

# **METEOROLOGICKÝ ČASOPIS**

## **METEOROLOGICAL JOURNAL**

**2012**

**ROČNÍK 15 – ČÍSLO 2**

**VOLUME 15 – NUMBER 2**

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV  
SLOVAK HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE



## CONTENTS

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>AIR QUALITY MONITORING<br/>AND ANALYSIS OF SMOG EPISODES<br/>IN THE NORTH-HUNGARIAN REGION</b>                                                 |    |
| Katalin Uramné Lantai, Árpád B. Palotás .....                                                                                                     | 53 |
| <b>LINKAGES BETWEEN NAO AND RIVER RUNOFF<br/>IN STRUMA RIVER CATCHMENTS (BULGARIA)</b>                                                            |    |
| Nina Nikolova .....                                                                                                                               | 59 |
| <b>MODIFICATION OF CLIMATIC CLASSIFICATIONS<br/>FOR WARMER CLIMATE IN SLOVAKIA</b>                                                                |    |
| Milan Lapin, Marián Melo .....                                                                                                                    | 67 |
| <b>ANALYSIS OF IMPACT OF THE NORTH ATLANTIC<br/>OSCILLATION ON THE SEASONAL PRECIPITATION<br/>TOTALS IN THE PRECIPITATION REGIONS OF SLOVAKIA</b> |    |
| Lívia Lešková, Pavel Šťastný, Milan Trizna .....                                                                                                  | 75 |
| <b>HISTORY OF REMOTE SENSING METHODS IN<br/>METEOROLOGY, CLOUD PHYSICS AND NOWCASTING<br/>IN SLOVAKIA (1965 – 1990)</b>                           |    |
| Dušan Podhorský .....                                                                                                                             | 81 |

## INFORMATION

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Conference ERAD 2012</b>                                                                              |    |
| Ľuboslav Okon .....                                                                                      | 87 |
| <b>The 32<sup>nd</sup> International Congress of Geographers<br/>and participation of climatologists</b> |    |
| Marián Melo .....                                                                                        | 88 |
| <b>International conference<br/>“Bioclimate2012 – Bioclimatology of Ecosystems“</b>                      |    |
| Milan Lapin .....                                                                                        | 89 |
| <b>Young scientist conferences 2012</b>                                                                  |    |
| Ol'ga Majerčáková .....                                                                                  | 89 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>PERSONALS</b> ..... | 91 |
|------------------------|----|

## OBSAH

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>MONITOROVANIE KVALITY OVZDUŠIA<br/>A ANALÝZA SMOGOVÝCH EPIZÓD<br/>V REGIÓNE SEVERNÉHO MAĎARSKA</b>                          |    |
| Katalin Uramné Lantai, Árpád B. Palotás .....                                                                                  | 53 |
| <b>VÄZBY MEDZI SEVEROATLANTICKOU OSCILÁCIOU<br/>A ODTOKOM V POVODÍ RIEKY STRUMA (BULHARSKO)</b>                                |    |
| Nina Nikolova .....                                                                                                            | 59 |
| <b>MODIFIKÁCIA KLIMATICKÝCH KLASIFIKÁCIÍ<br/>PRE PODMIENKY TEPLEJŠEJ KLÍMY NA SLOVENSKU</b>                                    |    |
| Milan Lapin, Marián Melo .....                                                                                                 | 67 |
| <b>ANALÝZA VPLYVU SEVEROATLANTICKEJ OSCILÁCIE<br/>NA SEZÓNNE ÚHRNY ZRÁŽOK V ZRÁŽKOVÝCH<br/>OBLASTIACH SLOVENSKA</b>            |    |
| Lívia Lešková, Pavel Šťastný, Milan Trizna .....                                                                               | 75 |
| <b>Z HISTÓRIE DIŠTANČNÝCH METÓD V METEOROLÓGII,<br/>VO FYZIKE OBLAKOV A JAVOV A NOWCASTINGU<br/>NA SLOVENSKU (1965 – 1990)</b> |    |
| Dušan Podhorský .....                                                                                                          | 81 |

## INFORMÁCIE

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Konferencia ERAD 2012</b>                                                                        |    |
| Ľuboslav Okon .....                                                                                 | 87 |
| <b>Na 32. medzinárodnom geografickom kongrese<br/>sa prezentovali aj klimatológovia</b>             |    |
| Marián Melo .....                                                                                   | 88 |
| <b>Medzinárodná konferencia bioklimatológov<br/>„Bioclimate2012 – Bioclimatology of Ecosystems“</b> |    |
| Milan Lapin .....                                                                                   | 89 |
| <b>Súťažné konferencie mladých odborníkov v roku 2012</b>                                           |    |
| Ol'ga Majerčáková .....                                                                             | 89 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| <b>PERSONÁLIE</b> ..... | 91 |
|-------------------------|----|

# AIR QUALITY MONITORING AND ANALYSIS OF SMOG EPISODES IN THE NORTH-HUNGARIAN REGION

KATALIN URAMNÉ LANTAI, ÁRPÁD B. PALOTÁS

University of Miskolc, Institute of Energy and Quality Affairs, Department of Combustion Technology and Thermal Energy, 3515 Miskolc-Egyetemváros, uramkati@gmail.com, arpad.palotas@uni-miskolc.hu

*The aim of the CAFE (Clean Air for Europe) Program is to ensure a proper level of air quality in all Member States of the European Union. To comply with the limit and target values of the relevant regulation, air quality plans and programs ensure the decrease of concentrations of major air pollutants in ambient air. For the establishment of effective plans, the exact determination of major sources is inevitable. Plans aimed at the reduction of particulate matter (PM<sub>10</sub>) have high priority.*

*Cieľom programu CAFE (Clean Air for Europe) je zabezpečiť dostatočnú úroveň kvality ovzdušia vo všetkých členských krajinách Európskej únie. Na zabezpečenie zníženia koncentrácií znečisťujúcich látok pod úroveň limitných a cieľových hodnôt daných príslušnou legislatívou slúžia Programy na zlepšenie kvality ovzdušia. Aby boli plány efektívne, je nevyhnutné čo najpresnejšie určiť hlavné zdroje emisií znečisťujúcich látok. Najvyššiu prioritu majú plány na redukciiu PM<sub>10</sub>.*

**Keywords:** air pollution, PM<sub>10</sub>, smog episode

## INTRODUCTION

In order to comply with the directives of Council No. 96/62/EK [1] about the ambient air quality monitoring, 1 air pollution agglomeration and 10 air pollution zones – among others the zone of the Sajó valley situated in the area of the North-Hungarian Inspectorate for Environment, Nature and Water (ÉMI-KTVF) have been designated [2]. It was necessary to work out Action Programs to serve in maintaining the proper level of air quality in the areas keeping the prescribed limit values as well as for improving the air quality in the air pollution agglomeration and in the air pollution zones [3]. The first Action Programs were worked out in April 2004 [4].

In the course of the negotiations of directives No. 2008/50/EK issued by the European Parliament and Council about the ambient air quality and the program entitled „Clean Air for Europe” (21<sup>st</sup> of May 2008), it became evident that the keeping of some limit values would cause serious difficulties in the member states. Therefore the member states received facilitations for observing limit value of PM<sub>10</sub> (particulate matter of small size, i.e. the diameter of particulate matter is less than 10 micron) [5].

Pursuant to Article 22 of the Directive, the air quality zone where the mean annual PM<sub>10</sub> concentration was higher than the limit value in the years of 2005–2006 could apply for exemption from the obligation of keeping the limit values up to 11th June 2011 the latest. The applications for the exemption from the obligation of keeping the limit values of PM<sub>10</sub> are based on new action plans and programs.

These plans and programs should be contained measures ensuring that the PM<sub>10</sub> pollution of the ambient air will be less than the limit value at the end of the exemption period.

In order to meet the aforementioned Article, a special action program serving for the decrease of PM<sub>10</sub> concentration in the zone of the Sajó valley was compiled in 2008 which contains traffic and parking measures and the cleaning of public spaces in addition to the further restriction of emissions by the industrial plants [6].

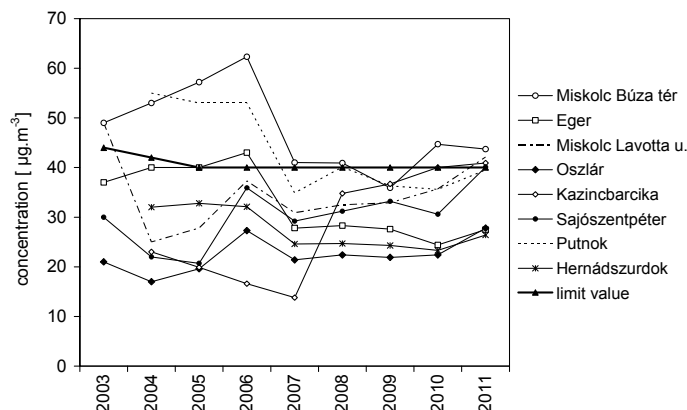
The intersectoral Action Program for the decrease of PM<sub>10</sub> concentration was accepted in October 2011 by Decree No. 1330/2011 (X.12.) [7]. It was necessary to develop and to accept this program because some of the measures could not be realized locally; they could only be introduced by means of an intersectoral, nationwide program (e.g. environmental classification of vehicles, measures for the development of low emission zones etc.).

In order to meet the requirement of environmental protection, the Decree summarises the measures concerning the traffic, industry and services as well as the inhabitants by taking into consideration the direction of the program.

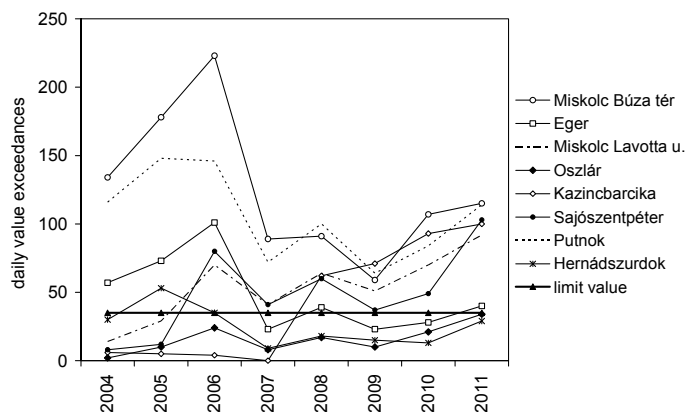
It is a requirement to keep the limit values determined in the Decree. Proceedings of infringement of rights was initiated against Hungary by the European Committee in 2008 [8] owing to the exceeding of PM<sub>10</sub> limit values among others owing to the exceeding of PM<sub>10</sub> limit values in the zone of the Sajó valley (Fig. 1 and 2).

It is necessary to note that infringement proceedings have been initiated against more than 20 EU member states in addition to Hungary for similar reasons [9].

**Figure 1. Change of the average value of  $PM_{10}$  concentration/year between the years of 2003–2011 at the monitoring stations operating in the area of ÉMI-KTVF.**



**Figure 2.  $PM_{10}$  daily value exceedances between the years of 2003–2011 at the monitoring stations operating in the area of ÉMI-KTVF.**



**Table 1. Limit values and threshold values of  $PM_{10}$ .**

| Health limit values                                                                            |                         | Threshold value of information-grade<br>24 hours                                                                                                                      | Threshold value of warning-grade<br>24 hours                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 24 hours                                                                                       | yearly                  |                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                |
| 50 $\mu\text{g.m}^{-3}$<br>it must not be exceeded<br>more than 35 times<br>in a calendar year | 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ | 75 $\mu\text{g.m}^{-3}$<br>improvement cannot be expected during two consecutive days and on the following day in accordance with the meteorological weather forecast | 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$<br>improvement cannot be expected during two consecutive days and on the following day in accordance with the meteorological forecast |

**Table 2. Classification of monitoring stations measuring the  $PM_{10}$  concentration in the area of ÉMI-KTVF [12].**

| Settlement        | Address               | Dominant pollutant sources                                                                                                 | Character of measurement stations |
|-------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Miskolc           | Búza tér              | road traffic, transport, heating of commercial facilities and institutions, heating of houses, services                    | city-centre, traffic              |
| Miskolc-Görömböly | Lavotta út            | heating of houses, industrial technologies, road traffic, transport                                                        | suburban background               |
| Kazincbarcika     | Egressy Béni u. 1.    | heating of houses, heating of commercial facilities and institutions, industrial firing equipment, industrial technologies | urban background                  |
| Sajószentpéter    | Sport út              | heating of houses, industrial technologies, industrial firing equipment, road traffic, transport                           | suburban/industrial               |
| Putnok            | Bajcsy- Zsilinszky u. | heating of houses                                                                                                          | suburban background               |
| Eger              | Katona tér            | road traffic, transport, heating of commercial facilities and institutions, heating of houses                              | city centre/traffic               |
| Oszlár            | Petőfi u. 2.          | industrial technologies, industrial firing equipment, heating of houses, agriculture                                       | rural industrial                  |
| Hernádszurdok     | Gátórház 3.           | background air pollution                                                                                                   | rural background                  |

It can be seen that in spite of the introduced measures, the air quality deteriorates again in this zone. The exact determination and ranking of sources is inevitable in order to develop an effective action plan [5].

The monitoring and analysis of particulate matter is necessary not only because of the development of action plans but in order to control the smog episodes as well. Pursuant to Decree it is necessary to order the information- or warning grade of smog alarm if the threshold value determined for  $PM_{10}$  is exceeded. In these cases, the task of the Inspectorate for Environment, Nature and Water (ÉMI-KTVF) is to supply the necessary data, to inform the concerned self-governments, to analyze the data and to recommend the methods and extent of restriction.

## ANALYSIS OF THE AVAILABLE DATA

### Limit values of ambient air concentration and threshold values of smog episodes [10]

More different limit values and threshold values of  $PM_{10}$  are distinguished by the present legal force measures in accordance with the data in Table 1.

### Classification of measurement stations

In the course of evaluating the measurement results, it is necessary to take into consideration the character of measurement stations determined by the location of the site. The requirements of locating the measurement points monitoring the level of ambient air

concentration are prescribed by Decree No. 6/2011 (I.14.) issued by the Ministry of Rural Development [11].

Regional, urban, industrial background and traffic stations can be distinguished on the basis of the location of the station. (How far is the station from emission source?) The urban background station is located in an area of the city which is not directly influenced by industrial and traffic emissions while the industrial background station can be found near a certain industrial facility and the traffic station can be found near a main road.

### The tendencies of PM<sub>10</sub> concentrations

The number of days when the PM<sub>10</sub> concentration exceeds the health limit values (50 µg.m<sup>-3</sup>) must not be more than 35 in a year. The real data measured by the measurement stations working in the area of ÉMI-KTVF are indicated in Table 3. The numbers set in semi-bold type show the annual values which exceeded the short-time health limit value (it is 24 hours as far as the PM<sub>10</sub> concentration is concerned).

**Table 3. Data of exceeding the limit values of PM<sub>10</sub> during 24 hours measured by the measurement stations located in the area of ÉMI-KTVF [piece/year] [12].**

| Settlement           | 2003      | 2004       | 2005       | 2006       | 2007      | 2008       | 2009      | 2010       | 2011       |
|----------------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|
| Miskolc Búza tér     | <b>81</b> | <b>134</b> | <b>178</b> | <b>223</b> | <b>89</b> | <b>91</b>  | <b>59</b> | <b>107</b> | <b>115</b> |
| Miskolc Lavotta utca | <b>84</b> | 14         | 29         | <b>70</b>  | <b>41</b> | <b>64</b>  | <b>51</b> | <b>70</b>  | <b>92</b>  |
| Kazincbarcika        | 7         | 6          | 5          | 4          | 0         | <b>62</b>  | <b>71</b> | <b>93</b>  | <b>103</b> |
| Sajószentpéter       | 33        | 8          | 12         | <b>80</b>  | <b>41</b> | <b>60</b>  | <b>37</b> | <b>49</b>  | <b>104</b> |
| Putnok               | <b>54</b> | <b>116</b> | <b>148</b> | <b>146</b> | <b>72</b> | <b>100</b> | <b>64</b> | <b>84</b>  | <b>116</b> |
| Eger                 | 30        | <b>57</b>  | <b>73</b>  | <b>101</b> | 23        | <b>39</b>  | 23        | 28         | <b>40</b>  |
| Oszlár               | 12        | 2          | 10         | 24         | 8         | 17         | 10        | 21         | 34         |
| Hernádszurdok        | 8         | 30         | <b>53</b>  | 35         | 9         | 18         | 15        | 13         | 29         |

### Instance of smog episodes

The information- and warning threshold value valid separately for the PM<sub>10</sub> concentration was introduced on 25<sup>th</sup> October 2008 by Decree No. 14/2001 (V.9.) KöM-EüM-FVM which is contained in the executory Decree No. 4/2011 (I.14.) VM as well. (Earlier the base of regulation was the sum of the measured concentration of PM<sub>10</sub> and sulphur-dioxide).

