsünk az egyes ionoszféra karakterisztikák várható értékére, melyhez nem kell más ismernünk, csak az arra az időszakra várható naptevékenységi szintet.

Tájékoztató céljából a fenti munkáinkban közölt regressziós egyenesek egyenleteivel meghatároztuk $R = 0, 100, 200$ -as relatív napfoltszám esetén: január, április, július, valamint október hónapokra az foF2, foF1 és foE értékek napi meneteit. A kapott eredményeket grafikusan az 1. ábra mutatja be. A görbék

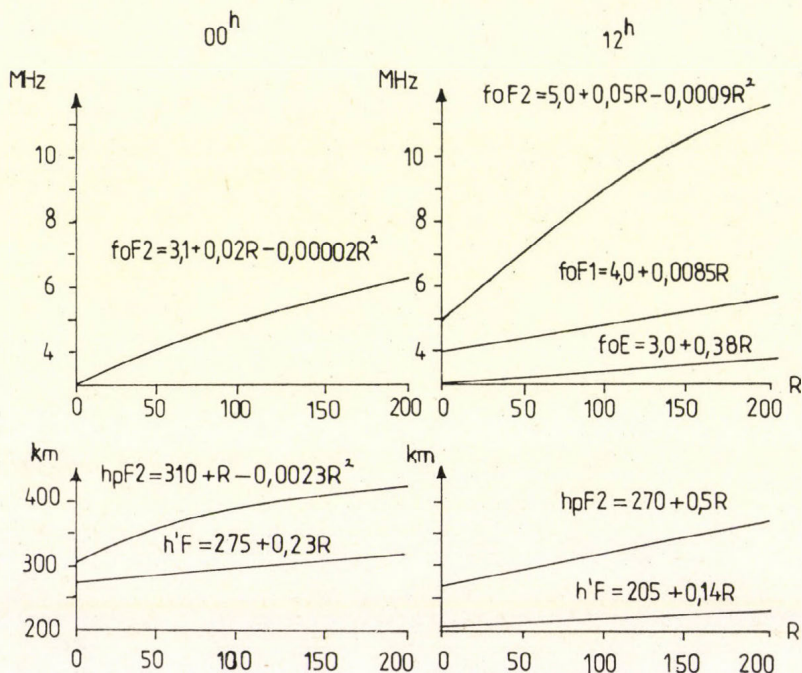


2. ábra. Az F1 réteg előfordulásának óras gyakorisága évszakonként különböző naptevékenységi szintek esetén

jól szemléltetik az egyes ionoszféra karakterisztikák napi változását a kiválasztott három naptevékenységi szinten, amelyeknek amplitúdói az év folyamán változnak. Jól látható, hogy a naptevékenység hatása a legerősebben az ionoszféra foF2 paraméterénél január hónap nappali óráiban jelentkezik, amikor a relatív napfoltszám emelkedésével az F2 réteg elektronsűrűsége nagymértékben növekszik, ugyanakkor júliusban a felső ionoszféra molekuláris komponenseinek koncentráció-növekedése és az ezzel összefüggő fokozott mérvű rekombinációs hatások (elektron és ion újraegyesülése) miatt csak mérsékeltan jelentkezik az évszakos és évi anomáliának megfelelően. Az foF1 és foE karakterisztika esetében a görbék jól szemléltetik az F1 és E réteg keletkezésének és feloszlásának időpontját, valamint a napmagassággal szorosan összefüggő elektronsűrűség értékeinek napi meneteit. Az foF1 értékek a nyári hónapokban a legmagasabbak, melyeknek nagysága a déli órákban a naptevékenység fokozódásával növekszik. Az foF1 görbéiből még az is jól látszik, hogy nagy napaktivitás idején télen, sőt

bizonyos mértékig az átmeneti évszakokban is, az F1 réteg keletkezésére csak a dél körüli órákban lehet számítani. Az foE-nél a legmagasabb értékek nyáron, nagy naptevékenység idején és a déli órákban jelentkeznek, majd télen az értékek 0,6–0,8 MHz-el csökkennek.

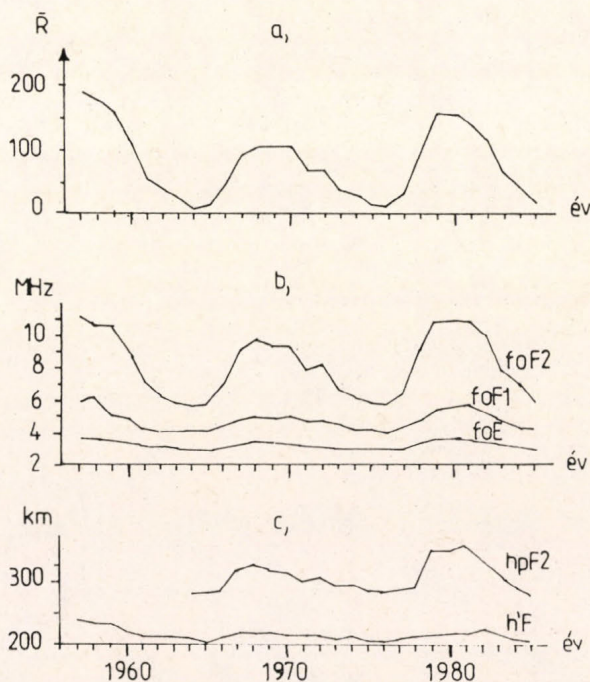
Főként hullámterjedési szempontból fontos az F-régió több rétegre történő felhasadási gyakoriságának az ismerete, ugyanis ezt a körülményt a rövid rádióhullámon történő hírközlés megtervezésénél is figyelembe kell venni. Az F1 réteg előfordulásának gyakoriságát évszakonként négy különböző naptevékenységi intervallumban ($R = 0-50$, $R = 50-100$, $R = 100-150$, $R > 150$)



3. ábra. Az foF2, foF1, foE, hpF2 és h'F ionoszféra karakterisztika évi átlagértékeinek változása a relatív napfoltszám függvényében 00 és 12 órákor

vizsgáltuk meg, felhasználva az 1957–85-ig terjedő valamennyi hazai ionoszféra megfigyelések óránkénti adatát. Az F1 réteg így meghatározott évszakos relatív gyakoriságát az egyes órákra vonatkozólag az összes esetek százalékában kifejezve a 2. ábrán tüntettük fel. Az ábra jól mutatja, hogy minden évszakban az F1 réteg a legnagyobb gyakorisági értékekkel a dél körüli órákban jelentkezik, ahol kiemelkednek az alacsony napaktivitású évek, amikor 80–90%-ot is elérhet az előfordulás gyakorisága. Nyáron szinte alig van különbség az egyes görbék között, melyeknek maximuma általában 70–80% körül mozog, ugyanakkor az átmeneti évszakokban, különösen pedig télen, magas napaktivitás idején ($R > 150$), az F1 réteg előfordulási gyakorisága már lényegesen csökken. Így pl. az F1 réteg tavasszal a déli órákban 50%, ősszel 20%, télen 10%-os valószínűséggel fordul elő.

A továbbiakban a közel 30 évi adatsorunk felhasználásával azt vizsgáltuk meg, hogy az egyes ionoszféra karakterisztikák évi átlagértékeinek változása 00 és 12 órakor a naptevékenység függvényében milyen egyenletekkel írható le. A kapott eredményeket a 3. ábra grafikonjain mutatjuk be, amelyek alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le. 00 órakor az F2 réteg paraméterei közül az foF2 és a hpF2 évi átlagértékeinek változását az évi átlagos relatív napfoltszám (R) függvényében másodfokú polinommal írhatjuk le, ugyanakkor a h'F változásait már egy regressziós egyenessel is jól jellemezhetjük. 12 órakor az foF2-t másodfokú egyenlettel, az foF1, foE, valamint a hpF2 és h'F évi

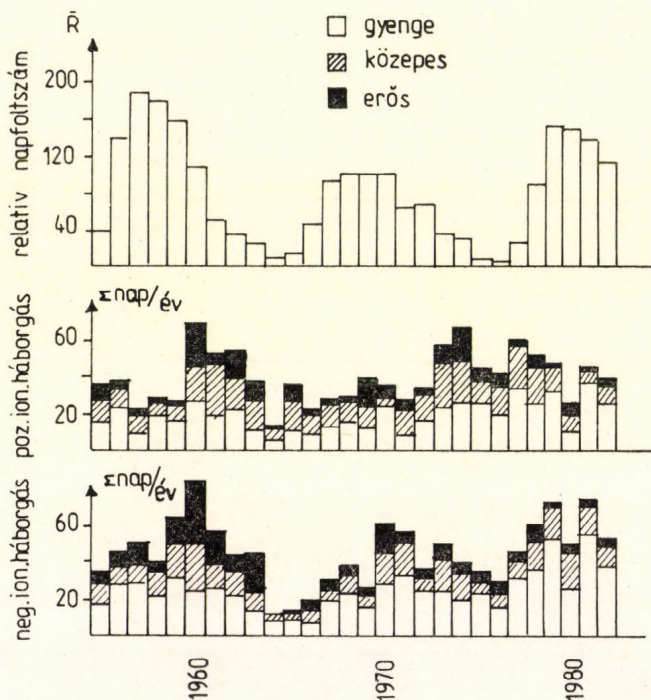


4. ábra. A relatív napfoltszám évi átlagainak (a-grafikon), valamint az foF2, foF1, foE (b-grafikon), továbbá a hpF2 és h'F ionoszféra karakterisztika (c-grafikon) 12 órakor mért évi átlagértékeinek menete 1957–85-ig

átlagértékeinek változását az évi átlagos naptevékenység függvényében szintén regressziós egyenesek egyenleteivel határozhatjuk meg. A függvények egyenleteit és az értékek szórását (σ) a görbék felett tüntettük fel.

A 11 éves napfoltciklus hatását az ionoszféraparaméterekre az évi átlagok sokévi menete tükrözi a legkarakterisztikusabban, s azt a 4. ábrán mutatjuk be. A görbék folytonossága érdekében technikai okok miatt történt hazai mérések időszakait (1960–63, 1969–71, 1978–81) a mi ionoszféra-állomásunkkal közel azonos földrajzi szélességen fekvő Dourbes (Belgium) állomás homogén adatsorával pótoltuk. Az a-grafikonon a relatív napfoltszám, a b-grafikonon az foF2, foF1 és foE és a c-grafikonon a hpF2 és h'F ionoszféra paraméterek évi átlagértékeinek sokéves menetét mutatjuk be 1957–85-ig. Az ábra jól szemlélteti a 11 éves napfoltciklus valamennyi ionoszféra-karakteris-

tika menetében rendszerint megmutatkozó hatását. A görbék maximumainak és minimumainak időpontjai közel megegyeznek egymással, csupán az egyes paraméterek változásának amplitúdóiban térnek el egymástól. Így pl. a naptevékenység okozta változás az F2 rétegnél, azaz az foF2 és hpF2 ionoszféra karakterisztikánál jelentkezik kiemelkedő mértékben, majd ezt követi az foF1 és h'F karakterisztika, végül a legkisebb változásokat a 11 éves ciklus



5. ábra. A relatív napfoltszám évi átlagai (\bar{R}), valamint a különböző erősségű pozitív és negatív ionoszféra-háborgások napjainak évi száma 1955–82-ig

alatt az foE-nél található. Ebből világosan látszik, hogy a naptevékenységi folyamatok a legnagyobb változásokat az ionoszféra F2 rétege maximális elektronsűrűségének és magasságának kialakításában idézik elő, majd lefelé az F1 és E rétegben ez a hatás már lényegesen kisebb.