The following can be stated on the basis of the evaluation of PM<sub>10</sub> data measured since 2008 i.e. since the introduction of the regulation:

- The information- or warning threshold values were exceeded in 2008, 2009, 2010 and 2011 only in the case of PM<sub>10</sub> component.
- The episodes during which the above values were exceeded took place in almost each case in an adverse meteorological situation, during the so-called inversion period and in these cases the PM<sub>10</sub> concentration was usually high at the other Hungarian measurement points as well as at the background stations too.

During these periods the thickness of the mixing layers is very small and the mixing and dilution of air with

the air pollutant are not ensured. Owing to the fact that our country is situated in a basin, it often occurs in the winter periods that warmer air flows over the cold air and it prevents the movement of air and the vertical mixing.

- In 2008 the warning threshold value was not exceeded in any cases in the area of ÉMI-KTVF; it means that the PM<sub>10</sub> concentration did not exceed the value of 100 µg.m<sup>-3</sup> during two consecutive days at any of the measurement stations.
- In 2009 warning situation took place once in Kazincbarcika, Putnok and Sajószentpéter and once at a station and once at two stations in Miskolc during an inversion period free from wind at a very low temperature.
- In 2010 the PM<sub>10</sub> concentration exceeded the value of 100 µg.m<sup>-3</sup> in 6 cases in Kazincbarcika, in 4 cases in Putnok, once in Sajószentpéter and in 3 cases in Miskolc during two consecutive days.
- In 2011 the PM<sub>10</sub> concentration exceeded the value of 100 µg.m<sup>-3</sup> in 6 cases in Kazincbarcika, in 3 cases in Putnok, in 2 cases in Sajószentpéter and in 3 cases in Miskolc during two consecutive days.

As a consequence of the adverse weather conditions, the PM<sub>10</sub> concentration exceeds continuously the information threshold value in the former four settlements since 1 November nay even the concentration exceeds the warning threshold value at these stations on 5 November.

During the same period, a PM<sub>10</sub> concentration value exceeding the information or warning threshold value was registered by almost all of the stations measuring the ambient air concentration in Hungary.

Furthermore, all the warning situations could be characterized by the fact that values exceeding 100 µg.m<sup>-3</sup>, were usually registered during two days by ÉMI-KTVF i.e. the period of exceeding was not permanent [12].

### The reasons of high PM<sub>10</sub> pollution

The task of inspectorate prescribed in the Decree is the data-service, the information of the concerned self-government(s), the data-analysis and proposal for the method and extent of restrictions.

In order to introduce the restrictions, it is necessary to analyse the different sources contributing to the development of the given concentration.

A significant part of the dust-emission comes partly from an anthropogenic source, among others the burning of fossil fuels of industrial-, traffic-, agricultural- and communal origin or necessary for producing thermal- and electric energy. Dust pollution can come from a long distance over the boundary of our country or it can come from other natural source too. Part of the dust entering the air comes from there-suspension when the dust caused by the sand- or salt-spreading on the road in winter, or by the tires or brake blocks, or settled in any other way, is dislodged by the movement of cars.

The data measured by the traffic character stations are usually valid for an area of about 100–200 m of the station. The numbers of exceeding the limit values were much less at the station of industrial character (Lavotta u.) operating near the Búza tér monitoring station in the city. In most cases the numbers exceeded the limit values during the windless period that demonstrates a local character too.

The effect of industrial emission can be neglected as modern separating units were built by the plants emitting a high quantity of dust in the last years in order to keep the strict measures and thus decreasing the dust emissions to a significant extent, moreover the out-of-date works stopped operating.

The primary role of heating of houses are proved by the diagrams demonstrating the changing of concentration/day of the individual information- and warning events.

The change of  $PM_{10}$  concentration/day measured at the Búza tér measurement station and at Lavotta u. measurement station in Miskolc between 5 November 2011 and 7 November 2011 can be seen in Figures 3 and 4. During the heating period, the value of basic air pollution is higher and contrary to the earlier statements, the concentration values measured by the traffic stations are lower than the values measured by the stations registering the emission by the inhabitants [12].

It can be seen in the diagrams, that the concentration peaks appear in late afternoon and the concentration values are first of all higher at the station located in Lavotta utca registering emissions by the inhabitants; it proves that the effect of heating of houses is dominant as compared to the effect of traffic.

Figures 5 and 6 demonstrate that in favourable meteorological conditions (inversion cannot be experienced and the velocity of wind is relatively high) the concentrations registered at the urban background station characterizing the emission by the inhabitants proceed almost together or their values are continuously higher in case of a decreasing outside temperature – they are even three-times higher in the mornings and in the evenings – than the values of station of traffic type.

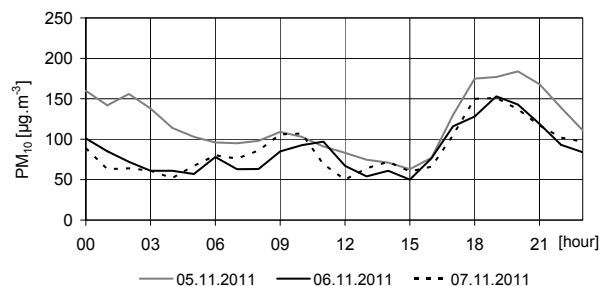
During the periods free from wind, the high peaks usually appear early in the mornings (between 6–8 a.m.) and in the evenings (between 6–10 p.m.) i.e. in the periods when the heating by the inhabitants is the most intensive [12].

The results obtained by the researchers of MTA ATOMKI (Debrecen) were demonstrated during the smog-conference organized in ÉMI-KTVF. The quantity of  $CO_2$  of fossil origin was monitored by the co-workers of the Research Institute in the course of research work entitled “Identification of sources of aerosol in the atmosphere”. The origin of aerosols in the atmosphere can be proven by this method as neither mineral oil nor the coal or natural gas contain  $^{14}C$  atom.

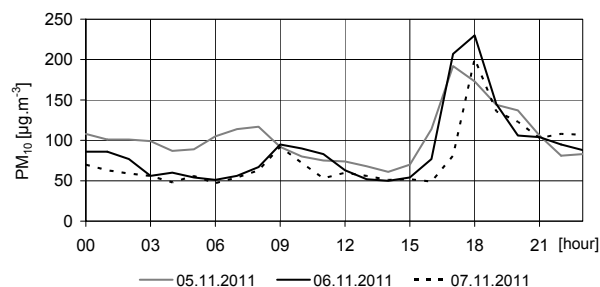
In order to research the fossil/biogenic source analysis, the radiocarbon investigation has been included in the program of aerosol research performed by ATOMKI; it contributes significantly to the interpretation and proper treatment of smog alarm episodes. A comprehensive mea-

surement series of the quantity of aerosol C-14 in the atmosphere were performed in the city centre of Debrecen by collecting the average samples in 2010 and 2011 and simultaneously the  $CO_2$  radiocarbon was also measured in the atmosphere.

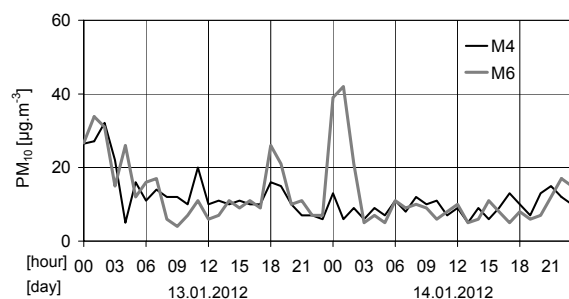
**Figure 3.** Change of  $PM_{10}$  concentration between 5–7 November 2011. Búza tér, Miskolc.



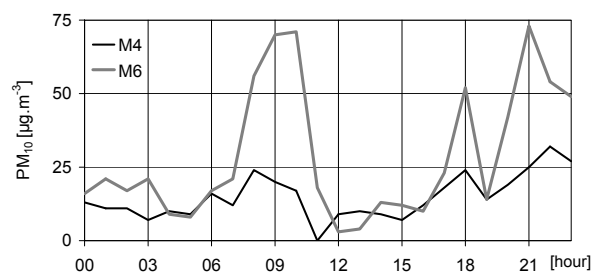
**Figure 4.** Change of  $PM_{10}$  concentration between 5–7 November 2011, Lavotta utca, Miskolc.



**Figure 5.** Change of average value/hour of  $PM_{10}$  concentration between 13<sup>th</sup> and 14<sup>th</sup> of January 2012. Búza tér (M4) and Lavotta utca (M6).



**Figure 6.** Change of average value/hour of  $PM_{10}$  concentration on 15 January 2012. Búza tér (M4) and Lavotta utca (M6).

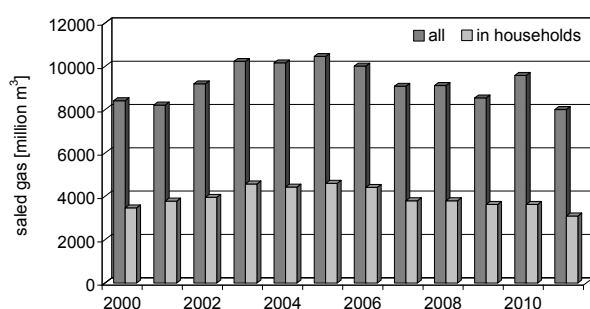


In accordance with the results of the investigations, an extra-quantity of fossil CO<sub>2</sub> could hardly be detected in the city air in September. Contrary to it, an average value of 20 ppm of fossil CO<sub>2</sub> was detected there in October [13].

As the settlement-structure of Debrecen and Miskolc is similar, the character of installed measurement stations is equal i.e. there is 1 traffic measurement station in the city centre and 2 background measurement stations – the results obtained by ATOMKI are relevant from the point of view of air pollution of Miskolc as well, and it is suggested that the development of quantity of PM<sub>10</sub> is caused primarily by the inhabitants.

This statement confirms Figure 7 and 8, which shows alterations in gas consumption in Hungary and in city of Miskolc.

**Figure 7. Alterations in gas consumption in Hungary [14].**



**Figure 8. Characterization of the heating habits by the inhabitants in Miskolc.**

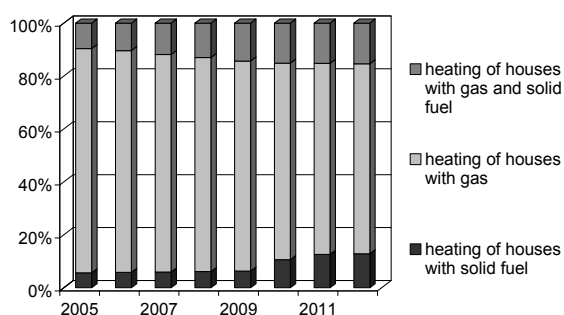


Figure 7 shows alterations in gas in Hungary. The Hungarian energy industry went through major changes since the change of regime. Industries with a high demand for energy rapidly deteriorated, deep surface mining practically ceased, and natural gas became the most important source of energy. Gas consumption seems to be reducing nowadays within industrial sectors and in households as well. A reduction in the year 2011 compared with 2003 (highest consumption) was more than 23%. Year 2010 is exceptional, because January was extremely cold.

Figure 8 demonstrates the heating habits of the inhabitants in Miskolc. It can be seen that the heating habits of inhabitants changed in the last 5 years, solid fuel consumption has nearly doubled. (Analysis doesn't contain information regarding illegal heating.)

The following factors shall also be taken into consideration in the settlements situated in the area of ÉMI-KTVF:

- As far as Miskolc is concerned, the monitor installed in Búza tér measures primarily the air pollutant caused by the traffic but the measured data are significantly influenced by the background pollution of the city as well.
- No ring-road has been built in Sajószentpéter, the arterial road No. 26 crosses the centre of the settlement so the effect of road traffic cannot be separated from the data measured by the station.
- The city centre can partly be avoided in the surroundings of Kazincbarcika, highway 26 reaches only the boundary of the city, it is far from the monitoring station. However, first of all the emissions by the inhabitants are registered by the measurement devices owing to the location of the container, the relief situations and the changes of the structure of the settlement i.e. the development of a garden city where the traditional fuel plays a dominant role.
- In Putnok, the station is far from the busy highway but the impoverished inhabitants use coal and wood for heating resulting in a significant impairment of air in this settlement.

The information- and warning threshold values are always exceeded during the heating period first of all in inversion circumstances. During the summer period, the PM<sub>10</sub> concentrations never exceed the health limit value in spite of the fact that the traffic crossing the city can be considered similar or higher than that during the heating period.

The PM<sub>10</sub> data registered by traffic-stations are usually completed by the data of secondary pollution – the swirling up of anti-skidding materials and of settled dust. This quantity can only be estimated by the common meteorological data. It contributes to the development of adverse quantity of PM<sub>10</sub> much greater in dry and windy weather. Exact measurement data of secondary pollution are not available. The qualitative analysis of PM<sub>10</sub> would give a proper explanation.

## SUMMARY

As far as the air quality is concerned, one of the most critical components is the quantity of PM<sub>10</sub> in the Sajó valley and usually in Hungary because the limit values are not met.

In spite of the introduced measures and in spite of the fact that the quantity of emission has decreased significantly, the air quality has been impaired since 2009 according to the data measured by the monitoring stations.

It can be concluded from the analysis of the sources and obtained data that in this zone the dust pollution is not determined by the quantity of pollutant emitted by the industrial plants but by the heating of houses in addition to the decreasing role of traffic. Therefore a significant improvement can be obtained by decreasing the emission caused by heating of houses.

## REFERENCES

- [1] *Framework Directive 96/62/EC on ambient air quality assessment and management.*  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0062:20031120:HU:PDF>
- [2] *Ministry of Environment and Water Decree 4/2002 (X. 7.) On the Designation of Air Pollution Agglomerations and Zones.* [http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=63063.606439](http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=63063.606439)
- [3] *Government Decree No. 306/2010 (XII. 23.) On the Designation of Air Protection.*  
[http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=132169.581173](http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=132169.581173)
- [4] *Air Quality Action Plan of Sajó valley zone.*  
[http://www.kvvm.hu/cimg/documents/Sajo\\_volgye\\_Intezkedesi\\_Program.pdf](http://www.kvvm.hu/cimg/documents/Sajo_volgye_Intezkedesi_Program.pdf)
- [5] *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.*  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:01:EN:HTML>
- [6] *Action plan for eliminate the PM<sub>10</sub> limit value exceedance.*  
[http://www.kvvm.hu/cimg/documents/8\\_zona\\_miskolc.pdf](http://www.kvvm.hu/cimg/documents/8_zona_miskolc.pdf)
- [7] *Government Resolution No 1330/2011. (X. 12.) on the action plan several sectors in order to reduction of PM<sub>10</sub> concentration.*  
[http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=140874.569529](http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=140874.569529)
- [8] [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-10-1420\\_hu.htm?locale=en](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-10-1420_hu.htm?locale=en)
- [9] <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/particulate-matter-pm10-2010.-daily>
- [10] *Ministry of Rural Development Decree No 4/2011 (I. 14.) on the routes of limit value of ambient air quality and stationary sources.*  
[http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=135115.606454](http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=135115.606454)
- [11] *Ministry of Rural Development Decree No 6/2011. (I. 14.) on the rules governing the checking, controlling and evaluation of of air pollutants.*  
[http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=135173.192831](http://jogszabalykereso.mhk.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=135173.192831)
- [12] <http://www.kvvm.hu/olm/>.
- [13] Molnár, M.–Hertelendi, E.–Veres, M., 2012, Radiokarbon: alkalmazások és perspektívák a környezetvédelemben és az iparban. Magyar Tudomány, (2012, február), 152–162. (Radiocarbonic: applications and perspectives on environment and industry. Hungarian Science)
- [14] *Statistic Reflection 25 November 2012, Central Statistic Office, volume VI., issue 92. Infrastructural provision of settlements, 2011.*  
<http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/telepinfra/telepinfra11.pdf>

# LINKAGES BETWEEN NAO AND RIVER RUNOFF IN STRUMA RIVER CATCHMENTS (BULGARIA)

NINA NIKOLOVA

Faculty of Geology and Geography, "St. Kliment Ohridski" University of Sofia, Tsar Osvoboditel Blvd. 15, Sofia 1504, Bulgaria, nina@gea.uni-sofia.bg

*Knowledge about the relationship between North Atlantic Oscillation Indices (NAOI) and river runoff can significantly improve the understanding of climate impact on streamflow. On the basis of monthly and annual river runoff data from 26 hydrological stations the paper investigates the role of NAOI for river runoff in the Southwest part of Bulgaria (Struma river catchment) by correlation and cluster analyses. The correlation is well established during winter-time (January and February) and for some part of the region in spring also (March, April). The river runoff during the years with positive and negative phases of NAO is analyzed. During the years with extreme high NAOI, low flows have been observed.*

*Znalosti o vzťahu medzi indexmi Severoatlantickej oscilácie (NAOI) a odtokom môže prispieť k lepšiemu pochopeniu vplyvu klímy na režim odtoku v povodiach riek. Na základe mesačných a ročných údajov odtoku z 26 hydrologických staníc predložená práca skúma úlohu NAOI na odtokové pomery v povodí rieky Struma v juhozápadnej časti Bulharska pomocou korelačnej a klastrovej analýzy. Táto korelácia je dobre vyjadrená v zimnom období (január a február) a pre niektoré časti povodia tiež na jar (marec, apríl). Ďalej je analyzovaný odtok počas rokov s pozitívnymi a negatívnymi fázami NAO. V rokoch s extrémne vysokými hodnotami NAOI boli pozorované nízke prietoky.*

**Keywords:** runoff, North Atlantic Oscillation, correlation

## INTRODUCTION

The North Atlantic Oscillation (NAO) refers to a north-south oscillation in atmospheric mass with centers of action near Iceland and over the subtropical Atlantic from the Azores across the Iberian Peninsula. NAO occurs in all seasons but during winter it has a dominant role. During the months December through March the NAO accounts for more than one-third of the total variance in sea level pressure over the North Atlantic (Hurrell, 2000). In scientific literature the impact of NAO has been studied mostly with regard to precipitation variability. According to Rimbu and Boroneant (2000) 32% of the total variance of the decadal winter precipitation in Europe is explained by a spatial structure associated to the NAO. During the positive phase of NAO negative precipitation anomalies occur over southern Europe (Wibig, 1999). Nikolova (2004, 2008) shows, that NAO has an important impact on the rainfall variability in Bulgaria. The correlation is negative for most of the months and annual values but it is well established for wintertime.