3. Ionoszféra háborgások az F2 rétegben

Az ionoszféra-rétegek fent vázolt hosszú periódusú változásait főként a fotoszféra feletti naprétegekből származó és a naptevékenység közel 11 éves ciklusát jól tükröző extrém ultraibolya-sugárzás intenzitása határozza meg. Ugyanakkor a hirtelen bekövetkező ionoszféra változások elsősorban a Nap aktív vidékeinek egy-egy rövidebb időtartamú többletenergia kisugárzásaival hozhatók összefüggésbe. Az ionoszféra háborgásokat tehát a legtöbb esetben

a Nap aktív vidékein keletkező flerek, vagy „napkitörések” váltják ki, ahonnan először a hirtelen, sokszor többszázszorosára is megnövekedő röntgen (1 – 10 nm) sugárzás érkezik a Föld légkörébe, majd ezt követi a napszél sebességétől függően kb. 24 – 36 óra múlva a $10^2 - 10^3$ eV energiaspektrumba eső korpuszkuláris sugárzás. Ezek a Naptól származó részecskék (protonok, elektronok, α -részecskék) először a Föld magnetoszférájába jutnak, befolyásolva ezzel a földmágneses teret, majd bonyolult kölcsönhatások után az energia áttevédik a felső ionoszférába, ahol a megfigyelések szerint a mérsékelt szélességeken kezdetben többnyire az elektronsűrűség növekedését, majd ezt követőleg az elektronsűrűség csökkenését váltja ki.

Az ionoszférával foglalkozó kutatóknak sok gondot jelent az, hogy vajon a napkitörésekkel összefüggő felső ionoszféra-változásokat tekintve, milyen napokat is tekintsenek háborgatott napoknak. Több kutató (*Dubrowszkij és Kramarenko, 1962; Dubrowszkaja, 1964*) kimutatta, hogy a mérsékelt földrajzi szélességeken egy napot akkor lehet háborgatottnak tekinteni, ha öt- vagy ennél több órában fordul elő olyan eset, amikor az foF2 értéke $\pm 20\%$ -ot meghaladó mértékben eltér a havi átlagos óramedián értékétől. A plusz 20% -nál nagyobb eltéréseket pozitív, a mínusz 20% -nál kisebb értékeket negatív ionoszféra háborgásoknak – vagy az utóbbi időben már ritkábban használt kifejezéssel – ionoszféra viharoknak nevezik. A fentiek alapján az ionoszféra háborgásokat három kategóriába soroltuk:

0 – ionoszféra háborgás nincs:	$\Delta foF2 < \pm 20\%$
1 – gyenge háborgás:	$\Delta foF2 = \pm 20 - 30\%$
2 – közepes háborgás:	$\Delta foF2 = \pm 30 - 40\%$
3 – erős háborgás	$\Delta foF2 > \pm 40\%$

A továbbiakban a fenti kategóriák alapján meghatároztuk a különböző intenzitású pozitív és negatív ionoszféra háborgással jellemzett napok évi számát, amelyeket a relatív napfoltszám évi átlagaival együtt 1955–82-ig oszlopdiagram formájában az 5. ábrán mutatunk be. Az ábra alapján kitűnik, hogy a negatív ionoszféra-háborgások a legnagyobb számban a napfoltmaximumok, illetve az ezt követő 2–3 évben jelentkeznek, mint ahogyan az a földmágneses háborgásoknál is megfigyelhető (*Saikó, 1984*). A pozitív ionoszféra háborgások és a naptevékenység sokévi menetének párhuzamossága már csak jóval kisebb mértékben mutatható ki, mint a negatív háborgások esetében. Ez a körülmény arra hívja fel a figyelmet, hogy az ionoszféra és földmágneses háborgások jelentkezését egyértelműen csak a relatív napfoltzámmal nem lehet jellemezni, mivel a Föld felső légkörét (ionoszféra, magnetoszféra) befolyásoló korpuszkuláris sugárzás mértéke nem elsősorban a napfoltok számától, hanem a naptevékenység egyéb megnyilvánulásaitól függ.

4. Következtetések

A vizsgálat főbb eredményei a következőkben foglalhatók össze:

a) Az foE, foF1, foF2 és hpF2 ionoszféra karakterisztika napi, évszakos, éves és 11 éves menete szoros kapcsolatot mutat a naptevékenységgel. A talált összefüggéseket empirikus formulákkal határoztuk meg.

b) Az ionoszféra F2 rétegében jelentkező negatív ionoszféra-háborgások évi gyakorisága szintén mutat bizonyos párhuzamosságot a relatív napfolt-

számmal, ugyanakkor a pozitív ionoszféra háborgások esetében ez a kapcsolat egyértelműen már nem volt kimutatható.

c) A jelen vizsgálati eredmények, az ionoszféra-paraméterek hosszúperiódusú változásainak megismerésén kívül, jól felhasználhatók többek között a hazai rövidhullámú rádióösszeköttetések tervezéséhez.

IRODALOM

- CRPL (*Central Radio Propagation Laboratory*), 1948: National Bureau of Standards, Washington, Cirkular 462.
- Dubrovskij, V. G. i Kramarenko, Sz. A., 1962: Nekotorüje zakonomernoszti szutocsnogo, sezonogo i sirotnogo raszpredelenij magnitno-ionoszfernoj vozmuscennoszti. *Geomagnetizm i aeronomija* 4. 7–37.
- Dubrovskaja, E. K., 1964: Raszprosztranenije vozmuscenij v szloje F2. *Ionoszfernyje isszledovanija* 13, 41–45.
- Flórián, E., 1961: Az ionoszféra F2-rétege Budapest feletti határfrekvenciáinak vizsgálata. *Kandidátusi értekezés.*
- Flórián, E., 1970: A naptevékenység tükröződése a Magyarországon mért adatokban. *Időjárás*, 74, 400–406.
- Flórián, E., 1975: A naptevékenység befolyása az ionoszférára. *Ionoszféra és magnetoszférafizika III. Asztronautikai Közlemények*, 127–150.
- Saikó, J., 1984: A felső ionoszféra háborgásainak vizsgálata hazai mérések alapján. *Ionoszféra és magnetoszférafizika XII. Magyar Asztronautikai Társaság kiadványa*. 75–93.
- Saikó, J., 1986: A felső ionoszféra naptevékenységgel kapcsolatos változásainak statisztikai vizsgálata. *Ionoszféra és magnetoszférafizika XIII. MANT kiadványa*. 141–155.
- Saikó, J., 1987: Az ionoszféra F1 rétege naptevékenységgel kapcsolatos változásainak vizsgálata hazai megfigyelések alapján. *Ionoszféra és magnetoszférafizika XIV. MANT kiadványa*. 52–67.
- Saikó, J., 1988: Az ionoszféra E rétege naptevékenységgel kapcsolatos változásainak vizsgálata hazai megfigyelések alapján. *Ionoszféra és magnetoszférafizika XV. MANT kiadványa*.
- Rawer, K., 1953: *Die Ionosphere*. Groningen, Holland.
- Rishbath, H. and Garriot, O. K., 1969: *Introduction to Ionospheric Physics*. Academia Press, New York and London, 169–182.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 92. évf. 6. szám, 1988. november – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 92, No 6. Nov – Dec 1988, Budapest

A szélmaximum szintje Budapest fölött

ZSOLDOS ERZSÉBET

Központi Légekfizikai Intézet
H-1675 Budapest, Pf. 39.

A vizsgálat célja, hogy a korábinál megbízhatóbb és jobb mérési pontosságú „METEORIT – RKZ” rendszer adatai alapján meghatározzuk a szélmaximum szintjének klimatológiai jellemzőit. Dolgozatunkban gyakorisági számításokat végeztünk a szélmaximum előfordulására, vizsgáltuk kapcsolatát a tropopauzával. A szélmaximum szintje alatt, illetve felett tapasztalható vertikális szélnyírás jellemzőinek vizsgálatakor megállapítottuk annak függését a magasságtól és a sebességtől.

*

The level of the wind maximum over Budapest. The aim of this study is to determine the climatological characteristics of the wind maximum by means of data of the system “METEORIT – RKZ” making possible more reliable observations than previous systems. The occurrence of the wind maximum is studied on the basis of frequency distributions and the relationship between the wind maximum and the tropopause is presented. The dependence of the characteristics of the vertical wind shear on the altitude and wind velocity below and above the level of the wind maximum is also determined.

*

Bevezető. A Budapest fölött mért erős szelek gyakoriságáról *Bucsy* (1965) készített feldolgozást a Malachit-rádióteodolit mérési adataiból, *Borbély* (1966) pedig a szélmaximum és a tropopauza kapcsolatát vizsgálta. Ismeretes, hogy a Malachit csak 16°-os magassági szög felett mért megbízhatóan, mivel az antenna iránykarakterisztikája ez alatt a szög alatt elérte a talajt, és az eredményt torzította. A mérési eredmények pontosítása érdekében együttes optikai és rádióteodolitos követésekkel határozták meg a torzítás mértékét. A kapott adatsorok alapján korrekciós táblázat készült, és a torzítás mértékét csökkenteni lehetett.

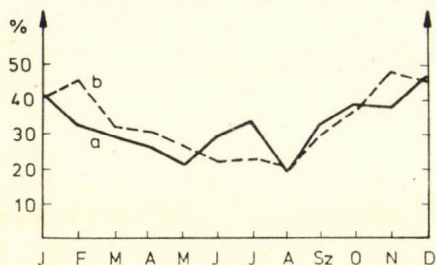
Jelen feldolgozásunkat az 1977-ben üzembe állított Meteorit – 2 rádiólokátor 00, 06, 12 és 18 GMT-s rádiószondás felszállásaiból készítettük az 1978 – 1985-ig terjedő 8 éves időszakra. A rádiólokátorral mért széladatok pontossága a nemzetközi előírásoknak eleget tesznek, a magassági szög adatai 8°-ig megbízhatók. A szél kiértékelése a 8 év folyamán egységes módszerrel történt.

A Budapest fölötti nagysebességű szelek vizsgálatakor az alábbi kritériumokat vettük figyelembe: a szélesebbesség a magassággal növekedve az 500 és 100 hPa közötti rétegben 30 m/s-ot elérő vagy meghaladó maximális értéket vesz fel. A szélmaximum szintje alatt és fölött a szélesebbesség kisebb, mint magán a szinten.

1. A szélmaximum előfordulási gyakorisága, iránya és sebességeloszlása

A szélmaximum előfordulási gyakoriságát havi felbontásban számítottuk ki. A 8 év alatt végzett 11 043 rádiószondás mérésből 3558 esetben találtunk 30 m/s-ot elérő, vagy meghaladó szélesebbeséget.

A nagysebességű szelek előfordulásának évi menete kettős hullámot mutat (1. ábra). A téli hónapokban fő maximum jelentkezik 40–45%-os értékkel,



1. ábra: A szélmaximum százalékos előfordulása Budapest fölött: a) 1978–1985, b) 1966–1977

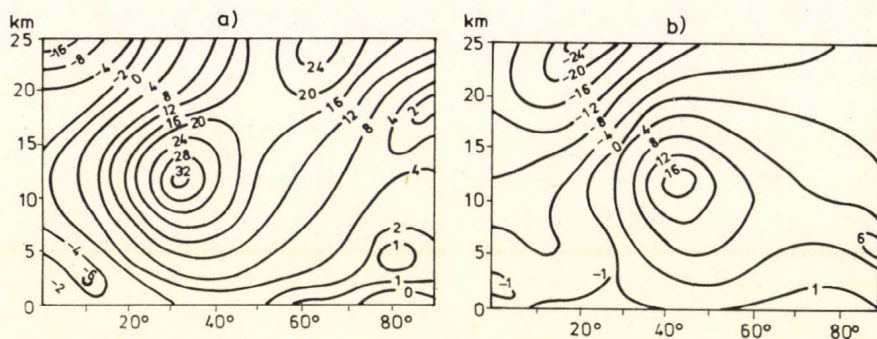
júliusban pedig másodmaximum 33%-kal. A tavaszi hónapokban és augusztusban ritkábban fordul elő szélmaximum. Az 1966-tól 1977-ig terjedő 12 évi időszakra számított gyakorisági értékekben a júliusi másodmaximum elmosódik, sőt a nyári hónapokban kifejezett minimum van.