The problem of the linkages between atmospheric circulation and river runoff has been investigated by many authors (Kingston et al., 2006; Cullen et al., 2002; Wrzesiński, 2008). But it is not examined in detail in the scientific literature for the Bulgarian region. The dependence of river runoff on the climate in Bulgaria has been studied mainly from the point of view of the impact of precipitation variability on river runoff (Zlatunova and Nikolova,

2007; Alexandrov and Genev, 2004). Alexandrov et al. (2005) study the relationship of the NAO index to the weather conditions in order to determine the impact of climate change on water resources at the selected region of the western coastal zone of Black Sea.

The aim of the presented paper is to reveal to what extend NAO affects monthly, annual and seasonal river runoff in the Struma catchment (South-west part of Bulgaria) and its spatial variability. The knowledge about the relationship between NAOI and river runoff can bring significant improvement to the understanding of climate impact on streamflow.

## STUDY AREA

The Struma river catchment is situated in the south-west part of Bulgaria. The Struma river springs from the Vitosha mountain with the highest peak Cherni vryh (Black Peak), 2290 m a.s.l. In the middle part the valley of the river belongs to the mountainous Rila-Rhodopa region. The Struma river flows into the Aegean Sea on the territory of Greece. The length of the river from its source to the Bulgarian - Greece border is 290 km. The Struma river is the fifth longest Bulgarian river. The entire catchment area of the Struma is 10797 km<sup>2</sup>, of which 8545 km<sup>2</sup> are in Bulgaria. The average altitude of the area is 913 m. Most of the catchment area is situated at an altitude between 500 and 1100 m a.s.l.

The climate of the study area is transitional between moderately continental and Mediterranean. The moderately continental climate is well expressed in the north part of the catchment area, as the south part is with the strong Mediterranean influence. The average annual precipitation in the Struma catchment is 566 mm and potential evapotranspiration is 629 mm. In the majority of the study area the maximum precipitation is in November or December and the summer is quite a dry season. The specific geographical position and the influence of the surrounding mountains determine the occurrence of two minima in the river runoff in the north part of the catchment - during February–March and the second in autumn (September–October). Because of the increase of the Mediterranean influence in the south part of the area there is only one minimum in the river runoff which occurs in autumn.

## DATA AND METHODS

Monthly and annual river runoff data from 26 hydrological stations from the Struma river catchment are used for the research. The stations are situated in the regions with various environmental conditions (Fig. 1, Tab. 1).

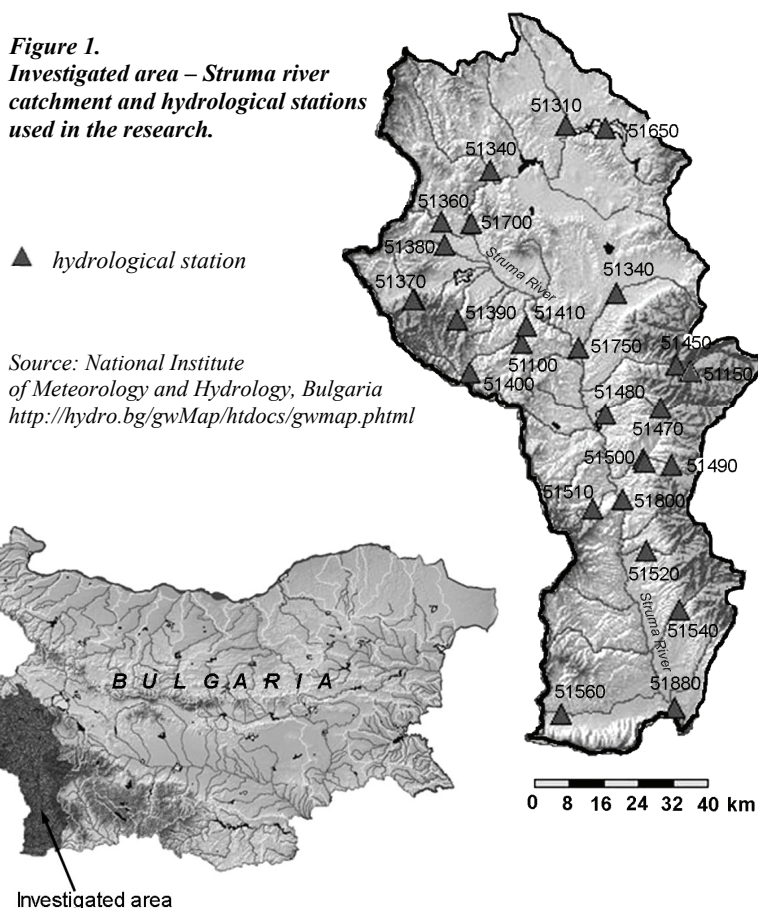
The investigated period is 1961–2006. The data are provided by the Executive Environmental Agency, Bulgaria. In order to study the impact of NAO Hurrell's winter-time NAO indices ( $NAOI_{DJFM}$ ) and monthly and seasonal data for NAO indices (Jones et al., 1997; Osborn, 2006) were used.

The present study investigates the impact of NAO on river runoff by using the method applied by Wrzesiński (2008). The linkages between NAO and river runoff are determined by correlation analysis. Correlation coefficients between monthly river runoff and monthly and winter-time NAOI ( $NAOI_{DJFM}$ ) are calculated. The paper investigates also the correlation between annual and seasonal river runoff and annual and seasonal NAOI. Cluster analysis is used for the classification of hydrological stations according to the correlation between seasonal river runoff and NAOI for wintertime.

In order to study river runoff in relation to positive and negative NAO stages, we have determined the difference between monthly runoff in the years with extremely high and extremely low North Atlantic Oscillation Indices of wintertime (from December to March). As extremely high North Atlantic Oscillation Indices we consider the values of  $NAOI_{DJFM}$  higher than 2 and extremely low North Atlantic Oscillation Indices are those which are less than  $-2$ . We considered the runoff in the years with low  $NAOI_{DJFM}$  as 100% and we calculated the deviations of river runoff in the years with extremely high  $NAOI_{DJFM}$  from the runoff in the years with extremely low  $NAOI_{DJFM}$ .

The deviations between river runoff in the years with extremely high  $NAOI_{DJFM}$  and one in the years with extremely low  $NAOI_{DJFM}$  from the mean runoff for the investigated period (1961–2006) are determined too.

**Figure 1.**  
Investigated area – Struma river catchment and hydrological stations used in the research.



**Table 1.**  
List of hydrological stations used in the research.

| No.   | River                    | Location          |
|-------|--------------------------|-------------------|
| 51650 | Struma                   | Pernik            |
| 51310 | Konska                   | Batanovtsi        |
| 51340 | Treklyanska              | Vranya stena      |
| 51360 | Dragovishtitsa           | Goranovtsi        |
| 51700 | Struma                   | Rajdavitsa        |
| 51380 | Sovolyanska Bistritsa    | Sovolyano         |
| 51370 | Sovolyanska Bistritsa    | Garlyano          |
| 51430 | Djerman                  | Dupnitsa          |
| 51390 | Novoselska               | Slokovishtitsa    |
| 51410 | Eleshnitsa               | Vaksevo           |
| 51100 | Rechitsa                 | Vaksevo           |
| 51400 | Eleshnitsa               | Rakovo            |
| 51750 | Struma                   | Boboshevo         |
| 51450 | Rilska                   | Pastra            |
| 51150 | Iliina                   | Brichibor         |
| 51480 | Biistritsa (Blagoevgrad) | Blagoevgrad       |
| 51470 | Biistritsa (Blagoevgrad) | Slavovo           |
| 51500 | Gradevska                | Gradevo           |
| 52501 | Breznishka               | Breznitsa         |
| 51490 | Gradevska (Elhovska)     | Marevo            |
| 51800 | Struma                   | Kresnensko hanche |
| 51510 | Sushitska                | Polena            |
| 51520 | Влахинска пека           | с.Влахи           |
| 51540 | Sandanska Bistritsa      | Lilyanovo         |
| 51590 | Pirinska Bistritsa       | Gorno Spanchevo   |
| 51880 | Struma                   | Marino pole       |
| 51560 | Strumeshnica             | Zlatarevo         |

## RESULTS

### Correlation between river runoff and NAOI

This section presents the results from correlation analysis between monthly, annual and seasonal river runoff and monthly, annual and seasonal NAOI.

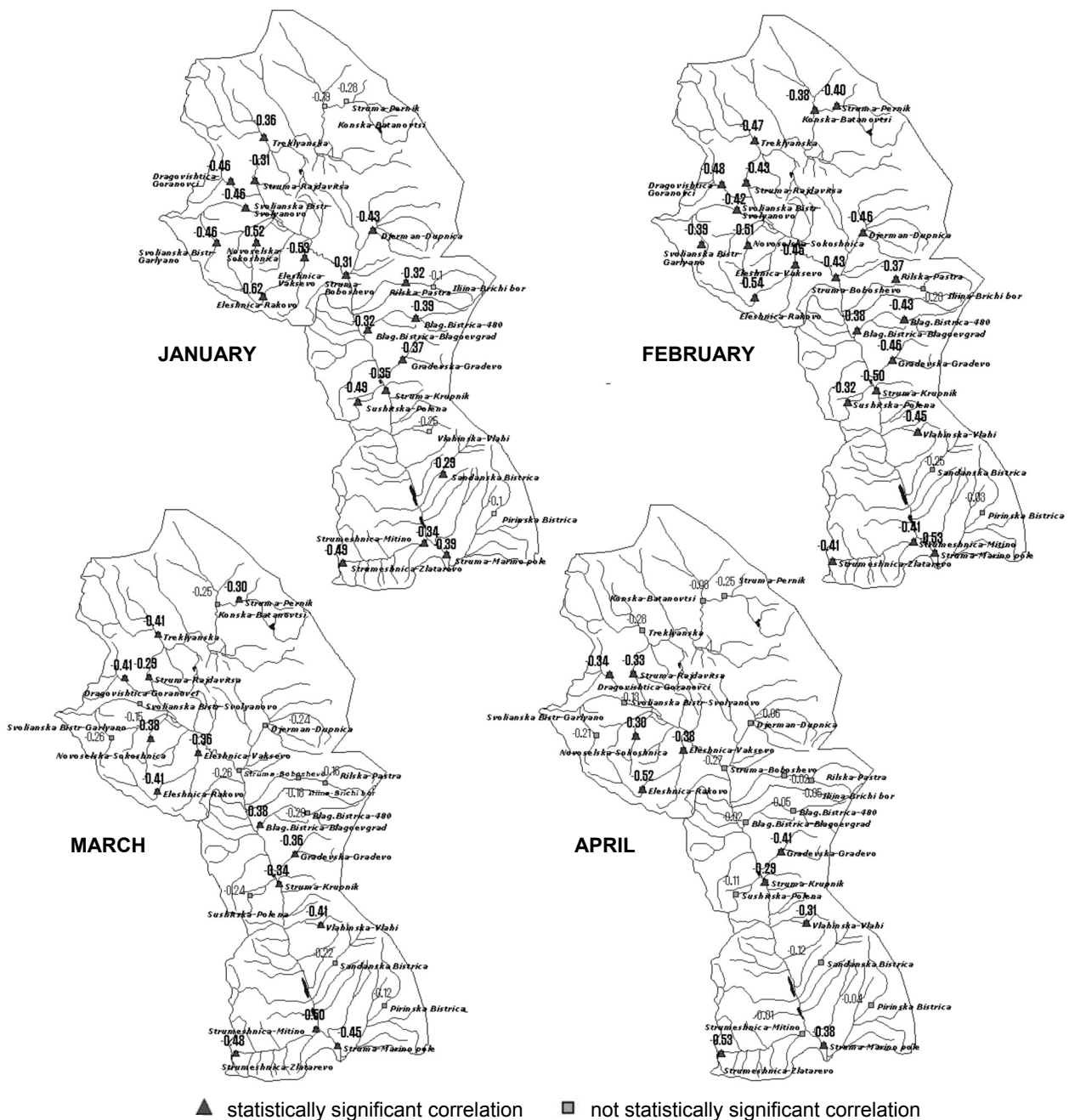
A correlation analysis between monthly river runoff and monthly values NAOI shows a negative correlation which is significant in cold months – December, January, February and March (Tab. 2). The highest negative values of correlation coefficients are established in January followed by these in December and February. For January and December most stations show a statistically significant correlation between river runoff and NAOI. Non-significant correlation is characteristic mainly for the southern part of

the study area except for the station at Marino pole located on the main river (Tab. 2). In February and March significant correlation is established mainly in the Northern part of the Struma river catchment. And the coefficients for the hydrological stations in the south and southeastern part of the basin are below  $-0.20$  and are not statistically significant.

The influence of NAO on wintertime precipitation and stream-flow is revealed in the scientific literature for various regions: Iberian Peninsula (Trigo et al., 2004), Danube river flow in the lower basin (Rimbu et al., 2002; Mares et al., 2006), Turkey (Karabörk et al., 2005) etc.

The importance of winter-time  $NAOI_{DJFM}$  for river runoff is shown in the present study and it is confirmed also by a correlation analysis between monthly values of runoff and winter-time  $NAOI_{DJFM}$  (Fig. 2).

Figure 2. Correlation coefficients between monthly runoff and winter-time  $NAOI_{DJFM}$  for the period 1961–2006.