A szélmaximum téli gyakoribb megjelenése az alábbi klimatikus okokra vezethető vissza:

- A fő frontálzónák (polárfront, szubtrópusi front) nyáron északabbi, télen pedig délebbi szélességek felé tolódnak el. A mi szélességünkre különösen a polárfront (amelyet a polár-jet kísér) földrajzi szélességmenti változása van hatással. Ismeretes, hogy télen a polár-jet a mérsékelt szélességeket is eléri, s ezért gyakrabban jelenik meg szélmaximum.

- Az északi féltekén jelentősen változik a meridionális hőmérsékleti kontraszt. A 20 fokos és 50 fokos szélességi körök zonálisan átlagolt hőmérsékletei között a különbség januárban 30 °C és júliusban 10 °C (Czelnai et al., 1983).

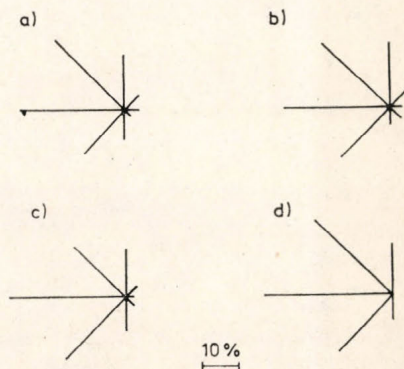
A 2. ábrán bemutatjuk az átlagos áramlás zonális összetevőjének alakulását télen és nyáron az északi féltekére.



2. ábra: Az átlagos áramlás zonális összetevője az északi féltekén (ms⁻¹). a) januárban, b) júliusban (forrás: Guterman, 1965.)

A szélmaximum évi 33%-os előfordulása arra vall, hogy jelenléte a mi térségünkben jellemző, de nem domináns.

A maximális szél szintjén vett szélirányok eloszlását a 8-as irányskála közelében ábrázoltuk, a négy évszakra külön-külön (3. ábra). Ősszel és télen a W és NW irányok vannak túlsúlyban, tavasszal a SW-i irányítottságú szélmaximumok is jelentős mértékben fordulnak elő. Nyáron túlnyomórészt a SW és NW-i irányok által közrefogott szektorban helyezkednek el a szélmaximum irányjai.



3. ábra: A szélmaximumok irány szerinti százalékos eloszlása Budapest fölött. a) ősszel, b) télen, c) tavasszal, d) nyáron, 1978–1985.

A sebességeloszlást szintén a négy évszakra bontva számítottuk ki (1. táblázat). A legerősebb szelek télen fordulnak elő, nyáron 60 m/s-nál erősebb szél mindössze kilencszer volt a 8 év alatt, ezzel szemben télen 61 esetben.

1. TÁBLÁZAT

A szélmaximum sebességének %-os eloszlása a négy évszakban

Sebesség m/s	30–35	36–40	40–45	46–50	51–55	56–60	61–65	66–70	71–75	76–80	m/s
Tavaszi	38,5	23,7	18,4	8,5	5,6	3,0	1,9	0,1	0,3	0,1	%
Nyári	41,5	23,4	15,3	11,1	5,2	2,3	0,8	0,4	—	—	%
Őszi	36,2	23,1	15,7	10,2	8,1	3,3	2,3	0,9	0,3	0,1	%
Téli	28,6	21,0	16,7	13,3	9,2	5,7	4,0	1,0	0,4	0,2	%

2. A tropopauza és a szélmaximum szintjének összehasonlítása

A tropopauza és a szélmaximum szintjének kapcsolatát Borbély (1966) vizsgálta a Malachit-rádióteodolit mérési adataiból, az 1960-tól 1964-ig terjedő 5 évi időszakra, így lehetőség adódott a kétféle mérési technika összehasonlítására.

Elsőként a tropopauza és a szélmaximum viszonyát vizsgáltuk meg. Amennyiben a szélmaximum és a tropopauza magassága között a különbség 100 méternél kisebb volt, úgy tekintettük, hogy a tropopauza és a maximális szél egybeesett (2. táblázat), ez az esetek 5–7%-ában fordult elő. Július kivételével az esetek 78–80%-ában a szélmaximum a tropopauza alatt található, s csak 10–15%-ban fordul elő fölötte. Borbély (1966) vizsgálataival összehasonlítva a tropopauza és a szélmaximum magassága közötti különbségek évi menete jó meg-

egyeztést mutat: a tavaszi hónapokban a legtöbb a pozitív eltérés, nyáron és télen viszonylag kevesebb. A két vizsgált időszak eredményei között 10–15% a különbség.

2. TÁBLÁZAT

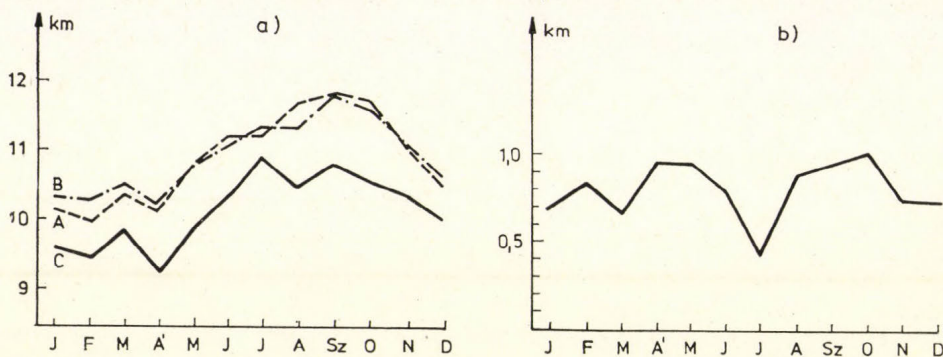
A tropopauza és a szélmaximum közötti pozitív (+), negatív (-) eltérések és az azonos szintbe esések (=) %-os előfordulása

	J	F	M	Á	M	J	J	A	Sz	O	N	D	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
	1970–1985 között												1960–1964 között			
+	79	79	82	85	87	78	61	79	83	80	75	77	82	65	70	66
-	16	14	12	8	8	16	32	15	11	12	17	19	18	35	30	34
=	5	7	6	7	5	6	7	6	6	7	7	4				

A 4a. ábrán a szélmaximum, a szélmaximummal egy időben megjelenő tropopauza és a tropopauza teljes populációból számított magasságának a havi középértékeit ábrázoltuk. A téli hónapokban, ha szélmaximum is van, 150–200 méterrel magasabban van a tropopauza, nyár végén és ősz elején pedig 100–150 méterrel alacsonyabban. A többi hónapban a szélmaximum jelenléte nem befolyásolja a tropopauza átlagmagasságát. Mind a tropopauza, mind a szélmaximum télen és tavasszal alacsonyabban, nyáron és ősszel magasabban helyezkedik el. Havi átlagmagasságuknak szeptemberben maximuma, februárban és áprilisban minimuma van. A márciusi kis maximum valószínűleg a tavasz „szeszélyességének” az eredménye, azonban ahhoz, hogy ezt a másodmaximumot igazolhassuk vagy elvethessük, hosszabb adatsorra lenne szükség.

A tropopauza és a szélmaximum magassága közötti átlagos különbség évi menetében kettős hullám van (4b. ábra). Tavasszal és ősszel nagyobb a különbség, télen és nyáron pedig kisebb.

A magasságkülönbségek gyakoriságát nézve (5a. ábra) az esetek egy negyedében 500–1000 méterrel helyezkedik el a szélmaximum a tropopauza alatt és kétharmad részben a magasságkülönbség 100–2000 méter közötti. A tropopauza és a szélmaximum magasságának eloszlását 0,5 km-es felbontásban ábrázoltuk az egész 8 évre vonatkozóan (5b. ábra). Számításaink szerint minden hó-



4. ábra: a) A szélmaximummal egyidőben megjelenő tropopauza (A), az összes tropopauza (B), és a szélmaximum magasságának középértékei (C); b) a tropopauza és a szélmaximum magassága közötti átlagos különbség évi alakulása Budapest fölött, 1978–1985.

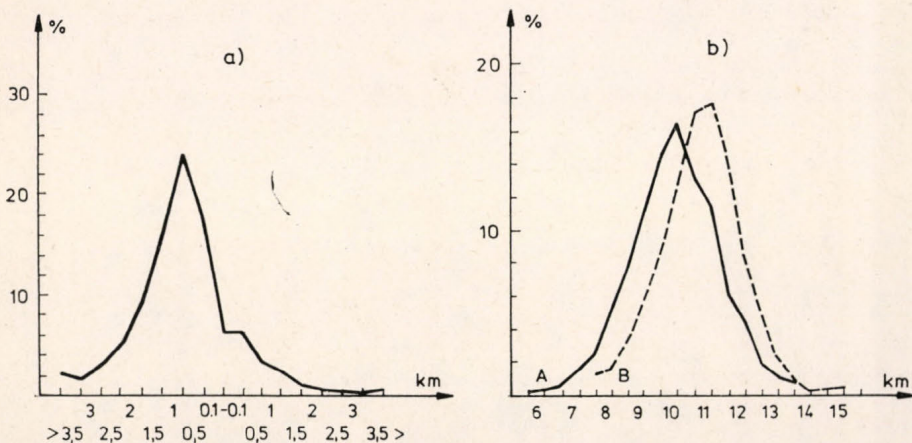
napban igaz, hogy mind a szélmaximum, mind a tropopauza az esetek 75–80%-ában egy 2,5–3 km-es intervallumban jelenik meg. Ezen intervallumok magassága és évszaktól függően változik.

3. TÁBLÁZAT

A tropopauza (H_t), a szélmaximum (H_m) havi átlagmagasságai a -ben, σ_t , σ_m szórásaik, R korrelációs együtthatóik és a regressziós egyenletek ($H_m = H_t + b$) együtthatói

	H_t	H_m	σ_t	σ_m	R	a	b
I.	10 320	9 620	1 270	1 280	0,53	0,54	4 090
II.	10 300	9 470	1 130	1 410	0,56	0,70	2 270
III.	10 540	9 806	1 030	1 280	0,69	0,85	880
IV.	10 220	9 270	1 010	1 190	0,61	0,71	1 970
V.	10 830	9 880	830	990	0,60	0,72	2 110
VI.	11 110	10 330	980	1 180	0,37	0,45	5 370
VII.	11 330	10 890	1 210	1 260	0,31	0,32	7 260
VIII.	11 340	10 460	1 050	1 140	0,41	0,45	5 400
IX.	11 820	10 830	1 160	1 070	0,52	0,48	5 160
X.	11 570	10 550	1 340	1 160	0,40	0,35	6 540
XI.	11 090	10 370	1 150	1 360	0,57	0,67	2 890
XII.	10 650	9 950	1 390	1 420	0,47	0,48	4 840
Év:	10 920	10 135	1 280	1 350	0,56	0,59	3 690

A tropopauza és a szélmaximum kapcsolatát vizsgálva elvégeztük a korrelációs és regressziós számításokat is. A 3. táblázatban benutadjuk az R korrelációs együtthatókat, a regressziós egyenletek a és b együtthatóit, a tropopauza (H_t) és a maximális szél (H_m) átlagmagasságainak számszerű értékeit, valamint a magasságok (σ_t és σ_m) szórásait méterben. A korrelációs együtthatókból pozitív kapcsolatra következtethetünk. Télen és tavasszal ez a kapcsolat szorosabbnak mutatkozik, nyáron gyengébb. A legerősebb kapcsolat márciusban van, 0,69-es korrelációs együtthatóval.



5. ábra: a) A tropopauza és a szélmaximum magassága közötti különbség százalékos eloszlása, valamint b) a szélmaximum (A) és a tropopauza magasságának (B) százalékos eloszlása Budapest fölött, 1978–1985 között.

Az 1960 – 1964 közötti felszállásokból számított korrelációs együtthatók és az általunk kapott együtthatók között lényegesnek mondható különbséget találtunk télen és ősszel:

	Tavaszi	Nyár	Ősz	Tél
1960 – 64	0,49	0,30	0,23	0,14
1978 – 85	0,60 – 0,69	0,31 – 0,41	0,40 – 0,57	0,47 – 0,56

Mint eredményeink is igazolták, ezekben az évszakokban lényegesen erősebb szélmaximumok léphetnek fel, mint nyáron. A Malachit rádióteodolit mérési pontatlansága különösen erős szeleknél mutatkozik jelentősebben (alacsony magassági szög), ezért érthető, hogy az őszi és téli kapott igen alacsony korrelációs együtthatók a tropopauza és a szélmaximum magassága között az 1960 – 64-es évekre.

Összehasonlítás céljából bemutatjuk a két vizsgált időszakból a tropopauza és a szélmaximum adatainak átlagmagasság (m) értékeit.

	1960 – 64	1978 – 85
Tropopauza (teljes populáció)	10 860	10 880
Tropopauza szélmax. esetén	10 940	10 920
Szélmaximum	10 130	10 135

Az eredmények megegyezése arra enged következtetni, hogy a két időszak klimatológiailag hasonló.

3. A szélmaximum szintje alatt és fölött fellépő vertikális vektoriális szélnyírás jellemzői

A WMO meghatározása szerint a jet stream az erős szeleknek viszonylag keskeny sávja, amely a felső troposzférában, vagy az alsó sztratoszférában közel vízszintes tengely mentén központosul, erős függőleges és vízszintes szélnyírás jellemzi, és egy vagy több szélmaximumot mutat. A jet stream néhány ezer km hosszú, több száz km széles és néhány km vastag. A vertikális szélnyírás 5 – 10 m/s/km körüli, míg a horizontális nyírás 5 – 10 m/s/100 km nagyságrendű.

Feldolgozásunkban a Budapest fölött előfordult szélmaximumok függőleges vektoriális szélnyírásait (továbbiakban szélnyírás) vizsgáltuk a már említett

4. TÁBLÁZAT

A vertikális szélnyírások nagyság szerinti gyakorisága a szélmaximum szintje alatt és fölött %-ban

m/s/km	$H_m \leq 9$ km		$9 \text{ km} < H_m < 11$ km		$H_m \geq 11$ km		Összes	
	alsó	felső	alsó	felső	alsó	felső	alsó	felső
0 – 1	1,2	2,9	1,7	1,3	4,1	0,5	2,2	1,4
1 – 3	10,9	16,8	18,5	8,1	24,2	7,2	18,5	9,5
3 – 6	32,5	31,8	41,0	26,9	41,2	25,5	39,5	27,5
6 – 9	28,9	25,0	22,6	23,5	18,0	29,8	22,6	28,2
9 – 12	16,2	12,6	9,9	18,6	7,6	18,6	10,5	17,5
12 – 15	5,7	7,4	3,6	9,3	3,1	11,1	3,9	9,4
15 – 18	3,0	2,3	1,8	4,4	0,8	4,2	1,8	4,0
18 – 21	0,6	0,5	0,5	1,5	0,6	2,0	0,6	1,4
21 – 24	0,2	0,3	0,2	0,7	0,1	0,5	0,2	0,6
24 – 27	0,5	0,2	0,0	0,3	0,0	0,5	0,1	0,3
27 – 30	0,3	0,5	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3

8 éves időszakra. Mint ismeretes, a szélmaximum jellemzői erősen függenek a szinoptikus helyzetétől, az időjárási front erősségétől és hajlatától, következésképpen az egyes szélmaximumok szélnyírása is eltérő a különböző szinoptikus helyzetekben.

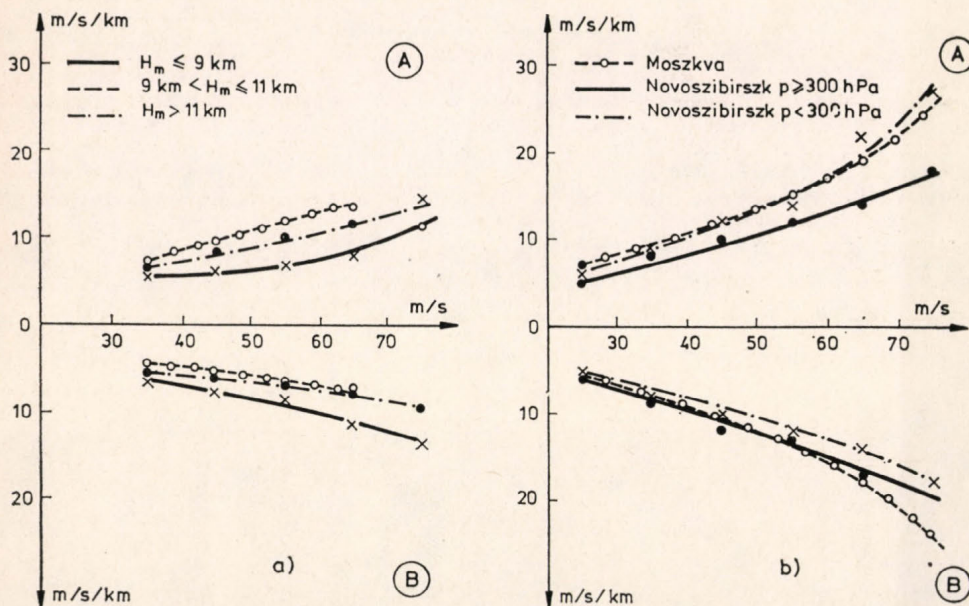
5. TÁBLÁZAT

A szélmaximum szintje alatt és felett fellépő szélnyírások aránya
(a: alsó szélnyírás, f: felső szélnyírás)

Mérés helye	a > f	a < f	a - f 2 m/s/km
Budapest	19	48	33%
Moszkva	27	34	39%
Novoszibirszk	30	32	38%

Elsőként a szélnyírás értékeinek eloszlását vizsgáltuk meg. Magasság szerint három kategóriát állítottunk fel: a 9 km alatt, a 9 és 11 km között és a 11 km fölött megjelenő szélmaximumok osztályát. A szélnyírásokat 3 m/s/km-es intervallumokba soroltuk külön-külön a szélmaximum alatti és feletti 1 km-es rétegben. A meghatározott gyakorisági értékek a következő eredményeket mutatják (4. táblázat):

a) A 9 km alatt előforduló szélmaximumok esetében az alsó szélnyírások a felső szélnyírásokhoz képest a nagyobb értékek felé tolódnak el, a másik két kategóriában ez az eltolódás pont fordított.



6. ábra: A szélnyírás változása a szélmaximum magasságának és sebességének függvényében Budapest fölött (1978 - 1985): A: a szélmaximum szintje fölött B: a szélmaximum szintje alatt a) Budapest 1978 - 1985, b) Moszkva, illetve Novoszibirszk 1963 - 1964.

b) A szélnyírás-értékek mintegy 60%-a 3–9 m/s/km közé esik.

c) Az összes szélmaximumot tekintve az alsó szélnyírások 2,2%-a, a felső szélnyírások 1,4%-a nem érte el az 1 m/s/km-es értéket. Eredményeink alapján feltételezhető, hogy a szélmaximumok mintegy 80%-át a jet streamban észleltük.

d) Említést érdemelnek még a különösen nagy szélnyírások: A szélmaximum szintje alatt a 8 év folyamán 4 esetben volt 24–27 m/s/km nagyságú és 5 esetben 27–30 m/s/km nagyságú a szélnyírás, a szélmaximum szintje fölött pedig 12, illetve 10 esetben. A szélnyírás értéke egyszer sem haladta meg a 30 m/s/km-t, sem a szélmaximum alatt, sem a szélmaximum felett.

Az 5. táblázatban összehasonlításként közöljük az alsó és felső szélnyírások viszonyát Budapesten, valamint az 1963–1964-es évekre a Moszkvára és Novoszibirszkre vonatkozó hasonló adatokat, (Petrenko et al., 1973).

Az átlagos szélnyírás nagyságának függését a szélmaximum sebességétől és magasságától a 6a. ábrán mutatjuk be az egész évre vonatkozóan. Mind az alsó, mind a felső szélnyírás átlagosan nő a szélmaximum sebességének növekedésével, a szélmaximum magasságával pedig az alsó szélnyírás csökken, a felső viszont növekszik. Hasonló kapcsolatot közöltek szovjet kutatók Moszkva és Novoszibirszk esetében is (6b. ábra) az előbb említett munkában Moszkva felett az átlagos szélnyírás sebességtől való függését vizsgálták az 500 és 200 hPa-os szintek között, Novoszibirszk esetén pedig különválasztották a 300 hPa alatti és fölötti szélmaximumokat. Meglepő az átlagos szélnyírás-értékek közötti nagy különbség (Budapest és a szovjet városok között), bár meg kell jegyezni, hogy a szovjet feldolgozás a jelen vizsgálattól eltérő és sokkal rövidebb időszakra készült, s a mérési technika is más volt 1963–1964-ben.

IRODALOM

- Borbély, E., 1966: A tropopauza és a szélmaximum kapcsolata Budapest fölött. *Időjárás* 70, 23–31.
- Bucsy, J., 1965: Szélmaximumok a troposzférában Budapest fölött. Orsz. Met. Int. Hiv. Kiadv. XVIII. köt.: *Beszámolóik az 1964-ben végzett tudományos kutatásokról* I. rész. 6–22, Budapest.
- Czelnai, R., Götz, G. és Iványi, Zs., 1983: *Bevezetés a meteorológiába II.* Tankönyvkiadó, Budapest.
- Guterman, I. G., 1965: *Széleloszlás az északi félteke fölött* (oroszul). Gidrometeorologiceszkoe izdatyelsztvo, Leningrád.
- Petrenko, N. V., Vasziljev, A. A. és Peszkov, B. E., 1973: *A meteorológiai jelenségek kialakulásának feltételei és előrejelzése a repülés számára* (oroszul). Gidrometeoizdat, Leningrád.

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata, 92. évf. 6. szám, 1988. november – december
Journal of the Hungarian Meteorological Service, Vol. 92, No 6. Nov – Dec 1988, Budapest

A Nap sugárzó energiájának gyengülése a légkörben

FARKASNÉ TAKÁCS OLGA

Központi Légkörfizikai Intézet
H-1675 Budapest, Pf. 39.

Az utóbbi évek vizsgálatai rámutattak, hogy a légkör összetétele az emberi tevékenység hatására megváltozhat, egyebek mellett az aeroszol részecskék, a vízgőz mennyiségének változásával megváltozhat a légkör homályossága is. A légkör homályosságának mérésére aktinométerekeket és fotométerekeket alkalmazunk, azonban a kapott adatok térbeli és időbeli változékonyságának meghatározása a műszerek pontatlansága és összehasonlítási problémák miatt nehézségekbe ütközik. Vizsgálatai során a Szerző azt tapasztalta, hogy a globálsugárzás hosszú sorában időbeli trend nem mutatható ki, a szórt sugárzás mennyisége azonban mérhetően megnövekedett. Dolgozatában egy paramétert ajánl, mely a felhőtlen égboltnál mért diffúz- és globálsugárzás arányával jellemzi a légkör átlátszóságát. Ezt a „ Θ ” szórési paramétert előállította Budapest-KLFI adataiból az 1966 – 84 közötti időszakra, és nagyon erős, 24%-os növekedést tapasztalt. Ez a jelenség a légkörben levő szóróanyagok mennyiségének nagymértékű megnövekedésére utal.