**Table 2. Correlation coefficients between monthly runoff and monthly NAO for the period 1961–2006.**

| River-station               | Jan           | Feb           | Mar           | Apr          | May         | Jun         | Jul          | Aug          | Sept         | Oct          | Nov          | Dec           |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| <b>Struma-Pernik</b>        | <b>-0.50*</b> | <b>-0.37*</b> | <b>-0.13</b>  | <b>-0.09</b> | <b>0.08</b> | <b>0.00</b> | <b>0.19</b>  | <b>0.14</b>  | <b>0.10</b>  | <b>0.09</b>  | <b>0.08</b>  | <b>-0.34*</b> |
| Konska-Batanovtsi           | -0.27         | -0.33*        | -0.29         | 0.01         | 0.04        | -0.02       | 0.02         | 0.03         | 0.04         | -0.14        | 0.06         | -0.15         |
| Treklyanska                 | -0.45*        | -0.35*        | -0.32*        | -0.11        | 0.00        | 0.00        | -0.02        | -0.13        | -0.29*       | -0.12        | 0.05         | -0.36*        |
| <b>Struma-Rajdavitsa</b>    | <b>-0.45*</b> | <b>-0.31*</b> | <b>-0.25</b>  | <b>-0.12</b> | <b>0.13</b> | <b>0.02</b> | <b>0.14</b>  | <b>0.06</b>  | <b>0.14</b>  | <b>0.10</b>  | <b>0.12</b>  | <b>-0.38*</b> |
| Dragovishtica-Goranovci     | -0.55*        | -0.39*        | -0.29*        | -0.07        | -0.04       | 0.07        | 0.07         | 0.10         | -0.09        | -0.08        | 0.09         | -0.38*        |
| Svolyanska Bistr-Svolyanovo | -0.57*        | -0.39*        | -0.48*        | -0.12        | -0.03       | 0.02        | -0.01        | -0.02        | -0.21        | -0.09        | 0.04         | -0.44*        |
| Svolyanska Bistr-Garlyano   | -0.52*        | -0.33*        | -0.41*        | -0.16        | -0.07       | 0.13        | -0.06        | 0.02         | -0.11        | -0.04        | -0.10        | -0.42*        |
| Novoselska-Sokoshnica       | -0.56*        | -0.43*        | -0.43*        | -0.09        | -0.09       | 0.10        | -0.09        | -0.02        | 0.02         | -0.12        | -0.04        | -0.27         |
| Djerman-Dupnica             | -0.54*        | -0.37*        | -0.18         | -0.31*       | 0.06        | 0.04        | -0.06        | -0.01        | -0.28        | -0.05        | 0.04         | -0.40*        |
| Eleshnica-Vaksevo           | -0.63*        | -0.44*        | -0.47*        | -0.04        | -0.05       | 0.08        | -0.09        | 0.09         | -0.24        | -0.03        | -0.05        | -0.42*        |
| Eleshnica-Rakovo            | -0.61*        | -0.48*        | -0.44*        | -0.06        | -0.01       | 0.03        | -0.03        | 0.04         | -0.15        | 0.09         | -0.04        | -0.49*        |
| <b>Struma-Boboshevo</b>     | <b>-0.48*</b> | <b>-0.29</b>  | <b>-0.28</b>  | <b>-0.07</b> | <b>0.13</b> | <b>0.02</b> | <b>0.14</b>  | <b>0.10</b>  | <b>0.06</b>  | <b>0.15</b>  | <b>0.07</b>  | <b>-0.30*</b> |
| Rilska-Pastra               | -0.51*        | -0.22         | -0.01         | -0.14        | 0.12        | -0.04       | -0.03        | -0.16        | -0.36*       | -0.10        | 0.02         | -0.22*        |
| Iliina-Brichi bor           | -0.17         | 0.11          | -0.09         | 0.05         | 0.07        | 0.17        | -0.25        | -0.16        | -0.45*       | -0.10        | 0.00         | -0.33*        |
| Blagoevgr.Bistrica-BI.gr.   | -0.45*        | -0.22         | -0.09         | -0.07        | -0.01       | -0.13       | 0.14         | -0.13        | -0.19        | -0.12        | 0.01         | -0.33*        |
| Blagoevgr.Bistrica-480      | -0.46*        | -0.43*        | -0.11         | -0.19        | 0.04        | 0.09        | 0.14         | -0.08        | -0.29        | -0.11        | 0.10         | -0.30*        |
| Gradevska-Gradevo           | -0.46*        | -0.43*        | -0.43*        | -0.07        | 0.13        | 0.05        | 0.06         | -0.15        | -0.04        | -0.14        | 0.01         | -0.27         |
| <b>Struma-Krupnik</b>       | <b>-0.45*</b> | <b>-0.39*</b> | <b>-0.29</b>  | <b>-0.10</b> | <b>0.13</b> | <b>0.06</b> | <b>0.17</b>  | <b>0.08</b>  | <b>0.01</b>  | <b>0.02</b>  | <b>0.08</b>  | <b>-0.36*</b> |
| <b>Sushitska-Polena</b>     | <b>-0.52*</b> | <b>-0.44*</b> | <b>-0.27</b>  | <b>0.25</b>  | <b>0.08</b> | <b>0.06</b> | <b>-0.16</b> | <b>-0.03</b> | <b>-0.14</b> | <b>-0.06</b> | <b>-0.04</b> | <b>-0.25</b>  |
| Vlahinska-Vlahi             | -0.27         | -0.36*        | -0.37*        | -0.07        | 0.19        | -0.07       | -0.01        | -0.24        | -0.19        | -0.13        | 0.10         | -0.10         |
| Sandanska Bistrica          | -0.28         | -0.32*        | -0.05         | -0.03        | 0.14        | 0.01        | 0.03         | 0.11         | 0.22         | -0.02        | 0.09         | -0.20         |
| Pirinska Bistrica           | -0.18         | 0.05          | 0.07          | -0.10        | 0.10        | 0.03        | -0.01        | -0.07        | -0.09        | 0.04         | -0.05        | -0.21         |
| Strumeshnica-Mitino         | -0.19         | -0.43*        | -0.50*        | 0.03         | 0.18        | 0.04        | 0.04         | 0.16         | -0.20        | -0.12        | -0.05        | -0.09         |
| Strumeshnica-Zlatarevo      | -0.42*        | -0.48*        | -0.47*        | 0.07         | 0.17        | -0.06       | 0.01         | -0.30        | -0.14        | -0.12        | 0.05         | -0.13         |
| <b>Struma-Marino pole</b>   | <b>-0.51*</b> | <b>-0.37*</b> | <b>-0.32*</b> | <b>-0.06</b> | <b>0.13</b> | <b>0.07</b> | <b>0.22</b>  | <b>0.01</b>  | <b>0.12</b>  | <b>0.03</b>  | <b>0.05</b>  | <b>-0.37*</b> |

\* marked coefficients are significant at level  $p = 0.05$ ; in bold are the stations situated on the main river

The correlation coefficients are statistically significant for most of the investigated stations for January and February and values are between  $-0.31$  and  $-0.62$ . In January and February the correlation is well established in the northern part of the catchment. The out-of-phase relationship between the time series of the river runoff and the NAO index is found also in other scientific publications. According to Trigo et al. (2004) there is a good correlation between January-to-March river discharge and the December to February NAO index. Mares et al. (2006) show that NAO in February has a significant signal in the time series of discharge levels in April for the Danube lower basin.

The impact of NAOI on river runoff can be explained by the impact of NAO on precipitation. The rivers in the investigated region form their runoff from precipitation in winter or spring. The correlation between NAO and precipitation is well established in winter-time (Nikolova, 2004).

There is not a statistically significant correlation between annual river runoff and annual values of NAOI. On the other hand there is a good relation between annual river runoff and values of NAOI for winter in most of the investigated stations and for autumn in some of the investigated stations (Tab. 3). The reason for these results is the fact that NAO is active during the winter-time. The correlation is negative for all seasons except for autumn.

The influence of NAO on seasonal runoff in the Struma river basin is described by the results of correlation analysis between seasonal runoff and seasonal NAOI (Tab. 4). The relation between seasonal runoff and seasonal NAOI is negative and the correlation is statistically significant only for winter. The values of correlation coefficients are between 0.32 and 0.67. The coefficients in the North part of the region are higher than in the South.

By means of cluster analysis we have classified the hydrological stations according to the correlation between river runoff and NAOI for winter (DJF). The stations are

grouped into 3 clusters. Each of these clusters is divided into 2 groups (Fig. 3).

Cluster 1 consists of 9 stations located mainly in the southern part of the Struma catchment. Cluster 2 consists of 10 stations and covers the central part of the investigated region. And cluster 3 includes 7 stations with heterogeneous distribution. Cluster 2 shows the best correlation with NAO. The results show that the relation between seasonal river runoff and NAOI for wintertime is influenced mainly by the geographical situation and climatic conditions of the stations.

**Table 3. Correlation coefficients between annual river runoff and annual and seasonal NAOI.**

| Hydro-metric station        | Annual       | DJFM          | Win           | Spr          | Sum          | Aut          |
|-----------------------------|--------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Struma-Pernik</b>        | <b>-0.05</b> | <b>-0.21</b>  | <b>-0.30*</b> | <b>-0.02</b> | <b>0.05</b>  | <b>0.33*</b> |
| Konska-Batanovtsi           | 0.10         | -0.17         | -0.15         | 0.07         | -0.13        | 0.44*        |
| Treklyanska                 | -0.19        | -0.33*        | -0.33*        | 0.02         | -0.25        | 0.27         |
| <b>Struma-Rajdavitsa</b>    | <b>-0.26</b> | <b>-0.42*</b> | <b>-0.48*</b> | <b>-0.08</b> | <b>-0.16</b> | <b>0.30*</b> |
| Dragovishtica-Goranovci     | -0.05        | -0.38*        | -0.41*        | -0.02        | -0.03        | 0.45*        |
| Svolyanska Bistr-Svolyanovo | -0.23        | -0.37*        | -0.41*        | -0.06        | -0.17        | 0.30*        |
| Svolyanska Bistr-Garlyano   | -0.23        | -0.37*        | -0.22         | -0.08        | -0.02        | 0.16         |
| Novoselska-Sokoshnica       | -0.23        | -0.50*        | -0.39*        | -0.03        | -0.12        | 0.30*        |
| Djerman-Dupnica             | -0.14        | -0.24         | -0.29         | -0.09        | -0.06        | 0.41*        |
| Eleshnica-Vaksevo           | -0.25        | -0.44*        | -0.41*        | -0.02        | -0.11        | 0.27         |
| Eleshnica-Rakovo            | -0.34        | -0.59*        | -0.53*        | -0.12        | -0.02        | 0.28         |
| <b>Struma-Boboshevo</b>     | <b>-0.17</b> | <b>-0.38*</b> | <b>-0.40*</b> | <b>-0.06</b> | <b>-0.15</b> | <b>0.34*</b> |
| Rilska-Pastra               | -0.18        | -0.48*        | -0.44*        | -0.04        | -0.16        | 0.39*        |
| Iliina-Brichi bor           | -0.19        | -0.13         | -0.03         | -0.07        | -0.27        | 0.06         |
| Blagoevgr.Bistrica-BI.gr.   | -0.03        | -0.38*        | -0.30*        | 0.08         | -0.18        | 0.42*        |
| Blagoevgr.Bistrica-480      | -0.06        | -0.39*        | -0.30*        | 0.04         | -0.15        | 0.42*        |
| Gradevska-Gradevo           | -0.23        | -0.49*        | -0.42*        | -0.03        | -0.11        | 0.27         |
| <b>Struma-Krupnik</b>       | <b>-0.24</b> | <b>-0.41*</b> | <b>-0.44*</b> | <b>-0.07</b> | <b>-0.13</b> | <b>0.28</b>  |
| Sushitska-Polena            | -0.26        | -0.22         | -0.19         | 0.08         | -0.36*       | 0.14         |
| Vlahinska-Vlahi             | -0.24        | -0.49*        | -0.40*        | -0.03        | -0.12        | 0.23         |
| Sandanska Bistrica          | 0.06         | -0.34*        | -0.37*        | 0.13         | 0.09         | 0.39*        |
| Pirinska Bistrica           | 0.01         | -0.14         | -0.16         | 0.14         | 0.02         | 0.18         |
| Strumeshnica-Mitino         | -0.13        | -0.38*        | -0.26         | 0.14         | -0.05        | 0.02         |
| Strumeshnica-Zlatarevo      | -0.28        | -0.51*        | -0.46*        | -0.02        | -0.16        | 0.23         |
| <b>Struma-Marino pole</b>   | <b>-0.26</b> | <b>-0.49*</b> | <b>-0.52*</b> | <b>-0.06</b> | <b>-0.13</b> | <b>0.36*</b> |

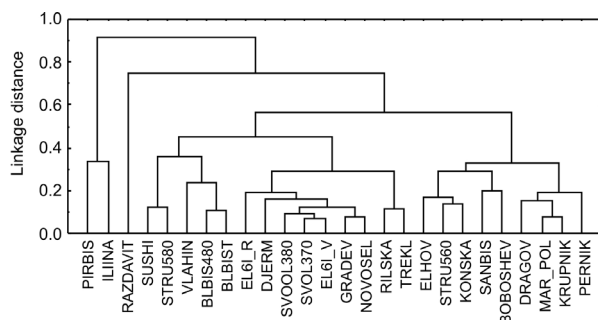
\* marked coefficients are significant at level  $p = 0.05$   
in bold are the stations situated on the main river

**Table 4. Correlation coefficients between seasonal runoff and seasonal NAOI.**

| Station                     | Winter        | Spring       | Summer       | Autumn       |
|-----------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Struma-Pernik</b>        | <b>-0.45*</b> | <b>-0.13</b> | <b>0.22</b>  | <b>0.07</b>  |
| Konska-Batanovtsi           | -0.40*        | -0.04        | 0.07         | -0.07        |
| Treklyanska                 | -0.52*        | -0.14        | -0.01        | -0.24        |
| <b>Struma-Rajdavitsa</b>    | <b>-0.42*</b> | <b>0.10</b>  | <b>-0.29</b> | <b>0.40*</b> |
| Dragovishtica-Goranovci     | -0.57*        | -0.16        | 0.16         | -0.07        |
| Svolianska Bistr-Svolyanovo | -0.52*        | -0.24        | -0.01        | -0.16        |
| Svolianska Bistr-Garlyano   | -0.57*        | -0.25        | -0.06        | -0.19        |
| Novoselska-Sokoshnica       | -0.53*        | -0.19        | -0.11        | -0.10        |
| Djerman-Dupnica             | -0.56*        | -0.30*       | -0.12        | -0.13        |
| Eleshnica-Vaksevo           | -0.56*        | -0.18        | -0.01        | -0.16        |
| Eleshnica-Rakovo            | -0.67*        | -0.22        | -0.03        | -0.07        |
| <b>Struma-Boboshevo</b>     | <b>-0.46*</b> | <b>-0.15</b> | <b>0.03</b>  | <b>0.11</b>  |
| Rilska-Pastra               | -0.47*        | -0.19        | -0.10        | -0.26        |
| Iliina-Brichi bor           | -0.10         | -0.22        | -0.28        | -0.39*       |
| Blagoevgr.Bistrica-Bl.gr.   | -0.53*        | -0.15        | -0.20        | -0.13        |
| Blagoevgr.Bistrica-480      | -0.48*        | -0.08        | -0.19        | -0.07        |
| Gradevska-Gradevo           | -0.51*        | -0.20        | -0.07        | -0.16        |
| Struma-Krupnik              | -0.50*        | -0.16        | 0.10         | -0.02        |
| Sushitska-Polena            | -0.47*        | 0.05         | -0.14        | -0.13        |
| Vlahinska-Vlahi             | -0.32*        | -0.19        | -0.27        | -0.19        |
| Sandanska Bistrica          | -0.33*        | -0.02        | 0.05         | 0.05         |
| Pirinska Bistrica           | 0.01          | 0.02         | -0.10        | -0.28        |
| Strumeshnica-Mitino         | -0.47*        | 0.13         | -0.24        | -0.11        |
| Strumeshnica-Zlatarevo      | -0.34*        | -0.10        | 0.00         | -0.14        |
| <b>Struma-Marino pole</b>   | <b>-0.53*</b> | <b>-0.15</b> | <b>0.07</b>  | <b>0.04</b>  |

\* marked coefficients are significant at level  $p = 0.05$ ;  
in bold are the stations situated on the main river

**Figure 3. Tree Diagram of hydrological stations cluster according correlation between river runoff<sub>DIF</sub> and NAOI<sub>DIF</sub>.**



### River runoff during positive and negative NAOI<sub>DJFM</sub> stages

In this section we investigate the river runoff during the years with positive and negative NAOI.

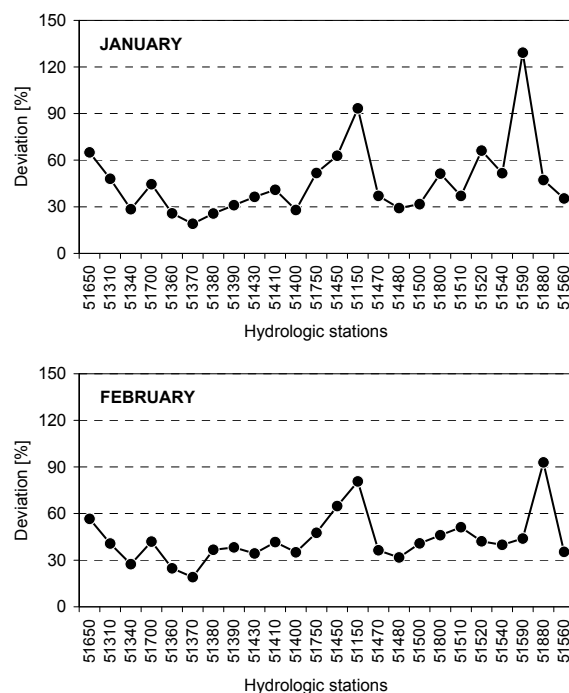
In order to investigate river runoff during positive and negative NAO stages the deviation in % of river runoff during the years with extreme high NAOI<sub>DJFM</sub> (NAOI > 2) from those in the years with extreme low NAOI<sub>DJFM</sub> (NAOI < -2) is calculated. We study the river runoff during the months with statistically significant correlation coefficients – from January to April. The river runoff for the years with extreme high NAOI is less than one in the years with extreme low NAOI. The deviation is between 40 and 80% in most cases. For some hydrological stations situated in the North and North-western part of the catchment area the deviation of river runoff during the years with extreme high NAOI is about 20 – 40% of river runoff during the years with extreme low NAOI. Some of the results from this analysis are shown in Figure 4.