*

Decline of the sun's radiation energy in the atmosphere. Recently significant interest is shown to the atmospheric transmittance of solar radiation as one of the factors influencing the state of climate. To measure atmospheric turbidity the usual instruments are actinometers and photometers. These instruments, however, could not solve the background turbidity measurements because of their inaccuracy and their calibration problems. Hereby it is suggested to use the diffuse to global ratio measured at clear sky as a measure of the transmissivity of the atmosphere for the solar radiation. This parameter Θ has been calculated for 1966 – 84 for Budapest. The long-term variation of the factor is an approximately 24 percent increase during the 19 years period as a consequence of the growing pollution.

*

Az utóbbi években megjelent tudományos dolgozatokban – és nemtudományos publikációkban – számos utalást találunk, mely a légszennyeződés növekedésével foglalkozik. A kérdés taglalása érdekli a napsugárzással foglalkozó szakembereket is, mivel az egyik legfontosabb paraméter, amelynek segítségével meghatározható a légköri szennyeződés mértéke: a Nap sugárzó energiájának gyengülése a felhőmentes légkörben.

Ismeretes, hogy a sugárzás-intenzitás a horizontálisan homogén, gyengén szennyezett légkörben, a teljes hullámhossztartományban:

$$I(z) = \int_0^{\infty} I(\lambda, z) d\lambda = \int_0^{\infty} I_0(\lambda) \cdot P_n(\lambda, z) \cdot P_u(\lambda, z) \cdot P_w(\lambda, z) \cdot P_0(\lambda, z) d\lambda \quad (1)$$

ahol $I_0(\lambda)$ és $I(\lambda, z)$ a monokromatikus fény intenzitása a légkör felső határán, illetve a rétegen való áthaladás után a z -szinten; P_n , P_u , P_w és P_0 : az ideálisan tiszta légkör, az ózon, a vízgőz és a légköri aeroszol monokromatikus átbocsátási függvénye; $I(z)$ pedig az integrált napsugárzás.

$I(z)$ értéke közvetlen jelzést ad a légkör állapotáról, a szennyező anyagok átbocsátási együtthatói a légkörben levő anyagok mennyiségétől, megváltozásuk a szennyeződés változásától függ.

A szakirodalomban található dolgozatok azt jelzik, hogy a kutatók külön-külön foglalkoznak a légkört szennyező komponensekkel, módszert dolgoznak ki annak megállapítására, hogyan hat a vízgőz (*Mc. Donald*, 1960; *Tavartkiladze*, 1966), az aeroszol (*Laktionov*, 1960) és az ózon (*Tavartkiladze* és *Csitadze*, 1967) a légköri homályosság változására.

A klasszikus sugárzáskutatás feladatai közé tartozik a közvetlen napsugárzás, vagyis közvetve a légkör áteresztő képességének vizsgálata. Azonban a sugárzásmérő hálózatban legtöbb állomáson a horizontális felületre jutó össz sugárzást (G) mérik, kevesebb állomáson történik a szórt sugárzás (D) mérése, és csak viszonylag kisszámú állomáson folyik a közvetlen napsugárzás (I) regisztrálása. Ezért célszerűnek látszik a nagyobb gyakorisággal rendelkezésre álló adatokkal jellemezni a légkör áteresztőképességét.

Egy előző tanulmányban (*Takács*, 1975) foglalkoztunk az égbolt szórt sugárzása és a horizontális felületre jutó össz sugárzás közötti kapcsolattal. A vizsgálat eredményeként nagyon jó összefüggést kaptunk a D/G arány és a relatív napfénytartam napi értékei között; ezt az összefüggést használtuk a három paraméter (globálsugárzás, diffúzsugárzás és napfénytartam) egymáshoz viszonyított értékének ellenőrzésére is. Azt tapasztaltuk, hogy a napi adatokat jelző pontok a regressziós egyenes körül szórnak, az időben egyre nagyobb amplitúdóval. Ez a jelenség a légkör szennyezettségének változására utal, ui. a komponensek közötti kapcsolatot leíró:

$$G = I + D$$

összefüggésben képezve a D/G arányt:

$$1 = \frac{I}{G} + \frac{D}{G} \quad (2)$$

mutatja, hogy adott globálsugárzás esetében a D/G arány növekedése a közvetlen napsugárzás csökkenésének felel meg.

Jelen feldolgozásunkban azon délkörűli óráközök D/G arányait használtuk fel, amely óráközökre az alábbi feltételek teljesültek:

- a) a napfénytartam óraértékei nemcsak a felhasznált, hanem a megelőző és a következő óráközben is (10 – 14^h között), 1,0
- b) a felhőzet nem haladhatja meg a 3 okta értéket,
- c) az albedó kisebb, mint 30%.

Ezekkel a feltételekkel viszonylag homogén körülményeket kívántunk biztosítani.

Az így kiválasztott óráközök statisztikai feldolgozása után (havi átlag, szórást) rendelkezésünkre állt a D/G arány időbeli menete 1966. júniustól 1984. decemberig. Érdekes megemlíteni, hogy a kiválasztott óráközök, vagyis az esetek száma a vizsgált időszakban nem mutat különösebb elrendeződést. A periódus végén, 1983–84-ben regisztrált derült óráközök száma hasonló az időszak elején észleltekhöz (1. táblázat), vagyis a napfénytartammal jellemzett derültség mértéke a vizsgált 18 év alatt nem változott.

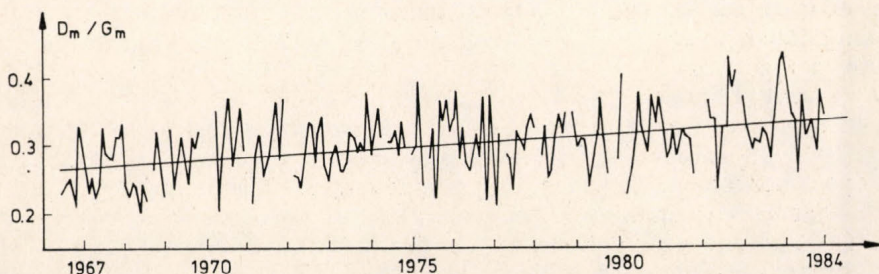
1. TÁBLÁZAT

A felhasznált derült, dél körüli óráközök száma

Év	Hónapok											
	J	F	M	Á	M	J	J	A	Sz	O	N	D
1966							14	7	17	17	1	4
67	2	24	7	13	14	24	15	21	24	16	15	2
68	2	6	20	14	7	18	14	5	—	13	4	4
69	2	1	6	9	12	1	9	7	10	13	5	—
1970	—	1	—	2	1	6	8	7	6	11	1	1
71	—	2	3	7	7	5	6	10	8	10	2	2
72	—	—	4	4	2	7	4	9	5	7	4	3
73	2	2	7	3	10	3	7	13	13	12	7	2
74	1	6	15	9	—	3	8	11	10	1	3	—
75	4	13	3	5	—	5	10	3	10	6	2	3
76	1	4	4	10	9	7	13	3	6	8	1	3
77	1	1	9	—	5	5	7	7	10	7	3	2
78	2	—	7	5	2	7	6	8	8	12	—	1
79	1	6	4	10	15	7	3	9	12	13	1	2
1980	1	3	—	5	5	5	3	7	7	5	4	2
81	4	9	6	11	4	7	4	12	5	3	2	—
82	1	—	11	3	6	8	5	10	11	3	7	—
83	2	4	4	4	9	6	10	10	7	11	5	5
84	3	1	7	6	6	7	10	11	10	10	6	3

A havonként átlagolt szórt és össz sugárzás arányait grafikusán ábrázoltuk, az idő függvényében (1. ábra). A pontok szórása ellenére megfigyelhető az időbeli menet tendenciája: ha a pontok közötti kapcsolatot lineáris regresszióval jellemezzük, az összefüggést a következő egyenlet írja le:

$$\frac{D_m}{G_m} = 0,264 + 0,00029 t \quad (3)$$



1. ábra: Derült, délkörüli óráközökben mért szórt- és össz sugárzás arányának időbeli változása Budapesten.

ahol t az idő hónapokban ($t = 1$ 1966 januárban, és $t = 228$ 1984 decemberben). Az összefüggés szorosságát jelző korrelációs koefficiens a meteorológiai gyakorlatban általában elfogadhatónak tartott 0,5-nál kisebb ($r = 0,416$), ezért szükségesnek tartottuk ellenőrizni, hogy a változás szignifikáns-e, vagy az adatok szóráshatárán belül van. Az ellenőrzéshez a sor első (4. formulában 1. index) és utolsó (4. formulában 2. index) öt évének adatait hasonlítottuk össze, havonként: előállítottuk a középértékek különbségének hibaszórását (S_d), a négyzetes eltérések (SQ) összegeiből:

$$S_d = \sqrt{\frac{(SQ_1 + SQ_2)(n_1 + n_2)}{(n_1 n_2)(n_1 + n_2 - 2)}} \quad (4)$$

és

$$SQ_{1,2} = \sum X_{1,2}^2 - \frac{(\sum X_{1,2})^2}{n_{1,2}} \quad (5)$$

Ezzel meghatározva a két, nem azonos elemszámú minta középértékei különbségének hibaszórását, elvégeztük a t -próbát minden hónapra. Az eredményeket, a $p = 5\%$ -os szintre vonatkozó kritikus t -értéket, és a szabadsági fokok számát a 2. táblázatban közöljük. Megállapítható, hogy január kivételével minden hónapban (kilenc hónapban még $0,1\%$ -os szinten is) szignifikáns különbség van a 18 éves adatsor első és utolsó 5 éve között.

2. TÁBLÁZAT

A derült, délkörűl óráközök D/G arányainak 1966–70 és 1980–84 közötti adataival végzett statisztikai feldolgozás eredményei: A kapott t-érték, a $p = 5\%$ -os szinten kritikus t-érték és a szabadság-fokok száma ($n_1 + n_2 - 2$)

	Hónapok											
	J	F	M	Á	M	J	J	A	Sz	O	N	D
t	2,07	4,58	5,56	2,06	3,11	4,24	2,72	2,11	4,00	3,33	4,17	3,25
$t_p = 5\%$	2,13	2,01	2,0	2,0	2,0	1,99	1,99	1,98	1,98	1,98	2,01	2,09
$n_1 + n_2 - 2$	15	44	56	64	62	79	81	96	97	101	47	19

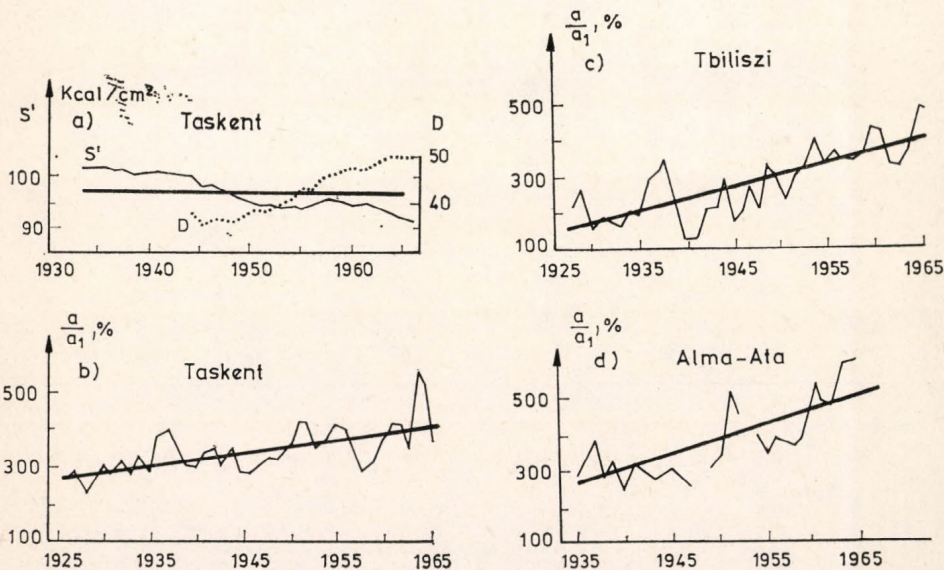
Ezt a statisztikai vizsgálatot elvégeztük a kiválasztott óráközök globálsugárzás-adataival is, és csak 4 hónapban: március, szeptember, október és december hónapokban találtunk szignifikáns különbséget az 1966–84 közötti időszak kezdete és vége között.

Az a tény, hogy a D/G arányok hosszú sorában tapasztalt változás szignifikáns, lehetővé teszi ennek a változásnak számszerű vizsgálatát: a (3) egyenlet szerint 1966 júliusában $D_m/G_m = 0,266$ és 1984 decemberében $0,330$, vagyis a két időpont között a D_m/G_m arány 24% -os növekedése figyelhető meg.

Szovjet kutatók munkáiban találtak a direkt- és szórt sugárzás hosszú sorának (Pivovarova, 1974) és az aeroszol-koncentráció hosszú sorának (Tavartkiladze, 1970) ábrázolását, különböző állomásokról (2. ábra). Ezek az adatsorok megerősítik a mi eredményeinket azzal a kiegészítéssel, hogy az általunk feldolgozott időköz folytatása a szovjet kutatók által feldolgozott időköznek. Az eredmények

összevetése arra utal, hogy az 1930-as években már megfigyelt „homályosodás” jelensége tovább folytatódik.

A mérések, és a mérési adatok feldolgozása során tapasztaltuk, hogy egy bizonyos határértékig a direkt sugárzás csökkenését ellensúlyozza a diffúz sugárzás növekedése, vagyis a globálsugárzás nem jelzi a levegő átbocsátó képességének változását. Ezt figyelhettük meg az előzőkben is: míg a globálsugárzás 18 évi adatsorában nem érzékelünk változást, a D/G -arányban (közvetve a direkt sugárzásban) jelentős mértékű változást találtunk.



2. ábra: A direkt (S') és szórt (D) sugárzás időbeli változása Taskent (a) állomáson (Pivovarovna nyomán), és az aeroszol koncentráció időbeli változása Taskent (b), Tbiliszi (c) és Alma-Ata (d) állomásokon (Tavartkiladze nyomán, a_1 = az aeroszol koncentráció első mért értéke, a = aeroszol koncentráció értéke az egyes években, a_1 -százalékában kifejezve).

A vizsgálat eddigi eredményei azt igazolták, hogy a D/G arány egy érzékeny paraméter, mely alkalmazható a légkör szórás tulajdonságának jellemzésére. Ahhoz azonban, hogy térbeli és időbeli változása megfigyelhető legyen, egy összehasonlítási alaphoz kell vonatkoztatni. Ilyen alap lehet pl. a sokéves adatsorból minden hónap legalacsonyabb értéke (havi abszolút minimum), melynek – ha kellő hosszúságú a sor – szabályos évi menete van, és az adott földrajzi hely „háttér-szennyezettségét” reprezentálja. Budapest – KLF1 18 éves adatsorából nyert D_m/G_m abszolút minimum értékeit jelzik a 3. ábrán kereszttel jelzett pontok. Ez az abszolút minimum csak az adott földrajzi helyre jellemző, és előállítása megfelelő hosszúságú adatsort igényel, ezért összehasonlítási alapként a Rayleigh-szórással gyengített szórt- és összsugárzás arányát (D_R/G_R) használtuk fel, értékét minden hónap 15-én, 11³⁰-ra állítottuk elő.

Alapképletünk az

$$I_\lambda = I_{\lambda\infty} e^{-m\delta_R}$$

ahol $m = 1/\cos z$, z = a Nap zenittávolsága, és

$$\delta_{R(P)} = 0,0009 \frac{P}{P_0} \lambda^{[-4,15+0,2]} \quad (7)$$

a Rayleigh-szórás optikai mélysége. Mivel átlagértékekkel dolgozunk, δ_R -nyo-
másfüggését elhanyagolhatjuk, $p/p_0 \approx 1$ -nek vehető. A talajon vízszintes felületr-
jutó, Rayleigh-szórással gyengített direkt sugárzás

$$I_R = \sum_{\lambda} I_{\lambda} \sin h$$

(h = napmagasság) meghatározásához a $0,3 \leq \lambda \leq 4,0 \mu\text{m}$ hullánhossztartományt
olyan részintervallumokra bontottuk, amelyek energiataralma közel azonos
(Bence, Major, Mészáros, 1982). Minden részintervallumra meghatároztuk $I_{\lambda\infty}$
és δ_R értékét, melyeket a (6) képletbe helyettesítve kaptuk az adott hullánhossz-
tartományra vonatkozó, Rayleigh-szórással gyengített direkt sugárzást.

A következő lépés

$$D_R = (I_0 - I_R)/2 \quad (8)$$

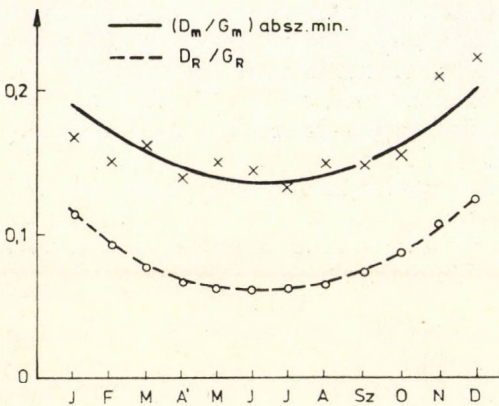
és

$$G_R = I_R + D_R \quad (9)$$

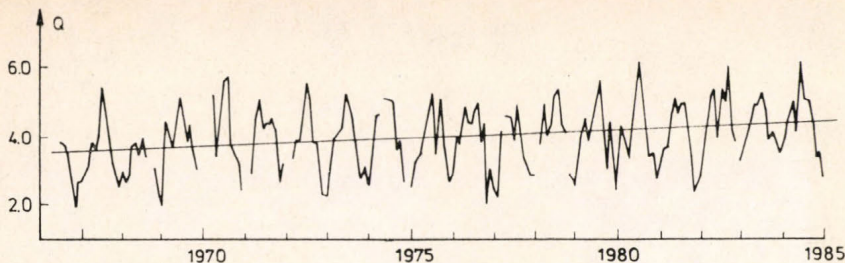
meghatározása. Az adott földrajzi helyre érvényes D_R/G_R aránynak szabályos
évi menete van (3. ábra, körökkel jelzett értékek), – decemberben a legnagyobb
(0,122) és június–júliusban a legkisebb (0,06) – hasonló évi menete van a mért
 D/G arányok havi abszolút minimum értékeinek. A két görbe egymással közel
párhuzamosan helyezkedik el, a közöttük levő különbség a Budapest feletti
„tiszta” légtömeg napsugárzást csökkentő hatását fejezi ki, a Rayleigh-atmosz-
férához viszonyítva. Nevezük ezt a légkör szórési tulajdonságát kifejező param-
métert Θ -nak, mely:

$$\Theta = \frac{D_m/G_m}{D_R/G_R}$$

formában írható le, Előnye, hogy a sugárzásmérő hálózatban általában mért



3. ábra: A mért D/G arányok havi abszolút minimum értékeinek (x-szel jelzett értékek, folytonos vonal) és a Rayleigh-szórással gyengített szórt- (D_R) és összszugárzás (G_R) arányának évi menete (Θ -val jelzett értékek, szaggatott vonal).



4. ábra: A Θ -szórási paraméter időbeli változása Budapesten.

komponensekkel, egyszerű módszerrel előállítható paraméter képet adhat a levegő szórási paraméterének térbeli és időbeli változásáról.

Végül előállítottuk Θ értékeit, a vizsgált időszak havi átlagos D/G -értékeiből (4. ábra). Az ily módon transzformált sor szemléletes képet ad a szórási együttműködő évi menetéről: Θ értéke télen kisebb, nyáron nagyobb. Ezen a periódikus változáson kívül Θ hosszú sora változik az idővel: a változást a $\Theta = a + bt$ egyenlet írja le. Meghatároztuk az egyenlet konstansait is, és a

$$\Theta = 3,47 + 0,0039 t \quad (11)$$

összefüggést kaptuk, mely szerint a vizsgált periódus elején átlagban 3,47-szer nagyobb volt a légkörben a napsugárzás szóródása, mint a Rayleigh-atmoszférában. A korrelációs koefficiens értéke jelzi, hogy az összefüggés 1%-os szinten szignifikáns. Az iránytangens pozitív értéke arra mutat, hogy Θ szórási paraméter értéke az idővel nő: a vizsgált periódus végén 24%-kal magasabb, mint az időszak elején. A légkör szórását alapvetően a természetes részecskék határozzák meg: erre utal Θ évi menete. Erre a tulajdonságra tevődik rá a nem-természetes anyagok szórását növelő hatása, és ez tükröződik Θ hosszú sorának időbeli megnövekedésében.

A bemutatott feldolgozás eredményeként egy új paraméter, a légkör szórási paraméterének (Θ) bevezetésével, globál és szórt sugárzási adatok segítségével jellemeztük a légköri napsugárzás átbecsítésének változását az 1966–84 közötti időszakban.

IRODALOM

- Bence P., Major Gy. és Mészáros E., 1982: *Fizikai meteorológia* Akadémia Kiadó, Budapest.
- Laktionov, A. G., 1960: A Szovjetunió különböző területei feletti természetes aeroszol vizsgálatának eredményei (oroszul) *Izvesztija A. N. SZSZSZR szer. Geofiz. No. 4.* 566–574.
- Mc. Donald, J. E., 1960: Direct absorption of solar radiation by atmospheric water vapour. *J. Meteorology* 17, 319–328.
- Pivovarova, Z. J., 1974: Különböző méretű napsugárzási adatsorok időbeli sajátosságairól (oroszul). *TRUDŰ GGO* 307, 3–19.
- Takács O., 1975: A vízszintes felszínre érkező szórt és összességében közöti kapcsolat vizsgálata. *Beszámoló az 1972-ben végzett tudományos kutatásokról.* OMSZ. Hivatalos kiadványai XXXIX. k 253–257.
- Tavartkiladze, K. A., 1966: A légkör nedvességtartalmának néhány sajátossága Közép-Kaukázus hegygerincei felett (oroszul). *TRUDŰ ZakNIGMI vüp.* 22, 138–146.
- Tavartkiladze, K. A., és Csütadze, E. I., 1967: A napsugárzás gyengülése a légköri ózonban (oroszul). *Szoobsenyije A. N. Grúz, SZSZR.* XVII. No. 2, 20–28.
- Tavartkiladze, K. A., 1970: A légkör portartalmának megnövekedése a Szovjetunió felett (oroszul). *Met. i Gidr.* No. 5, 42–52.

IN MEMORIAM...

Meteorológiai Szolgálatunk központi épületének ormán az elmúlt hónapokban gyakran jelezte a gyász fekete lobogója: ismét elköltözött az élők sorából tudományágunk egy-egy kitűnő művelője, kollegánk, munkatársunk. Elvesztésük fölötti fájdalomunkat fokozza az, hogy e rövid időn belül a magyar meteorológiának – mint erről folyóiratunk évfolyamai is tanúskodnak – négy, kiemelkedően értékes művelőjétől kellett végső búcsút vennünk:

HAJÓSY FERENC 1906 – 1988

„A Hajósy”. Ez a névelős név évtizedeken át elválaszthatatlanul jelentette az alkotót és alkotását: *Hajósy Ferenc* történelem-földrajz szakos tanárt, kutató meteorológust, pályája végén az OMSZ tudományos osztályvezetőjét és első, legfontosabb művét: „A csapadék eloszlása Magyarországon” című, 1934-ben megjelent éghajlati monográfiáját. Mi a titka ennek az egybeolvadásnak?