The second tool for the study the river runoff during different NAO stages is the deviation between river runoff in the years with extremely high NAOI<sub>DJFM</sub> (NAO+) and in the years with extremely low NAOI<sub>DJFM</sub> (NAO-) from mean runoff for the period 1961 – 2006 (Fig. 5).

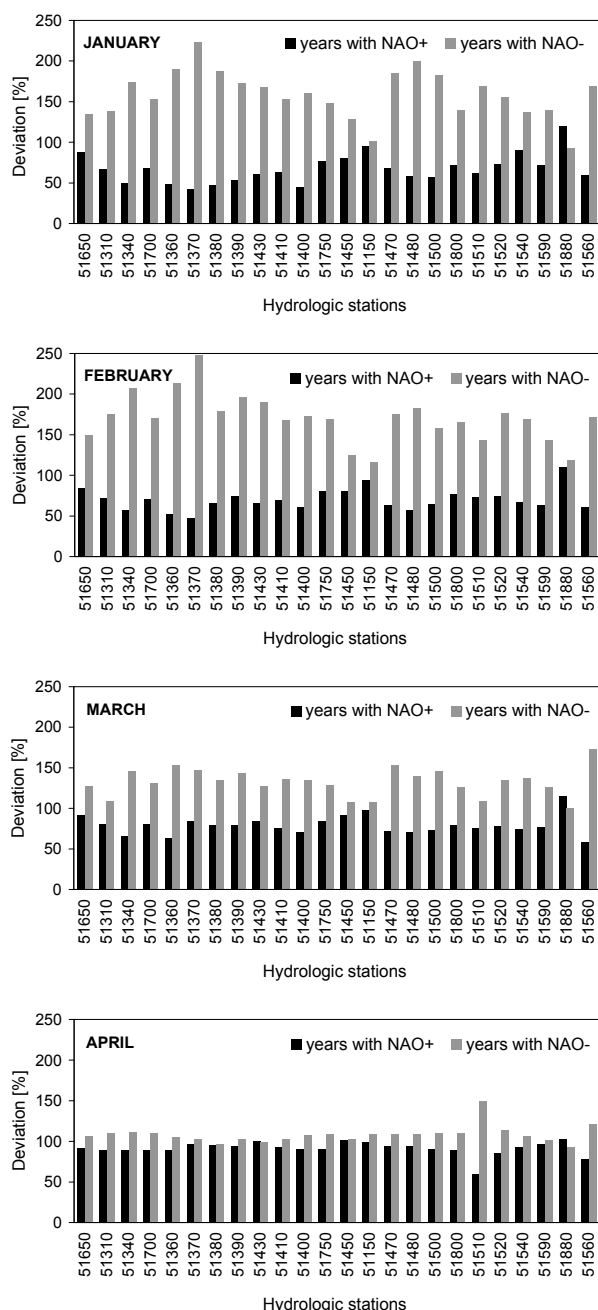
In January, in all investigated hydrological stations (except Brichi bor (Iliina river) and Gorno Spanchevo (Pirinska Bistritsa river)) the river runoff during the years with negative NAOI is above 100% of the average runoff for the period 1961 – 2006. The highest flows have been observed in the central part of the Struma river catchment. In the years with positive NAOI the river runoff has been lower than average for the period 1961 – 2006. In most of the cases the runoff has been between 50 and 70% of the average. The biggest difference between river runoff during different NAO stages occurs mainly in the central part of the Struma river basin. The tendency established in January is observed in February too. The years with low values of NAOI are characterized by higher flows in comparison to the years with high values of NAOI.

The difference between the deviations of river runoff in the years with low and high values of NAOI from the average decreases in March (Fig. 5). During the period with low NAOI the river runoff has been between 100 and 150% of the average for the period 1961 – 2006. In the years with high NAOI the river runoff has been 58 – 92% of the average. The highest differences between the deviation of river runoff from average for the period 1961 – 2006 during two NAO phases in March have been observed in the Northern part of the Struma river catchment and the lower – in the central part.

**Figure 4. Deviation [%] of river runoff during the years with extreme high NAOI<sub>DJFM</sub> (NAOI > 2) from those in the years with extreme low NAOI<sub>DJFM</sub> (NAOI < -2). On the charts the order of the stations from left to right corresponds to their geographical position in the region from north to south.**



**Figure 5. Deviation [%] between river runoff during the years with low and high NAOI and the average for the period 1961–2006. On the charts the order of the stations from left to right corresponds to their geographical position in the region from north to south.**



In April the deviation of river runoff for the periods with low and high NAOI from the average for 1961–2006 is not significant and it is close to 100%. In May the deviation of river runoff for the period with low NAOI from an average for the period 1961–2006 is mainly between 116 and 130%. Only in two stations the deviation is less than 100% and in some stations the deviation is higher than 130%. But we have to accept these results with some uncertainty because the correlation coefficients between river runoff in May and NAO is not statistically significant in many of observed stations.

## CONCLUSION

The results of the present analysis show that NAO has a significant impact on river runoff in the Struma river catchments during the winter-time. The annual river runoff is determined mostly from winter-time NAOI. The relation between NAOI and river runoff in the study area can be explained by the impact of NAOI on the precipitation in South and Eastern Europe.

The correlation between river runoff and  $NAOI_{DJFM}$  is negative. During the years with extreme high NAOI low flows have been observed. The river runoff during the years with negative NAOI is above the average runoff for the period 1961–2006.

Accordingly the correlation between river runoff during the winter time and  $NAOI_{DJFM}$  hydrological stations in the Struma river catchment can be classified into 3 clusters – 1) in the South part, 2) in the Central part and 3) with heterogeneous distribution. Each of the 3 clusters is divided into 2 groups. The main factor for the cluster stations is the geographical position of the stations.

## Acknowledgements

The author would like to thank Prof. DSc D. Topliński from the University of Sofia for useful discussion and comments. Ms B. Borissova is acknowledged for preparation of Figure 2.

## REFERENCE

- Alexandrov, V.–Genev, M., 2004, *The Effect of Climate Variability and Change on Water Resources in Bulgaria. Proceedings of the British Hydrological Society International Conference on Hydrology*. London, UK.
- Alexandrov, V.–Genev, M.–Aksoy, H., 2005, *Climate variability and change effects on water resources in the western Black Sea coastal zone. Proceedings of the European Water Resources Association (EWRA'2005) Conference: "Sharing a common vision for our water resources"*, 7–10 September 2005, Menton, France.
- Cullen H.M.–Kaplan, A.–Arkin, Ph.A.–Demenocal, P.B., 2002, *Impact of the North Atlantic Oscillation on Middle Eastern Climate and Streamflow. Climatic Change* 55, 315–338.
- Hurrell, J.W., 2000, *Climate: North Atlantic and Arctic Oscillation (NAO/AO)*. Encyclopedia of Atmospheric Sciences. Academic Press.
- Jones, P.D.–Jonsson, T.–Wheeler, D., 1997, *Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. Int. J. Climatol.* 17, 1433–1450.
- Karabörk, M.Ç.–Kahya, E.–Karaca, M., 2005, *The influences of the Southern Oscillation and North Atlantic Oscillation on hydrometeorological surface parameters in Turkey, Hydrol. Processes*, 19, 1185–1211.
- Kingston, D.G.–Lawler, D.M.–McGregor, G.R., 2006, *Linkages between atmospheric circulation, climate and streamflow in the northern North Atlantic: research prospects. Progress in Physical Geography* 30, 2, 143–174.
- Mares, I.–Mares, C.–Stanciu, P., 2006, *Climate variability of the discharge level in the Danube lower basin and teleconnection with NAO. Proceedings of the International*

- Conference on "Water Observation and Information System for Decision Support" Ohrid, Republic of Macedonia, 23–26 May 2006.
- Nikolova, N., 2004, Rainfall variability in Bulgaria and its relation with North Atlantic Oscillation – Proceedings of the Conference on Water Observation and Information System for Decision Support (BALWOIS) Ohrid, Macedonia, 25–29 May, (CD version).
- Nikolova, N., 2008, Extreme precipitation months in Bulgaria (Luni cu precipitatii extreme în Bulgaria), Geographical Forum – Geographical studies and environment protection research, Year 6, No. 7, 83–92.
- Osborn, T.J., 2006, Recent variations in the winter North Atlantic Oscillation. *Weather* 61, 353–355.
- Rimbu, N.–Boroneant, C., 2000, Decadal climate variability over the Europe during winter and its relation with the Atlantic sea surface temperature. (ed. by T. Mikami), *Proc. of the International Conference on Climate Change and Variability*, Tokyo, Japan, 1999, 225–230.
- Rimbu N.–Boroneant, C.–Buta, C.–Dima, M., 2002, Decadal variability of the Danube river flow in the lower basin and its relation with the North Atlantic Oscillation. *International Journal of Climatology*, 22, 1169–1179.
- Trigo, R.M.–Pozo-Vazquez, D.–Osborn, T.J.–Castro-Diez, Y.–Gamiz-Fortis, S.–Estaban-Parra, M.J., 2004, North Atlantic Oscillation influence on precipitation, river flow and water resources in the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology* 24, 925–944.
- Wibig, J., 1999, Precipitation in Europe in relation to circulation patterns at 500 hPa level. *Int. J. Clim.*, 19, 253–269.
- Wrzesiński, D., 2008, Impact of the North Atlantic Oscillation on river runoff in Poland. 13<sup>th</sup> IWRA World Water Congress 2008, 1–4 September, 2008, Montpellier, France.
- Zlatunova, D.–Nikolova, N., 2007, Variability of River Runoff and Water Resources in Bulgaria on the Background of Regional Climate Changes. *The First Congress of Serbian Geographers. Sokobanja, October 19<sup>th</sup>–22<sup>nd</sup>, 2006.*



# MODIFIKÁCIA KLIMATICKÝCH KLASIFIKÁCIÍ PRE PODMIENKY TEPLEJŠEJ KLÍMY NA SLOVENSKU

MILAN LAPIN, MARIÁN MELO

Fakulta matematiky, fyziky a informatiky UK, Mlynská dolina, F-1, 842 48 Bratislava

*National climatic classifications are based in Central Europe mostly on the characteristics of soil moisture (or hydrologic balance of river catchments) and on different temperature criteria. No unified methods are used, that is why the results can't be completely compared. The only generally applied method is the Köppen's climatic classification of zones and regions, but also this one has several modifications and unclear definition of some climatic sub-regions. As optimal basic moisture characteristic can be considered a comparison of potential and actual evapotranspiration, total radiation balance of active Earth's surface and precipitation, it means a comparison of evapotranspiration and energetic limits of water balance from both sides limiting the soil moisture. It is needed to take into consideration also the annual course (regime) of these variables as well as the annual course of soil moisture, possibly also the changing climate, mainly air temperature increase, change in precipitation regime, decrease of relative humidity and increase of water vapor pressure. As an important factor at climatic classification apply also the topography and complex geography conditions need to be considered. In this paper some recommendations on modification of the Konček's moisture index and some of up to present methods of climatic classification are mentioned, mainly in connection with supposed climate change scenarios.*

*Národné klimatické klasifikácie sú v strednej Európe založené väčšinou na charakteristikách zavlaženia pôdy (alebo hydrologickej bilancie povodí) a na rôznych teplotných kritériách. Nepoužíva sa ale jednotná metodika, preto nie sú výsledky celkom porovnateľné. Jedinou všeobecne používanou metódou je Köppenova klasifikácia klimatických pásiem a oblastí, ktorá má tiež niekoľko modifikácií a nie celkom jasnú definíciu časti klimatických podoblastí. Optimálnou základnou charakteristikou zavlaženia by mohlo byť porovnanie potenciálnej evapotranspirácie, aktuálnej evapotranspirácie, celkovej bilancie žiarenia aktívneho povrchu a úhrnov zrážok, čiže evapotranspiračných a energetických limitov zavlaženia z oboch obmedzujúcich strán. Potrebne je však brať do úvahy aj ich ročný chod (režim) a ročný chod vlhkosti pôdy, prípadne aj meniacu sa klímu, najmä rast teploty vzduchu, zmeny režimu zrážok, pokles relatívnej vlhkosti vzduchu a rast tlaku vodnej pary. Významným faktorom pri aplikácii klimatických klasifikácií sú aj orografické a celkové geografické pomery. V článku je uvedených niekoľko návrhov na modifikáciu Končekovho indexu zavlaženia a iných doteraz používaných metód klimatickej klasifikácie, najmä v súvislosti s predpokladanými scenármi klimatickej zmeny.*

**Keywords:** climate change scenarios, climatic classification, soil moisture, modified methods

## KONČEKOV INDEX ZAVLAŽENIA

Určítym kompromisom v regionálnom hodnotení podmienok zavlaženia je jednoduchý empirický, tzv. Končekov, index zavlaženia (Konček, 1955), vychádzajúci z metodiky Thornthwaiteovho indexu, ktorý sa na Slovensku a v Českej republike používa už vyše 50 rokov.

$$I_z = 0,5 R + \Delta r - 10T - (30 + v^2),$$

kde  $R$  je úhrn zrážok za teplý polrok (IV–IX),  $\Delta r$  je prebytok úhrnu zrážok oproti úhrnu 105 mm za zimu (XII–II),  $T$  je priemer teploty vzduchu za teplý polrok a  $v$  je priemer rýchlosti vetra o 14. h za teplý polrok. Konček pri návrhu tohto indexu  $I_z$  zrejme v zjednodušení predpokladal, že z úhrnu zrážok v teplom polroku sa za priemerných teplotných podmienok polovica vyparí a polovica sa bude podieľať na odtoku (rovnako na celom území Slovenska) a tiež to, že zo zimných zrážok prispeje k zavlaženiu pôdy v teplom polroku len tá časť úhrnu, ktorá sa nestihne v marci vypariť, tiež zjednodušene iba tá časť úhrnu zrážok,

ktorá prekročí za zimné obdobie (XII až II) úhrn 105 mm (opäť rovnako na celom území Slovenska) a tak prispeje k polovici zrážok z vegetačného obdobia (teplý polrok IV–IX).

Potenciálna evapotranspirácia  $E_0$  limituje zhora aj aktuálnu evapotranspiráciu a závisí len od meteorologických podmienok v prízemnej vrstve atmosféry, lebo vlhkosť pôdy tu nie je limitujúcim faktorom. Pri hodnotení (výpočte)  $E_0$  sú dôležité najmä 3 parametre: energia spotrebovaná na výpar vody z pôdy a transpiráciu rastlín pri teplote vyparujúceho sa aktívneho zemského povrchu (vrstvy), sýtosťný doplnok v atmosfére nad vyparujúcim sa povrchom a turbulentný prenos vlhkosti od vyparujúceho sa povrchu smerom nahor do atmosféry. V Končekovom indexe nahrádza energiu a sýtosťný doplnok priemerná teplota vo vegetačnom období (dá sa ľahko zistiť, že sa dosahuje v takomto zjednodušení významná korelácia medzi priemermi teploty vzduchu a priemermi bilancie žiarenia, resp. sýtosťného doplnku) a podmienky turbulentného prenosu nahrádza štvorec priemernej rýchlosti vetra meranej

o 14. h zvýšený o 30 (aj v tomto prípade sa dá dokázať, že existuje významná korelácia uvedených veličín). Rastúca priemerná teplota vzduchu a rastúca rýchlosť vetra teda v skutočnosti pri výpočte indexu  $I_z$  znižuje úhrn zrážok absorbovaný pôdou, ktorý sa tak podieľa menšou mierou na odtoku. Pri takto definovanej  $E_0$  nie je možné zohľadniť horizontálnu advekciu energie na potenciálny výpar a ani tzv. oázový efekt, často sa podieľajúci na zložitosti režimu evapotranspirácie z relatívne malých plôch.

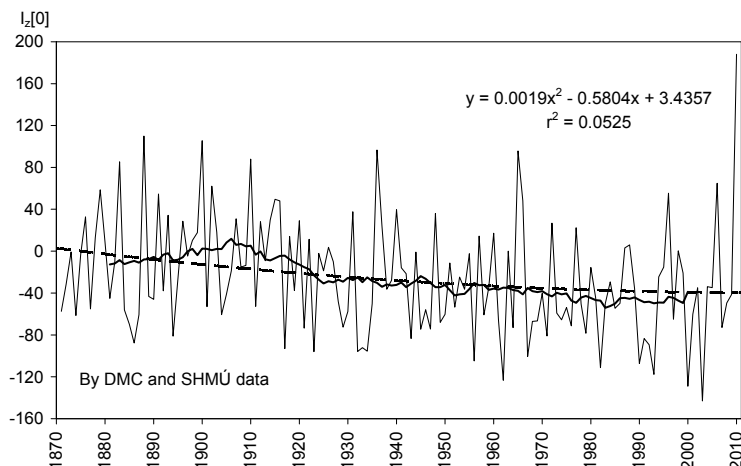
Index  $I_z = 0$  dáva vyrovnanú bilanciu zavlaženia, pri  $I_z$  od 0 až do  $-20$  je mierne suchá oblasť a pod  $-20$  suchá oblasť, pri  $I_z$  od 0 do 60 je mierne vlhká a nad 120 veľmi vlhká oblasť. Veľmi suchá oblasť  $I_z < -40$  sa na Slovensku do roku 1960 nevyskytovala, po prvýkrát sme ju zadefinovali v Atlase krajiny Slovensko (Lapin et al., 2002), v období 1951–1980 iba v Hurbanove, do roku 2010 sa širi ďalej na sever a východ. Na obrázku 1 vidíme vývoj Končekovho indexu zavlaženia po jednotlivých rokoch, jeho 21-ročné kľzavé priemery a trend 2. stupňa pre Hurbanovo. Aj z takéhoto spracovania je vidieť, že do roku 1927 patrila lokalita Hurbanovo (a tiež iné podobné) do oblasti s  $I_z$  nad  $-20$ , čiže do mierne suchej, po roku 1965 ale už prevažne do oblasti s  $I_z$  pod  $-40$ , teda do veľmi suchej, ktorá sa pred rokom 1965 na Slovensku prakticky nevyskytovala počas viacerých rokov za sebou v priemere.

Ako sme uviedli vyššie, nezohľadňujú sa tu rozdielne podmienky odtoku počas roka a medzi rôznymi orografic-

kými typmi. Kombináciou s inými kritériami vznikla tzv. Československá klimatická klasifikácia, ktorá bola použitá v Atlase klímy Československa (1958), v Klimatických a fenologických pomeroch jednotlivých krajov Slovenska (1968 až 1972) a aj v Atlase krajiny SR (2002). Pre teplú oblasť je kritérium  $\geq 50$  letných dní za rok v priemere (tiež žatva raže ozimnej pred 15. júlom, toto kritérium je ale už v súčasnosti nepoužiteľné kvôli pestovaniu nových odrôd a variét obilia), pre mierne teplú oblasť dlhodobý priemer teploty v júli  $T \geq 16^\circ\text{C}$ , chladná zima má v januári v priemere  $T < -3^\circ\text{C}$  a studená zima  $T < -5^\circ\text{C}$ , dlhší snežný svit je nad 1500 hodín vo vegetačnom období v priemere a chladná klíma má tri okrsky pre dlhodobý priemer júlavej teploty ( $T < 16, < 12$  a  $< 10^\circ\text{C}$ , čiže iba najchladnejší okrsok je nad hranicou lesa). V Atlase krajiny SR (2002) bolo potrebné urobiť niekoľko malých úprav pôvodnej klasifikácie, pretože sa zmenila klíma (je suchšia a teplejšia). Očakáva sa, že pre budúce obdobia je treba urobiť ešte významnejšie úpravy  $I_z$ . Ako je vidieť z obrázku 2, jedno z hlavných kritérií, počet letných dní s  $T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$ , sa v posledných 22 rokoch výrazne zvýšil, čo prispelo k expanzii teplej klimatickej oblasti do vyšších polôh na Slovensku (pred rokom 1960 bol počet letných a tropických dní podobný ako v období 1961–1980, napríklad v období 1931–1960 to bolo 73,8, resp. 16,9 dní za rok). Problematikou zmien Končekovho indexu zavlaženia a aridizácie krajiny sa zaoberali aj Melo et al. (2007).

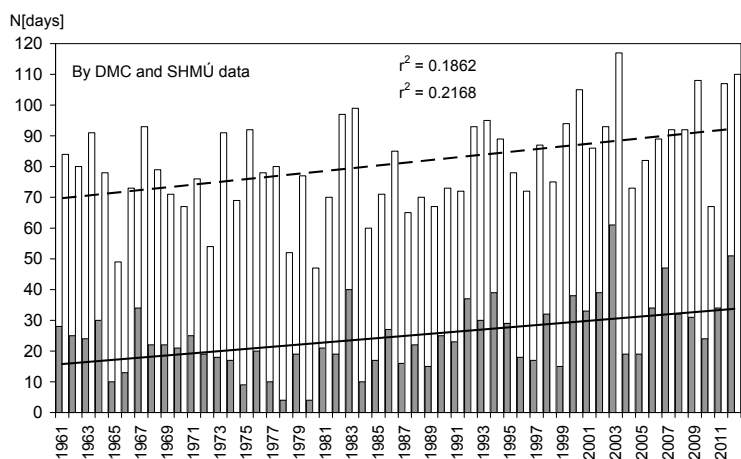
**Obrázok 1.**  
Ročné a kľzavé 21-ročné hodnoty  
Končekovho indexu zavlaženia pre  
Hurbanovo v období 1871–2010  
(trend je vyjadrený polynómom 2. stupňa  
s koeficientom determinácie  $r^2 = 0,0525$   
( $r = |0,2292|$ ) teda ešte významný  
na hladine 95 %).

Figure 1.  
Annual and 21-year moving averages of  
Konček's moisture index at Hurbanovo  
(SW Slovakia, 115 m a.s.l.) in 1871–2010  
(trend is expressed by power trendline with  
the determination coefficient  $r^2 = 0.0525$   
( $r = |0,2292|$ ), that means significant  
on 95% level.



**Obrázok 2.**  
Počet tropických (tmavé stĺpce,  $T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$ )  
a letných dní (svetlé stĺpce,  $T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$ )  
v Hurbanove za roky v období 1961–2012  
(trend je významný na hladine 95 %,   
priemer v období 1951–1980 je 18,7,  
resp. 74,0 a v období 1991–2010 je 31,6,  
resp. 89,1 dní).

Figure 2.  
Number of tropical days (dark columns with  
 $T_{\max} \geq 30^\circ\text{C}$ ) and summer days (light columns  
with  $T_{\max} \geq 25^\circ\text{C}$ ) at Hurbanovo in years  
1961–2012 (significant trend at 95% level,  
mean in 1951–1980 is 18.7, resp. 74.0 and  
in 1991–2010 is 31.6, resp. 89.1 days).

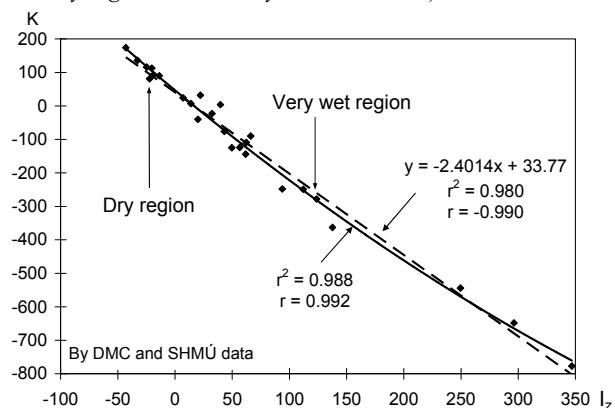


## KLIMATICKÝ UKAZOVATEĽ ZAVLAŽENIA, RADIAČNÝ INDEX SUCHA A RELATÍVNA EVAPOTRANSPIRÁCIA

Tomlain (1991) vypočítal  $E_0$  (mesačné sumy) pre celé územie Slovenska od roku 1950, čo mu umožnilo urobiť zhodnotenie pomocou tzv. klimatického ukazovateľa zavlaženia  $K_z = E_0 - R$  za rok a teplý polrok. Ročné hodnoty klimatického ukazovateľa zavlaženia  $K_z$  sú okolo 0 mm pri ročnom úhrne zrážok 650 mm, na juhu Podunajskej nížiny dosahuje  $K_z$  nad 150 mm, na Východoslovenskej nížine a na Záhorí nad 100 mm, v kotlinách na severe SR okolo -100 a na hrebeňoch hôr menej ako -800 mm. Záporné hodnoty znamenajú prebytok vlhky v pôde a kladné nedostatok. Nezohľadňujú sa tu však rovnako ako pri  $I_z$  dostatočne rozdielne podmienky odtoku v jednotlivých povodiach. Porovnanie  $K_z$  a  $I_z$  je znázornené na grafe (Obr. 3) a je zrejmé, že tieto dva indexy zavlaženia majú vysokú koreláciu a sú prakticky zameniteľné. Na druhej strane je potrebné uviesť kritický námitku, že zrejme majú aj obidva indexy podobné nedostatky v nerešpektovaní orografických zvláštností v hydrologickej bilancii povodí, najmä v odtoku.

**Obrázok 3.** Korelácia Končekovho indexu zavlaženia  $I_z$  a Tomlainovho klimatického ukazovateľa zavlaženia  $K$  za rok pre 26 spoločných staníc za obdobie 1951–1980 (vyznačená je hranica suchej oblasti s  $I_z$  pod -20 a veľmi vlhkej s  $I_z$  nad 120).

Figure 3. Correlation of Konček's moisture index  $I_z$  and annual Tomlain's climatic index of moisture  $K$  for 26 stations in Slovakia in 1951–1980 ( $K = E_0 - R$ , where  $E_0$  is potential evapotranspiration sum and  $R$  is precipitation total, very wet and dry region limits are by Konček's index).



Ďalším z kritérií je napríklad Budykov radiačný index sucha, teda pomer energií  $I_B = B/LR$ , čiže celkovej radiačnej bilancie  $B$  a energie spotrebovanej na výpar zrážok  $LR$  ( $L$  je skupenské teplo výparu). Ide o hypotézu dostatku/prebytku energie z celkovej radiačnej bilancie za predpokladu úplného výparu zrážkového úhrnu. Testujú sa teda energetické podmienky výparu zrážok bez odtoku. V priblížení je to aj pomer potenciálnej evapotranspirácie  $E_0$  (teda, ak  $B = LE_0$ ) a úhrnov zrážok  $R$  (hodnoty  $I_B$  nad medzi 1,0 a 2,0 charakterizujú podľa Budyka lesostep až step a  $I_B$  medzi 0,33 a 1,0 les). Podľa iných prameňov od Budyka je hranica medzi lesom a lesostepou (stepou) pre  $E_0/R = 1,3$ . Na juhu Slovenska je teraz najvyššia hodnota  $E_0/R$  okolo 1,4 a v posledných obdobiach sa sústavne

zvyšuje ( $E_0$  a  $R$  sa musia brať ako dlhodobé priemery za 30 rokov, za kratšie obdobia pomer  $E_0/R$  môže dosiahnuť na Slovensku aj vyššie hodnoty). Je zrejmé, že ani pri tomto indexe sucha nie je dostatočne zohľadnený vplyv orografie (južné a severné svahy, odtokové pomery). Všetky uvedené indexy boli spracované pri klimatickom hodnotení obdobia 1951–1980 a 1961–1990 na Slovensku (Tomlain, 1991, 2002).

## PROBLÉMY PRI APLIKÁCIÍ INDEXOV ZAVLAŽENIA V MENIAJEC SA KLÍME

Vo všetkých vyššie uvedených metódach hodnotenia zavlaženia je kľúčovým problémom odhad priemernej vlhkosti pôdy (skutočného zavlaženia pôdy, z ktorého sa dá vypočítať aktuálna evapotranspirácia  $E$ ). Je známe, že priemerný odtok vody zo zrážok  $q$  dosahuje v rovnici hydrologickej bilancie  $R = E + q + \Delta W$  široké spektrum hodnôt (od 0 % z  $R$  v bezodtokových oblastiach až po vyše 90 % z  $R$  v niektorých horských polohách, pričom je na Slovensku priemer asi 35 %). Limitom je tu práve skutočný (aktuálny) výpar (evapotranspirácia)  $E$  a zmeny zásob vody v horných vrstvách pôdy  $\Delta W$ . Na kvantifikáciu časového režimu zložiek hydrologickej bilancie sa musí sústrediť pozornosť pri modifikácii nielen Končekovho indexu  $I_z$  ale aj iných indexov zavlaženia v súvislosti s meniacou sa klímou. Klimatická zmena prináša do strednej Európy niekoľko nových prvkov a procesov, ktoré významne ovplyvňujú aj podmienky zavlaženia pôdy a aj hydrologickú bilanciu povodí. V zimnom období (v období výskytu snehovej pokrývky) nastali významné zmeny v súvislosti so zvyšovaním priemernej teploty a s výskytom teplých a zrážkovo bohatých epizód. Oteplenie o 1 °C znamená v zime nielen posun „snežnej čiary“ asi o 200–250 m nadmorskej výšky a zvýšenie úhrnu zrážok asi o 10 % v priemere ale aj zmenu režimu snehovej pokrývky a skupenstva zrážok počas zimy. Na Slovensku sa nachádza v nadmorskej výške nad 300 m asi 60 % územia, no nad 1000 m iba 5,4 % územia. To znamená, že s oteplením klímy sa rýchlo zmenšuje plocha Slovenska s trvalejšou snehovou pokrývkou a na väčšine územia sa rozširuje režim nepravidelnej snehovej pokrývky s prechodne tekutými zrážkami aj uprostred zimy, čo znamená, že väčšia časť zrážok sa podieľa na odtoku počas celej zimy a nie až na jar ako to bývalo v minulosti. Nakoniec to pozorujeme skoro každú jar, že začiatkom apríla je pôda už prakticky suchá do veľkej hĺbky a zásoby zimnej vlhky sú aj po zime bohatej na zrážky pomerne malé. Z uvedených príčin je kritérium prebytku zrážok  $\Delta r > 105$  mm za zimu už v súčasnosti v Končekovom indexe zavlaženia  $I_z$  neudržateľné a malo by byť postupne zvyšované s rastúcou priemernou teplotou vzduchu a rastúcimi zrážkami za zimné obdobie. Cieľom by mala byť taká modifikácia tohto kritéria, aby zabezpečovalo porovnateľný výsledok príspevku zimnej vlhky k zvýšeniu vlhkosti pôdy na začiatku konvenčného vegetačného obdobia, teda k 1. aprílu (skutočný nástup vegetačného obdobia môže byť ale o dosť odlišný).

V posledných dvoch desaťročiach je priemer teploty za zimu asi o 1,2 °C vyšší ako v období 1931–1960 a úhrn

zrážok je asi o 10 % vyšší. Navyše sa takmer v každom predjarí (koniec februára a začiatok marca) objavujú epizódy s výrazne teplým a suchým počasím. Je teda možné toto kritérium ( $\Delta r > 105$  mm za zimu) úplne zrušiť, prípadne ho modifikovať podľa reálnych podmienok priemernej teploty za zimu a podmienok na konci zimy. Navrhujeme taký postup, že pri priemernej teplote za zimu  $\geq 2,0$  °C toto kritérium zrušiť úplne a pri nižšej teplote postupne sprisňovať z počiatočných  $\Delta r > 150$  mm až po  $\Delta r > 105$  mm, po 2 mm na každý 0,1 °C ochladenia pod 2 °C (podrobnosti sú v tabuľke). Navrhovaný limit 150 mm vyplýva z toho, že za obdobie XII až III môže na nížinách dosiahnuť potenciálny výpar (potenciálna evapotranspirácia) až 80 mm v priemere (pri priemere  $T = 2$  °C), v marci je na nížinách priemerný úhrn zrážok okolo 35 mm a zvyšok, teda 105 mm, predstavuje aj na nížinách predpokladaný odtok v mesiacoch XII až III. Na 1 °C oteplenia rastie sýtosťný doplnok a aj potenciálna evapotranspirácia asi o 6 %, čo za celú zimu a marec predstavuje spolu zvýšenie  $E_0$  asi o 5 mm. To pri predpokladanom priemernom odtoku 50 %  $R$  znamená zvýšenie úhrnu zrážok o 10 mm. V období 1901–1990 bol priemer zimnej teploty na nížinách Slovenska okolo  $-0,4$  °C.