Mint más tudományokban, úgy a meteorológiában is kialakultak és ma is kialakulnak – nem véletlenül – olyan helyzetek, amikor egy fontos feladat keresi a végrehajtóját. Ilyen helyzet volt hazánkban a 30-as években. A mezőgazdaság igényei, az öntözés és árvízvédelem együttesen megoldandó problémái és az alföldi erdőtelepítések gondja – hogy csak a legfontosabb igényforrásokat nevezzük meg – elodázhatatlan feladatává tette az Országos Meteorológiai Intézetnek a századforduló óta sokszáz meteorológiai állomásról összegyűlt, a korszerű követelményeket kielégítő, új csapadék-megfigyelések anyagainak feldolgozását és közreadását. Ebbe a feladatba ütközött Hajósy Ferenc.

Mint friss diplomás tanár, a 20-as évek végén változó kenyerádó gazdáitól (a nagykállói gim-

náziumtól, a Meteorológiai Intézettől, mint annak önkéntes, tehát fizetés nélküli munkatársa, a bécsi ösztöndíjas időtől, majd újból mint tanár a budapesti Verbőczy – ma Petőfi – és a Madách gimnáziumoktól) szinte teljesen függetlenül bevette magát a Meteorológiai Intézet adattárába, s hangyaszorgalommal, de a célt: Magyarország csapadékhajlatának bemutatását, adatokkal és térképekkel történő dokumentálását egy pillanatra sem tévesztette szem elől. Az eredmény: „A csapadék eloszlása Magyarországon” című, 30 év teljes hazai csapadék-adat anyagát átlagokban bemutató, 14 színes térképmelléklettel, az akkori Földművelésügyi Minisztérium Vízirajzi Osztálya által támogatva a Meteorológiai Intézet hivatalos kiadványaként 1934-ben megjelent műve. Csapadékadat-feldolgozó elődei voltak (Anderkó, Héjas stb.), de a 40-es évek elejéig ez a kiadvány volt a csapadék-adatokat felhasználó szakemberek bibliája.

Élete röviden: 1906. január 5-én született Budapestben. 1923-ban érettségizett, 1928-ban okl. középiskolai tanár lett. Közben rövid ideig banktisztviselő (1923), a diploma megszerzése után házitanító, 1932–33-ban önkéntes meteorológiai-intézeti munkatárs volt. Középiskolai tanárként dolgozott 1933–1953 között, s egyre növekvő megbecsülést szerezve magának, elkészítette már említett első műve után a „Magyarország csapadékviszonyai 1901–40”, majd „Adatok a Tisza vízgyűjtőjének csapadékviszonyaihoz” című, az OMI hivatalos kiadványaként megjelent könyveit. Tankönyveket is írt. 1953-ban az Országos Meteorológiai Intézet munkatársai közé lépett s itt tudományos munkatársként „Magyarország Éghajlati Atlasza” (1960) csapadéklapjainak anyagát állította össze. A Meteorológiai Intézet Tájékoztató Osztályának vezetőjeként ment nyugdíjba 1966. szeptember 1-jén. A Magyar Meteorológiai Társaság 1955-ben a Steiner Lajos-emlékeremmel tüntette ki.

A nyugalom éveit — reményeink és reményei ellenére — nem hozták meg számára a zavar-talan alkotó munka lehetőségét. Pedig nagyon szeretett volna együtt dolgozni „A csapadék havi és évi összegei Magyarországon a mérések kezdetétől 1970-ig” c. összefoglaló mű társszer-zőivel (*Kakas József, Kéri Menyhért*, 1975). De ha személyesen már nem is tudott közremű-ködni, sokévtizedes adatgyűjtő, -feldolgozó és -értékelő munkájával legalább is egyenrangú társszerzője lett ennek a kötetnek. Első művét a számítástechnika egyszerű lehetőségei nél-kül, ezt az utolsót kiváló lehetőséget nyújtva a számítástechnikának ahhoz, hogy a nyers csa-padékadatok újabb és újabb, eddig rejtett érté-kei kerüljenek tudományos felhasználásra — így értékelhetjük munkásságát: nélküle nem lehet a XX. századi magyar éghajlatkutatásról beszélni.

Egészségének lassú hanyatlása 1988. július 28-án, 83 éves korában bekövetkezett halálával véget ért. Temetésén augusztus 4-én családja, barátai, ismerősei között az OMSZ elnöke és utolsó művének két társszerzője is elkísérte utolsó útjára.

Kéri M.

GULYÁS OTTÓ 1932–1988

Odaadó, elhivatott kutatót, munkatársat ve-szített el az Országos Meteorológiai Szolgálat *Gulyás Ottó* személyében 1988. szeptember 10-én. Korai halála — hiszen alig múlt 56 éves — őszinte megdöbbenést keltett közeli és távo-labbi munkatársaiban egyaránt.

Gulyás Ottó 1974-ben matematikusként ke-rült az OMSZ Központi Meteorológiai Intéze-tébe, abban az évben, amikor tudomány-szakának kandidátusává vált. Korszerű és ki-váló matematikai felkészültségével nagyon ha-mar megtalálta azokat a területeket a meteoro-lógiában, ahol hasznosan tudta ismereteit ka-matoztatni. Elég csak címszavakban felsorolni a legfontosabbakat, hiszen e lap hasábjain is gyakran találkozhattunk nevével: alakfelismerő algoritmusok kidolgozása műholdas felhőképek felismerésében; termésmennyiség és -érés előre-jelzésének matematikai modellezése; cluster-analízis különféle alkalmazása a meteorológiá-ban; analógiai módszerek a hosszú távú előre-jelzésben stb. Egyik, társszerzőkkel írt tanul-mányával 1978-ban akadémiai pályázatot nyert. Több egyetemi jegyzetet készített.

Publikációs tevékenységének csúcsát az idén megjelent egyetemi tankönyve jelenti (társ-szerzője *Dévényi Dezső*): *Matematikai statisztikai módszerek a meteorológiában*.

Termékeny tudományos munkássága mellett nagy hozzáértéssel és odaadással foglalkozott a

fiatal szakemberek képzésével. Sok éven ke-resztül tanított matematikai statisztikát mete-orológus hallgatók számára, sokan írtak veze-tése alatt egyetemi szakdolgozatot, doktori disszertációt, két aspiránsa pedig ez év elején szerezte meg a kandidátusi címet. Olyan követ-kezetesen, lelkesen tudott fiatalokkal foglal-kozni, hogy túlzás nélkül mondhatjuk, iskolát teremtett a matematikai statisztika megszer-tetésével és elterjesztésével a meteorológiai ku-tatómunkában. Eredményes munkássága egyik emlékezetes eseménye marad az alig egy éve Síkfőkúton rendezett szeminárium, ahol közel negyven egykori tanítványa tartott előadást: felhasználva ezekben matematikai statisztikai ismereteit. Szervezője volt az 1988. évi Mete-orológiai Tudományos Napoknak, de már nem érthette meg az előadásokat.

Ő indította meg és egy évtizeden keresztül szervezte és vezette a KMI matematikai szemi-náriumát, amely fórum kiváló lehetőséget nyúj-tott a matematika iránt érdeklődő, elsősorban fiatal kutatók továbbképzésére.

Szorosan vett szakmai munkáján túl sok energiát szentelt tudománypolitikai kérdések-nek is. Nagy aktivitással, elhivatottsággal vett részt az OMSZ tudománypolitikai bizottságának munkájában. Egyenes, megalkuvást nem ismerő jellemével sokak rokonszévét vívta ki.

1977 óta *folyóiratunk szerkesztőbizottságá-nak* tagjaként nagy szorgalommal és segítőkészséggel vett részt a folyóirat színvonalának emelésében.

Megrendülten búcsúunk munkatársunktól, barátunktól.

Ambrózy P.

BÉLL BÉLA 1908–1988

1988. szeptember 24-én, közel a nyolevanadik születésnapjához, hosszan tartó betegség után elhunyt *Béll Béla*, a Magyar Tudományos Aka-démia rendes tagja, c. egyetemi tanár, az Or-szágos Meteorológiai Szolgálat Aerológiai Ob-szervatóriumának (ma Központi Léggérfizikai Intézet) volt vezetője. Személyében a magyar meteorológiai kutatás és oktatás kiemelkedő egyéniségét, mindannyiunk tanítóját és segítőkész barátját veszítettük el. Életművéből kiemel-kezik a magyar aerológiai megfigyelések és ku-tatások magas, korszerű színvonalra emelése, valamint szakmánkat elismertető szerteágazó tudománypolitikai tevékenysége. Elment közü-lünk az az ember és kutató, aki számunkra az előttünk haladó generáció emberségét, tudását és tudományoszeretétét jelképezte.

Béll Béla 1908. október 3-án Urajon (Borsod-Abaúj-Zemplén megye) született pedagógus családból. Tanulmányait a budapesti Tudomány Egyetemen 1932-ben fejezte be, ahol kitűnő matematika-fizika tanári oklevelet szerzett.

Mint minden tudománynak, a meteorológiának is jelentős segítői a fejlődésben, a tudományközi együttműködésben azok a rokon, esetleg tőlünk távolabb álló tudományok művelői, akik szűkebb szakmájuk hivatott kutatóiként – felismerve tudományaink közötti szoros, de nem mindenki előtt evidens kapcsolatokat – a múltban is és korunkban is készséggel tárultak a meteorológusokkal e kapcsolatok nyomán adódó jelentős tudományos és gyakorlati lehetőségek hasznosítására.

Közéjük tartozott *Fekete Zoltán* egyetemi tanár, (1911. március 31-én született a Selmecbánya melletti Zsarnócán), a talajtan hazai kiválósága, az egyetemi oktatás veleszületett tehetségű és ugyanakkor tudatos pedagógiai célokkal dolgozó művelője. Pályáját – a budapesti Tudományegyetemet elvégezve – tanszéki dolgozóként kezdte s innen 1941-ben került a keszthelyi Mezőgazdasági Akadémiára, ahol a talajtan professzoraként működött 1949-ig, amikor a Kertészeti Egyetemre nevezték ki ugyancsak a talajtan professzorává. Oktató tevékenységében jelentős szerepet juttatott a meteorológiának, mert kutatómunkája közben meggyőződött az időjárás, az éghajlat fontos szerepéről a talajok kialakításában, termőképességük fennmaradásában s nem utolsósorban degradálódásukban.

Az 50-es évek első felében figyelemre méltó szerepet kapott, midőn elvállalta a Magyar Meteorológiai Társaság elnöki tisztét az 1952. január 25-én tartott közgyűlésen egyhangú választás során s több, mint három éven át – közben két újabb közgyűlés egyhangúlag megerősítve tisztségében – a társaság céljaival összhangban, a tagok legnagyobb megelégedésére irányította annak életét. Kitűnő tudományos diplomáciai és interdiszciplináris érzékkel segítette a társaságot saját tudományos-társadalmi tevékenységének eredményes megvalósításában, más rokontársaságokkal való kapcsolatok felvételében, megerősítésében. Jelentős, kiemelendő állomása volt ebbeli működésének a Magyar Meteorológiai Társaság 1952 októberében tartott nagyszabású ankétja, amelyen elnökként a természet-átalakítás témájában a reális lehetőségekre éppen úgy rámutatott, mint a természetadta korlátok átlépésének veszélyeire. Amikor az 1955. május 28-án tartott közgyűlés új elnököt választott, természetes gesztussal adta át az elnöki széket, s tudományunknak jelentős további szolgálato- kat tett a Tudományos Tanács tagjaként, szüntelenül élvezve a társaság minden tagjának tiszteletét. Haláláig – 1988. október 14-éig – aktívan résztvevő társaságunk életében.