**Tabuľka 1. Pozmenená metodika výpočtu prebytku zimných úhrnov zrážok  $R_z$ , ktorý sa pripočíta k úhrnu za teplý polrok v rovnici pre Končekov index zavlaženia  $I_z$  ( $\Delta r$  je iba úhrn prevyšujúci  $R_z$  v tabuľke a  $T_z$  je priemer teploty vzduchu za zimu (XII–II)).**

Table 1. Change in method of winter (Dec.–Feb.) precipitation  $R_z$  surplus  $\Delta r$  calculation in the Konček's index formula  $I_z = 0,5 R + \Delta r - 10T - (30 + v^2)$ , where  $R$  is precipitation total in WHY (Apr.–Sept. season),  $T$  is mean air temperature in WHY and  $v$  mean wind speed at 14 h of MLT in WHY ( $T_z$  is mean winter air temperature,  $\Delta r$  is precipitation sum above the  $R_z$ ).

| $T_z$ [°C] | $R_z$ [mm] | $T_z$ [°C] | $R_z$ [mm] | $T_z$ [°C] | $R_z$ [mm] |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1,9        | > 150      | 0,9        | > 130      | -0,1       | > 110      |
| 1,8        | > 148      | 0,8        | > 128      | -0,2       | > 108      |
| 1,7        | > 146      | 0,7        | > 126      | -0,3       | > 106      |
| 1,6        | > 144      | 0,6        | > 124      | -0,4       | > 105      |
| 1,5        | > 142      | 0,5        | > 122      | -0,5       | > 105      |
| 1,4        | > 140      | 0,4        | > 120      | -0,6       | > 105      |
| 1,3        | > 138      | 0,3        | > 118      | -0,7       | > 105      |
| 1,2        | > 136      | 0,2        | > 116      | -0,8       | > 105      |
| 1,1        | > 134      | 0,1        | > 114      | -0,9       | > 105      |
| 1,0        | > 132      | 0,0        | > 112      | -1,0       | > 105      |

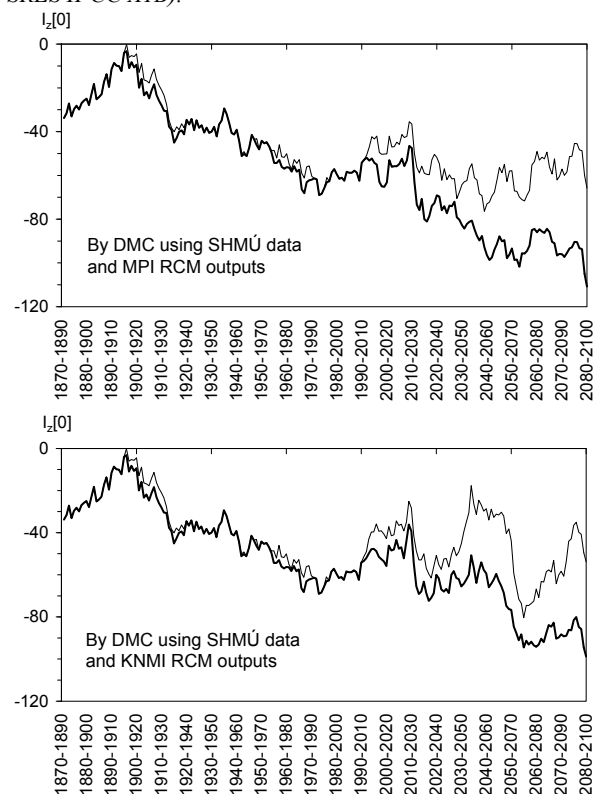
Pre teplý polrok (IV až IX) môže zostať Končekov index  $I_z$  bez zmeny, hoci by bolo tiež žiadúce zohľadniť rozdiely v režime zrážok v posledných desaťročiach, keď väčšina úhrnu zrážok za mesiace teplého polroka predstavujú intenzívnejšie konvektívne zrážky, z ktorých značná časť odtečie. Jedným z možných návrhov je zmena koeficientu 0,5 pri úhrne zrážok za teplý polrok tak, že výsledný vzťah by mal pre Končekov index zavlaženia napríklad tvar:  $I_z = 0,4 R + \Delta r - 10T - (30 + v^2)$ , teda zmenšenie vplyvu úhrnu zrážok za teplý polrok. Takáto zmena ale neprišla do výpočtov žiadne zásadné rozdiely v časovom trende  $I_z$ , preto navrhujeme naďalej ponechať vo formule koeficient 0,5 ako doteraz, aby sa zachovala kontinuita s predošlými výpočtami.

Uvedené zmeny v metodike aplikácie tzv. Končekovho indexu zavlaženia  $I_z$  neprinášajú žiadnu (alebo iba bez-

významnú) zmenu indexu  $I_z$  v období 1901–1990, teda aj v predchádzajúcich publikovaných spracovania klimatických klasifikácii Slovenska (Obr. 4 a 5).

**Obrázok 4. Kľzavé 21-ročné hodnoty Končekovho indexu zavlaženia  $I_z$  v Hurbanove (podľa meraných údajov v období 1871–2010 a podľa modifikovaných výstupov modelu MPI (hore) a KNMI (dole) v období 2011–2100, tenšia čiara vyjadruje hodnoty podľa pôvodnej a hrubšia podľa upravenej metodiky, emisný scenár SRES IPCC A1B).**

Figure 4. Moving 21-year averages of Konček's moisture index  $I_z$  for Hurbanovo (based on measured data in 1871–2010 and on modified MPI (top) and KNMI (bottom) model outputs in 2011–2100, thin lines represent original method of calculation and solid line the modified one, emission scenario SRES IPCC A1B).



## SCENÁRE ZMENY KONČEKOVHO INDEXU ZAVLAŽENIA

Na Slovensku sme doteraz aplikovali niekoľko modelových výstupov na prípravu scenárov klimatickej zmeny pre viaceré klimatické prvky a charakteristiky (Lapin a Melo, 2004; Lapin et al., 2012). Teraz sa budeme venovať iba modifikovaným výstupom regionálnych cirkulačných modelov (RCMs) KNMI (Holandsko) a MPI (Nemecko), obidva s okrajovými vstupmi z globálneho cirkulačného modelu ECHAM5 (Nemecko) a so stredným emisným scenárom SRES A1B (IPCC, 2007). Rast teploty vzduchu je podľa oboch modelov asi 3 °C do roku 2100.

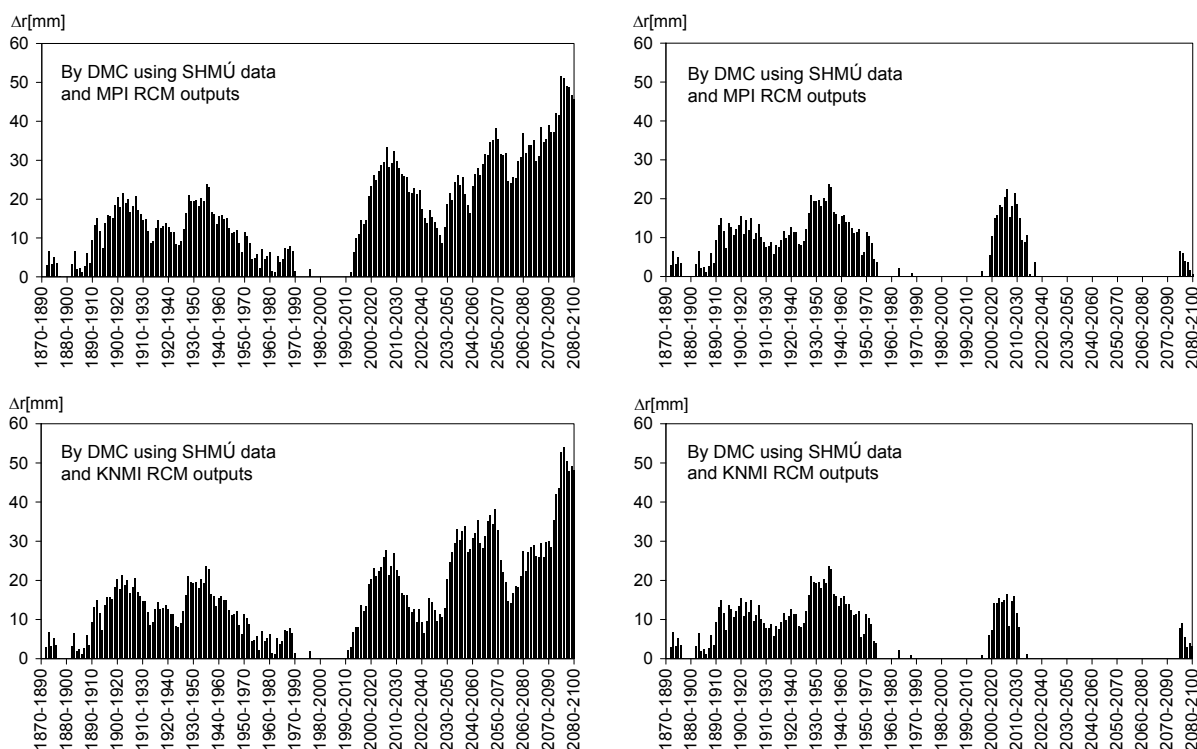
Na obrázku 4 je časový priebeh 21-ročných kľzavých priemerov Končekovho indexu  $I_z$  pre RCMs KNMI a MPI podľa pôvodnej metodiky a podľa nami navrhovanej zmenenej metodiky. V období 1871–2010 sú v grafoch vypo-

čítané hodnoty  $I_z$  podľa meraných údajov na stanici Hurbanovo. Jasne je vidieť, že zmena metodiky výpočtu  $I_z$  sa zreteľne prejavila iba po roku 1990, keď došlo k významnejšiemu otepleniu zím a súčasne vzrástli aj zimné úhrny zrážok (teda aj prebytok úhrnu nad 105 mm,  $\Delta r > 105$  mm). Uvedený prebytok  $\Delta r$  ešte lepšie vidíme na obrázku 5, pričom je jasné, že bez zmeny metodiky výpočtu  $I_z$  by

zrejme mal v budúcnosti významný podiel na zmenách  $I_z$ . Úhrny zrážok za vegetačné obdobie (IV–IX) by mali podľa scenárov mierne klesať (Obr. 6). To zrejme spôsobí pri rastúcej teplote vzduchu a málo sa meniacej rýchlosti vetra aj pokles vlhkosti pôdy, teda približne také zhoršenie podmienok zavlaženia ako to signalizuje nami upravená metodika výpočtu  $I_z$ .

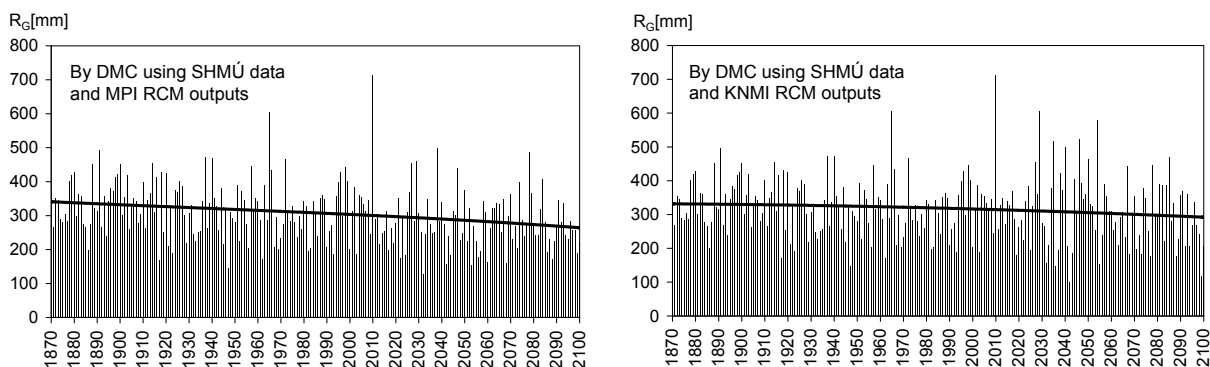
**Obrázok 5.** Prebytok úhrnu zrážok za zimu (XII–II) oproti úhrnu 105 mm ( $\Delta r$ ) na stanici v Hurbanove (podľa meraní v období 1871–2010 a podľa modifikovaných výstupov modelu MPI (hore) a KNMI (dole) v období 2011–2100, obrázky vľavo vyjadrujú hodnoty podľa pôvodnej a vpravo podľa upravenej metodiky, emisný scenár SRES IPCC A1B).

Figure 5. Surplus of winter (Dec. –Feb.) precipitation totals above 105 mm ( $\Delta r$ ) for Hurbanovo (based on measured data in 1871–2010 and on modified MPI (top) and KNMI (bottom) model outputs in 2011–2100, left figures represent original method and left the modified ones, emission scenario SRES IPCC A1B).



**Obrázok 6.** Úhrny zrážok v Hurbanove za vegetačné obdobie (IV–IX, podľa meraných údajov v období 1871–2010 a podľa modifikovaných výstupov modelu MPI (vľavo) a KNMI (vpravo) v období 2011–2100, emisný scenár SRES IPCC A1B).

Figure 6. Precipitation totals in growing season (Apr. –Sep.) at Hurbanovo (based on measured data in 1871–2010 and on modified MPI (left) and KNMI (right) model outputs in 2011–2100, emission scenario SRES IPCC A1B).



## KLIMATICKÁ KLASIFIKÁCIA V STREDNEJ EURÓPE PODĽA KÖPPENA

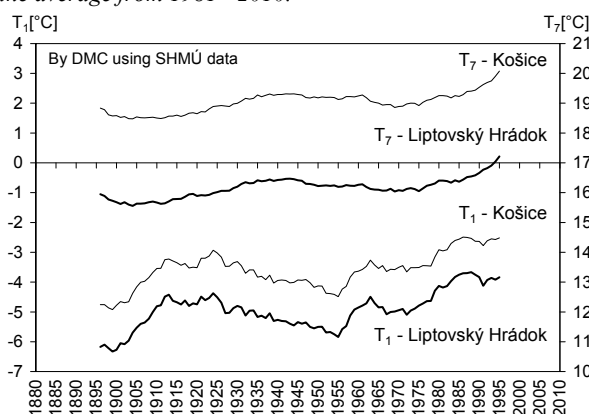
Podľa Köppena má v strednej Európe výskyt iba klimatická oblasť C a D (s výnimkou vysokých hôr, kde sa nachádzajú malé enklávy studenej oblasti E). C – je oblasť mierneho pásma s dostatočnými viac-menej rovnomerne rozdelenými zrážkami počas roka a štyrmi ročnými obdobiami, najchladnejší mesiac má priemer teploty vzduchu medzi  $-3$  a  $+18$  °C a priemerná teplota najteplejšieho mesiaca v roku je nad  $+10$  °C. D – je oblasť boreálna (snehová), má najchladnejší mesiac s priemerom teploty pod  $-3$  °C, najteplejší nad  $+10$  °C a tiež viac-menej rovnomerne rozdelené zrážky. Ďalšie členenie je podľa ročného režimu zrážok – nevyskytuje sa tu Cw a Dw podoblast', v ktorej má najmenej zrážkový mesiac v chladnej časti roka 10-krát menší úhrn zrážok ako najdaždivější v teplej časti roka. Vyskytuje sa tu však Cs podoblast' s 3-krát vyššími úhrnmi v najdaždivejšom mesiaci v chladnej časti roka oproti najmenej zrážkovému mesiacu v teplej časti roka (na Balkáne) ale Ds sa nevyskytuje. Väčšina strednej Európy má Cf alebo Df podoblast' s viac-menej rovnomerne rozloženými zrážkami počas roka, pričom v teplom polroku sú zväčša úhrny vyššie ako v chladnom. Pri maxime a minime zrážok počas roka sa vyskytujú určité odchýlky. V južnej polovici strednej Európy sa prejavuje Cx podoblast' s maximom zrážok na začiatku leta (jún až máj) a s teplým slnečným počasím koncom leta. Možné zmeny hraníc klimatických oblastí C a D dobre vyjadruje trend zhladených priemerov teploty vzduchu pre január a júl, ktorých kritické hodnoty sú u nás  $-3$  °C,  $+10$  °C a  $+16$  °C (Obr. 7). Na príklade Košíc a Liptovského Hrádku vidíme postupné zmeny 31-ročných kľzavých priemerov v prospech posunu hraníc klimatickej oblasti C na sever, východ a do väčšej nadmorskej výšky (vertikálny gradient pre január je asi  $0,3$  °C a pre júl asi  $0,7$  °C na  $100$  m nadmorskej výšky, ako je to vidieť aj z obrázku 7 pre stanice Košice a Liptovský Hrádok).