Temetésén, 1988. november 9-én sok

meteorológus képviselte a Magyar Meteorológiai társaságot, az Országos Meteorológiai Szolgálatot. Emlékét eredményes tevékenysége élteti a meteorológusok emlékezetében!

Kéri M.

*

A SZMOGRIADÓ ELŐREJELZÉSE AZ NSZK-BAN

E sorok írója 1988. június 6. és július 2. között egyhónapos ösztöndíj keretében az NSZK meteorológiai szolgálatának, a Deutscher Wetterdienst (DWD) Frankfurt/Offenbachban levő központjának, illetve a Deutsche Forschung- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt (DFVLR) Légkörfizikai Intézetének munkáját tanulmányozta. A tanulmányút elsődleges célja a levegő nagymértékű szennyezettségére vezető időjárási helyzetek előrejelzése, az aktív környezetvédelmi beavatkozások, pl. szmogriadó operatív meteorológiai szolgálatban való előkészítése terén folyó kutatások megismerése volt.

Az első három hét a DWD egyes részlegeinek tanulmányozásával telt el. A jól szervezett programot *W. Kusch*, a szinoptikai osztály vezetője állította össze úgy, hogy a tanulmányút témájával összefüggő valamennyi szakterület megismerhető volt. Így a szinoptikai kutató részlegnél a szmoghelyzetek előrejelzési eljárását, valamint az időjárás előrejelzésének egyéb módszereit ismertették. A klimatológiai részlegben a szmoghelyzetek éghajlattani szempontú feldolgozásáról adtak tájékoztatást, a numerikus kutató részlegnél pedig a most futó, illetve a jövőben bevezetésre kerülő, új hemiszférikus modell felépítését ismertették.

Az analízis-központ munkájának a tanulmányozására 3 nap jutott. Itt működik az a regionális központ, amelyhez a magyar szolgálat is tartozik, ennél fogva különösen érdekes volt számomra a nálunk is használatos RAFC-térképek (analízis, előrejelzési és repülési térképek) előállítási módszerének megismerése.

Az előrejelző szolgálatnál a *szmogra vezető időjárási helyzetek*, s nem a légszennyezettség koncentrációjának előrejelzése a feladat. A szmoghelyzetnek az NSZK-ban a szmogriadótörvény definíciója szerint három kritériuma van: 1. Az inverzió 700 m-en, vagy ez alatt helyezkedik el; 2. a szélesebbég a talajon 3 m/s, vagy ennél kisebb; 3. ez a helyzet legalább 24 óran keresztül fennáll. A prognózist a Környezetvédelmi Intézetbe továbbítják, ahol az illetékes környezetvédelmi szakemberek a légszennyeződések mért adatainak segítségével döntenek a szmogriadó bevezetéséről.

Alkalmam volt a frankfurti környezetvédelmi állomás, illetve a Hessen tartományi Környezetvédelmi Intézet megtekintésére is, ahol megismertettek a tartományi légszenny-

zetséget mérő hálózatának felépítésével, továbbá a számítóközponttal, ahová ezek az adatok befutnak, valamint tájékoztattak az adatok feldolgozásáról. Az ellenőrzött adatokat napi, illetve havi összefoglaló kiadványokban jelentetik meg. A mérőhelyek száma Hessen tartományban 27, ebből magában Frankfurtban 8 állomás van. Ezek az állomások a meteorológiai elemeken kívül kén-dioxid, szén-monoxid, nitrogén-dioxid, nitrogén-oxid, ózon- és por-koncentrációt mérnek.

A tanulmányút utolsó hetére a DFVLR munkájának a megismerésére a programot a környezetvédelmi osztály vezetője *dr. D. Paffrath* állította össze. Az osztályon a légszennyeződéskutatási célokra történő mérésével, illetve modellezésével foglalkoznak. A légszennyezettség mérésére különböző mérőeszközök vannak, pl. repülőgépek, lidar, műhold stb. Egy-egy szmoghelyzetben az ország határai mentén végzett mérések adataiból következtetnek a transzport-folyamatokra, illetve a domborzatot is figyelembe vevő terjedési modelljeiket verifikálják méréseikkel. A látogatás során módomban volt előadás tartásra is a hazai operatív előrejelzési gyakorlat bemutatására, s azon az intézet igazgatója, *dr. M. Reinhardt* is részt vett. Az előadást tartalmas eszmecsere követte.

Meggyőződésem, hogy a tanulmányút során szerzett információk és ismeretek a hazai szmogriadó meteorológiai megalapozásában értékes segítséget jelentenek számunkra.

Sándor V.

*

FEKETÉNÉ NÁRAI KATALIN KANDIDÁTUSI ÉRTEKEZÉSÉNEK NYILVÁNOS VITÁJA

A Tudományos Minősítő Bizottság 1988. október 3-ára tűzte ki *Feketéné Nárai Katalin*, a Központi Légtérfizikai Intézet tudományos osztályvezető-helyettese „A légköri savas vegyületek országos léptékű transzmissziója” c. kandidátusi értekezésének nyilvános vitáját az MTA kistermében.

A korszerű levegőkémiai és a Gauss-, valamint box-modellt alkalmazó értekezés a légköri kén- és nitrogénvegyületek országos léptékben alkalmazható regionális, hosszú átlagolási idejű transzmissziós modelljét mutatta be.

Az értekezés két opponense, *Makainé Császár Margit* docens, a földtudományok kandidátusa és *Bede Gábor* docens, a műszaki tudományok kandidátusa volt. Az opponensi vélemények elhangzása után az értekezés téziseinek lényegét nem érintő ellenvetések és kérdések mellett, *Kiss Győző*nek, a KVM főosztályvezetőjének az értekezés kimerítő méltatását hallhatta a mintegy húsz főnyi hallgatóság.

A bizottság által feltett kérdésekre is a jelölt részletes, kielégítő válaszokat adott, ennélfogva vita nem alakult ki. A bíráló bizottság *Koppány György* egyetemi tanár, a tudományok doktora elnöklétével az értekezést megvédettnek nyilvánította, s javasolta (93,3%-os pontarányal) TMB-nek Feketéné Nárai Katalin részére a kandidátusi fokozat odaítélését.

Mersich I.

*

SZERZŐINK FIGYELMÉBE

Az IDŐJÁRÁS célja az elméleti és alkalmazott meteorológia tárgykörébe tartozó tanulmányok publikálása. A tanulmányok új kutatási eredményeket tartalmazó beszámolók, illetve adott szakterület időszériú kérdéseit összefoglaló kritikai szemle-cikkek lehetnek. A közlés nyelve: magyar vagy angol. A kettes sortávolsággal gépelt kéziratok két példányban küldendők be a következő címre: *Időjárás Szerkesztősége 1525 Budapest, Pf. 38.*

A kéziratokat a szerkesztőbizottság lektoráltatja. A lektor nevét a szerzővel nem közöljük. A kéziratnak a következő formai igényeket kell kielégítenie:

Címresz: Tartalmazza a tanulmány címét, a szerző(k) nevét, munkahelyét és ez utóbbi pontos címét.

Összefoglalás: Külön oldalon, magyar és angol nyelven, tartalmazza a kutatás célját, módszerét és a kapott eredményeket.

Szövegrész: Alcímekkel értelemszerűen fejezetekre tagolandó.

Irodalmi hivatkozások: Szövegben a hivatkozás tartalmazza a szerző(k) nevét aláhúzva és a publikálás évét. Pl. egyetlen szerző esetén: *Róna* (1909), vagy ha a szerző neve a szövegbe nem illeszthető be: (*Róna*, 1909); két szerző esetén: *Gamow és Cleveland* (1973); több szerző esetén: *Bacsó et al.*, (1953). Ha adott szerzők ugyanazon évben publikált több cikkére hivatkozunk, akkor az évszámhoz *a, b* stb. betűket írunk. Az irodalom felsorolása a cikk végén a szerző(k) neve szerinti betűrendben történik. Folyóirat esetén: szerző(k) neve, évszám, a cikk címe, a folyóirat neve, kötetszám, kezdő és befejező oldalszám. Pl.: *Dési, F.*, 1955: A meteorológiai kutatás időszériú kérdései. *Időjárás* 57, 65–70. Könyv esetén: Szerző(k) neve, évszám, könyvcím, kiadó, megjelenés helye. Pl. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Ábrák: A kézirat első példányához az ábrákat pausz- vagy mm-papíron, a másodikhoz az eredeti ábrák másolatát kell csatolni. Az ábrák aláírásait külön lapon kell mellékelni. Fényképek fekete-fehér színben, fényes, kontrasztos minőségben nyújthatók be.

Táblázatok: A táblázatokat arab számozással, szövegükkel együtt, külön lapon kell mellékelni.

Matematikai formulák és jelölések: A nem latin betűket és kézzel írott jeleket a margón ceruzával írt magyarázattal kell ellátni.

A szerzők megjelent tanulmányukért tiszteletdíjat és térítésmentesen 30 db különlenyomatot kapnak. Több különlenyomat a szerző költségére a kézirat elküldésével egyidejűleg rendelhető.

NOTES TO THE AUTHORS

The purpose of IDŐJÁRÁS is to publish papers in the field of theoretical and applied meteorology. These may be reports on new results of scientific investigations or critical review articles summarizing current problems in certain subject. Authors may be of any nationality but papers are published only in Hungarian or English. Two copies of the manuscripts, typed with double space, should be sent to the Editorial Office of *Időjárás*. Address: Budapest, P. O. B. 38. H-1525, Hungary.

Papers will be subjected to constructive criticism by unidentified referees.

The manuscript should meet the following formal requirements:

Title: Should contain the title of the paper, the name(s) of the author(s) with indication of the name and address of employment.

Abstract: Should contain the aim, method and conclusions of the scientific investigation on a separate page.

References: The text citation should contain the name(s) of the author(s) underlined and the year of publication. In case of one author: *Róna* (1909), or of the name of the author cannot be fitted into the text: (*Róna*, 1909); in case of two authors: *Gamow and Cleveland* (1973); there are more than two authors: *Bacsó et al.* (1953). When referring to several papers published in the same year by the same author, the year of publication should be followed by letters, *a, b* etc. At the end of the paper the list of references should be arranged alphabetically. For an article: the name(s) of author(s), year, title of article, name of journal, volume number, pages. E. g. *Dési, F.* 1955: Current problems of meteorological research. *Időjárás* 57, 65–70. For a book: the name(s) of author(s), year, title of book, publisher, place of publication. E. g. *Junge, C. E.*, 1963: *Air chemistry and radioactivity*. Academic Press, New York and London.

Figures: Should be prepared entirely in black India ink upon transparent paper and be attached to the first copy of the manuscript; a copy of the original figures should be attached to the second manuscript copy. The legends of figures should be given on a separate sheet. Photographs of good quality may be provided in black and white.

Tables: Should be marked by Arab numbers and provided on separate sheets together with relevant captions.

Mathematical formulas and symbols: Non-Latin letters and hand-written marks should be explained by making marginal notes in pencil.

Authors are receiving 30 reprints free of charge. Additional reprints may be ordered at the authors expense when submitting the manuscript.

AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT FOLYÓIRATA

A szerkesztésért felel: dr. Mészáros Ernő
Szerkesztőség: 1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.
Levél cím: 1525 Budapest, Pf. 38. Tel.: 353-500
Kiadja a Pallas Lap- és Könyvkiadó Vállalat, Budapest VII., Lenin körút 9–11. Telefon: 221-285
Levél cím: 1906 Budapest, Pf. 223
Felelős kiadó: Siklósi Norbert vezérigazgató
88.1705., Állami Nyomda, Budapest
Felelős vezető: Mihalek Sándor igazgató

INDEX: 26 361

HU ISSN 0324—6329