Definícia podoblasti Cx a Dx je ale v dostupnej literatúre nejasná, navrhujeme použiť podobné kritérium ako zaviedol Lapin (Lapin a Melo, 2005) podľa pomeru normálov úhrnov zrážok v kritických mesiacoch máj a júl, pri zohľadnení sekundárneho minima zrážok v septembri. Ide o špecifikáciu tzv. stredomorského vplyvu na zrážkový režim. Podoblast' Cx alebo Dx by bola podľa toho definovaná iba v prípade vyšších úhrnov zrážok v máji ako v júli v dlhodobom priemere s kvocientom  $Q_2 = RV/RVII$  nad  $1,1$  a s kvocientom sekundárneho jesenného maxima (v X až XI, zriedka v XII) k sekundárnemu jesennému minimu (spravidla v IX, zriedka v VIII alebo X) s kvocientom  $Q_3 = R_{Max2}/R_{Min2}$  nad  $2,0$ . Podoblast' Cfa a Csa alebo Cxa s najteplejším mesiacom  $> 22$  °C v dlhodobom priemere je typická od strednej Maďarska na juh, Dfa sa môže vyskytnúť len na južnej Ukrajine ako prechod k podoblasti B. Podoblast' Cfb a Dfb, resp. Cxb s najteplejším mesiacom  $< 22$  °C a s aspoň 5 mesiacmi (pôvodne podľa Köppena s aspoň 4 mesiacmi) s priemerom teploty  $> 10$  °C má väčšina strednej Európy. Podoblast' Dfc sa môže vyskytnúť v horských oblastiach (1 až 4 mesiace (pôvodne podľa Köppena s 1 až 3 mesiacmi)  $> 10$  °C a najchladnejším mesiacom  $> -38$  °C). Nevyskytuje sa tu Dfd podoblast' s najchladnejším mesiacom

$\leq -38$  °C (na celej Zemi sa vyskytuje iba v severovýchodnej Sibíri). S určením hraníc týchto podoblastí nie sú žiadne závažné problémy.

**Obrázok 7. Kľzavé 31-ročné priemery teploty vzduchu v januári  $T_1$  a v júli  $T_7$  v Košiciach (230 m n.m.) a Liptovskom Hrádku (640 m n.m.), priemer z obdobia 1980–2010 je v roku 1995.**

Figure 7. Moving 31-year averages of January and July air temperature means ( $T_1$  and  $T_7$ ) at Košice (SE Slovakia, 230 m a.s.l.) and Liptovský Hrádok (N Slovakia, 640 m a.s.l.), in 1995 is the average from 1981–2010.



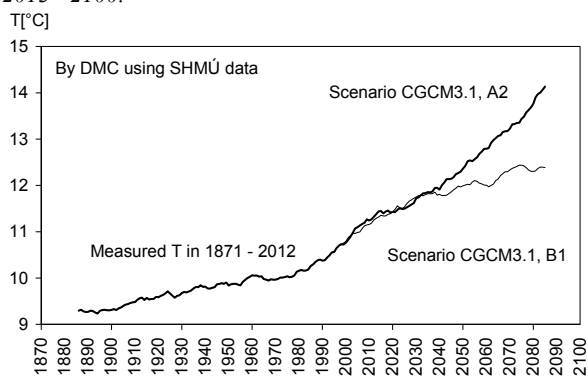
Klimatická oblasť BS (stepná) sa vyskytuje na južnej Ukrajine a na juhovýchode Rumunska (hranica pre ročný úhrn zrážok je tu  $R < 10 \cdot (2T + 14)$ , pretože ide o rovnomerne rozdelené zrážky počas roka, v Španielsku je to  $R < 20T$ , sú tam významne vyššie zimné zrážky), BS klíma je na Ukrajine a v Rumunsku ako BSk – v zime studená, alebo BSkx – s maximom zrážok začiatkom leta). Aj v tomto prípade je potrebné presnejšie definovať rovnomerné rozdelenie zrážok a prevahu zrážok v zime. Köppen navrhol také riešenie, že ak predstavuje úhrn zrážok za 6 letných mesiacov (teplý polrok) viac ako 70 % z úhrnu zrážok za rok tak ide o prevahu zrážok v lete a ak naopak za 6 zimných mesiacov (chladný polrok) je viac ako 70 % z ročného úhrnu, tak ide o prevahu zrážok v zime (navrhujeme za tzv. letné mesiace prijať IV až IX, hoci je to v skutočnosti iba približne vegetačné obdobie a za zimné mesiace prijať X až III, hoci ide iba o chladný polrok). Pre strednú Európu by sa ale asi viac hodilo takéto upresnenie: menej ako 50 % úhrnu zrážok v mesiacoch V až VIII z úhrnu zrážok za mesiace XI až II by platilo pre prevahu zrážok v zime a viac ako 200 % v V až VIII v porovnaní so sezónou XI až II pre prevahu zrážok v lete. Je to z toho dôvodu, že sa B klíma postupne rozširuje do strednej Európy, kde sú odlišné podmienky hydrologickej bilancie ako na juhu Európy a severe Afriky. V strednej Európe prebieha akumulácia snehovej pokrývky v nižších polohách takmer výlučne len v mesiacoch XI až II, keď je navyše iba bezvýznamne malý potenciálny výpar. Na druhej strane v mesiacoch V až VIII prebieha intenzívne zmenšovanie pôdnej vlhkosti za bezkonkurenčne najvyššieho potenciálneho výparu počas roka. Dôležitou otázkou je aj možná zmena režimu letných zrážok smerom k významnejšej prevahe úhrnov konvekčných zrážok ako doteraz. To by mohlo aplikáciu týchto kritérií pri klasifikácii B klímy ešte viac skomplikovať.

Vzhľadom na neistoty tohto vývoja ponechajme riešenie tohto problému na obdobie o 20, možno až o 30 rokov.

Hranica ročného úhrnu  $R$  pre B typ klímy je podľa Köppena v Maďarsku pri  $T=12^{\circ}\text{C}$  pre  $R<10(24+14)$ , čiže pre  $R<380$  mm, čo nebýva splnené počas viacerých rokov za sebou v priemere. Ak však vzrastie  $T$  na  $14^{\circ}\text{C}$  bude hranica pre  $R<420$  mm splnená v strede Maďarska zrejme už dosť často aj pre obdobia dlhšie ako 10 rokov. Pri možnom zvýšení  $T$  na  $16^{\circ}\text{C}$  (u nás na  $14^{\circ}\text{C}$ , Obr. 8.) bude táto podmienka splnená pre  $R<460$  mm pravdepodobne často vo viacročnom priemere (aj za obdobia dlhšie ako 30 rokov). Na Slovensku by mohlo dôjsť k posunu južnej hranice k stepnému pásmu podľa Köppena iba za podmienky splnenia najnepriaznivejšieho scenára klimatickej zmeny, t.j. pri raste teploty vzduchu  $T$  o  $4,3^{\circ}\text{C}$  v ročnom priemere a pri poklese ročných úhrnov zrážok  $R$  o 18 %. Všetky miernejšie scenáre klimatickej zmeny (najmä tie, pri ktorých sa neočakáva pokles priemerného úhrnu zrážok v sezóne V až VIII) neprinesú na juh Slovenska podmienky stepnej klímy podľa Köppena zrejme ani do roku 2100.

**Obrázok 8.** Kľúčové 31-ročné priemery teploty vzduchu v Hurbanove (115 m n.m.), podľa meraných údajov v období 1871–2012 a podľa scenára CGCM3.1, SRES A2 a SRES B1 v období 2013–2100.

Figure 8. Moving 31-year averages of air temperature means at Hurbanovo (SW Slovakia, 115 m a.s.l.), measured data in 1871–2012 and CGCM3.1, SRES A2 and SRES B1 data in 2013–2100.



Podľa iných kritérií (Lapin a Tomlain, 2001) vymedzenia stepnej oblasti (napríklad podľa pomeru potenciálnej evapotranspirácie  $E_0$  a úhrnov zrážok  $R$  nad 1,3, čiže pre  $E_0$  nad 800 až 850 mm a  $R$  pod 615 až 650 mm), by sa celý juh Slovenska mohol dostať koncom 21. storočia od lesného k nejakému stepnému klimatickému pásmu (presnejšie pásmu lesostep až step), na krajnom juhu dokonca veľmi výrazne (pri  $E_0=850$  mm a  $R=500$  mm je pomer  $E_0/R=1,7$ , čo je dnes porovnateľné pre podmienky južnej Ukrajiny). U nás sa nachádza hranica medzi C a D (boreálnou) oblasťou na juhu stredného Slovenska, ktorá sa v súčasnosti posúva do väčšej nadmorskej výšky, ale tiež na sever a východ v súvislosti s rastom januárovej priemernej teploty vzduchu asi o  $1,2^{\circ}\text{C}$  v porovnaní s normálom 1931–1960. To znamená pomerne rýchle zmenšovanie plochy boreálnej oblasti D na celom Slovensku.

## VPLYV NADMORSKEJ VÝŠKY, OROGRAFICKÝCH TYPOV A PODMIENOK ZAVLAŽENIA

Na detailnejšie posúdenie klimatických typov je potrebné brať do úvahy ďalšie vplyvy. Predovšetkým ide o podmienky odtoku, pretože zavlaženie hrá rozhodujúcu úlohu pri formovaní klímy. Na Slovensku dosahuje koeficient odtoku veľké rozpätie (na nížinách je miestami menej ako 20 % z ročného úhrnu  $R$ , na horách aj viac ako 90 % z  $R$ , na juhu strednej Európy sa vďaka vysokým úhrnom zimných zrážok nikde nevyskytujú celoročne bezodtokové oblasti, v lete však veľa menších riek úplne vysychá), na nížinách však závisí odtok aj od sklonu terénu a od výskytu intenzívnych zrážok. Funkcia nadmorskej výšky, alebo prevýšenia, sa teplotne zložitejšie prejavuje najmä v zime, kotliny sú relatívne chladnejšie a svahy a vyvýšené polohy relatívne teplejšie. Štítové polohy sa približujú podmienkam teploty vzduchu vo voľnej atmosfére.

V blízkosti nížin existuje tzv. teplá svahová zóna na nízkych južne orientovaných svahoch, tieto polohy sú relatívne teplé večer až ráno (aj o  $10^{\circ}\text{C}$  oproti polohám na dne dolín a kotlin) a sú väčšinou dobre chránené pred neskorými jarnými a skorými jesennými mrazmi aj v dlhodobom priemere. Zamokrené oblasti (tiež pririekne územia s vysokou hladinou podzemnej vody) majú pozmenené podmienky zavlaženia a energetickej bilancie, pretože využívajú aj zdroje vody mimo zrážok spadnutých v danej oblasti. Mestské aglomerácie zas naopak zrýchľujú odvádzanie zrážkovej vody, čím tiež menia podmienky zavlaženia a energetickej bilancie. Mestské aglomerácie sa navyše vyznačujú tzv. mestským ostrovom tepla, čo je lokálne oteplenie vplyvom pozmenenej hydrologickej, radiačnej a energetickej bilancie oveľa viac ako aj vplyvom doplnkového tepla z využívania fosílnych a iných zdrojov energie (ktorá sa v konečnom dôsledku zmení na teplo a emituje do atmosféry, vody a pôdy). Značnú úlohu hrá pri tom aj primárne a následne zmenená hydrologická bilancia prostredníctvom zmeny odtoku a zmeny výparu, tiež je tam zmenený režim vlhkosti pôdy a vzduchu.

Naše väčšie mestá majú z uvedených príčin v strede zastavanej časti vyšší ročný priemer teploty až o  $0,5^{\circ}\text{C}$  v porovnaní s podobnými orografickými typmi v rovnakej nadmorskej výške mimo urbanizovaných území. Centrá väčších miest majú navyše nižšiu priemernú relatívnu vlhkosť vzduchu (aj o 5 % v porovnaní s neurbanizovaným okolím). Podrobnejšie sú uvedené anomálie opísané v riešení projektu Výskum mezoklímy Bratislavy (1986) a Lapin et al., 1987 ako aj v publikáciách Landsberg (1981), Lapin a Tomlain (2001) a i.

## ZÁVER

V príspevku sme sa snažili poukázať na rad problémov s korektným posudzovaním klimatickej klasifikácie územia Slovenska a strednej Európy v podmienkach meniacej sa klímy. Uvedené problémy sa dotýkajú všetkých doterajších metód klimatickej klasifikácie. Je to spôsobené predovšet-

kým možnou zmenou zimných klimatických podmienok smerom k nestabilite snehovej pokrývky, k rastu zimných úhrnov zrážok a predovšetkým k možnému otepleniu o 2 až 5 °C do konca 21. storočia. Dosť významne sa zrejme zmenia aj letné klimatické podmienky, pričom sa očakáva najmä zmena režimu zrážok (dlhšie obdobia s nízkymi úhrnmi a kratšie obdobia s vysokými úhrnmi zrážok), pričom sa celkové úhrny zrážok v lete príliš nezmenia, prípadne mierne poklesnú, hlavne na juhu Slovenska. Návrhy na zmenu metodiky klimatickej klasifikácie zohľadňujú najmä zmenu zimných podmienok formovania režimu hydrologickej bilancie a pôdnej vlhkosti. O tom, že podmienky zavlaženia, zmeny hydrologickej bilancie a klimatická klasifikácia územia Slovenska majú veľký praktický význam sa môžeme dočítať v mnohých vedeckých prácach a publikovaných príspevkoch autorov zo Slovenska (napríklad: Hlavčová et al., 2004, 2008; Konček, 1955, 1980; Konček a Petrovič, 1957; Kottek et al., 2006; Krysanová et al., 2008; Lapin et al., 2002, 2009; Pekárová a Szolgay, 2005; Šiška a Takáč, 2009; Škvarenina et al., 2004; Tomlain, 1991, 2002 a viacerí iní).

## Podakovanie

V príspevku boli využité údaje Slovenského hydrometeorologického ústavu a výsledky riešenia projektov VEGA 1/0992/12 a APVV-0303-11. Autori príspevku ďakujú za podporu výskumu.

## LITERATÚRA

- Hlavčová, K.–Kalaš, M.–Kohnová, S.–Szolgay, J., 2004, *Modelovanie potenciálnej evapotranspirácie a odtoku v mesačnom kroku na povodí Hrona*. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. ISSN 0042-790X, 2004, Vol. 52, No. 4, 255–266.
- Hlavčová, K.–Szolgay, J.–Kohnová, S.–Hlásny, T., 2008, *Simulation of hydrological response to the future climate in the Hron river basin*. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. ISSN 0042-790X, Vol. 56, No. 3, 163–175.
- Konček, M., 1955, *Index zavlaženia*. *Meteorologické Zprávy*, 8 (4): 96–99.
- Konček, M.–Petrovič, Š., 1957, *Klimatické oblasti v Československu*. *Meteorologické Zprávy*, 10 (5): 113–119.
- Konček, M., 1980, *Klimatické oblasti*. In: *Atlas Slovenskej socialistickej republiky*. SAV, Bratislava, číslo mapy 42, s. 64.
- Kottek, M.–Grieser, J.–Beck, Ch.–Rudolf, B.–Rubel, F., 2006, *World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated*. *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3): 259–263.
- Krysanová, V.–Vetter, T.–Hattermann, F., 2008, *Detection of change in drought frequency in the Elbe basin: comparison of three methods*. *Hydrological Sciences Journal*, 53 (3): 519–537.
- Landsberg, H.E., 1981, *The Urban Climate*. New York, Academic Press, 277 pp.
- Lapin, M.–Pindják, P.–Podobová, B., 1987, *Príspevok k mezoklíme Bratislavy*. *Meteorologické zprávy*, 40, č. 5, 138–142.
- Lapin, M.–Damborská, I.–Melo, M., 2001, *Downscaling of GCM outputs for precipitation time series in Slovakia*. *Meteorologický časopis*, 4 (3): 29–40.
- Lapin, M.–Tomlain, J., 2001, *Všeobecná a regionálna klimatológia*. Univerzita Komenského Bratislava, 183 s. ISBN 80-223-1433-1.
- Lapin, M.–Faško, P.–Melo, M.–Šťastný, P.–Tomlain, J., 2002, *Klimatické oblasti*. In: *Atlas krajiny Slovensko*. Ministerstvo životného prostredia SR a Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica, ISBN 80-88833-27-2, číslo mapy 27, s. 95.
- Lapin, M.–Melo, M., 2005 *Priestorová interpretácia výstupov klimatických scenárov v povodí Hrona a Váhu geoštatistickými metódami*. In: *Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry v povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny*. Veda – Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 49–80.
- Lapin, M.–Gera, M.–Hrvoľ, J.–Melo, M.–Tomlain, J., 2009, *Possible impacts of climate change on hydrological cycle in Slovakia and results of observations in 1951–2007*. *Biologia* 64 (3): 454–459.
- Lapin, M., 2011, *Climate changes in 1881–2100 and the 2010 weather extremes in Central Europe*. *International Issues & Slovak Foreign Policy Affairs*, 20 (1): 22–31.
- Lapin, M.–Bašták-Đurán, I.–Gera, M.–Hrvoľ, J.–Kremler, M.–Melo, M., 2012, *New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models*. *Acta Met. Univ. Comen.*, 37, 25–74.
- Melo, M.–Lapin, M.–Damborská, I., 2007 *Končekov index zavlaženia ako možný indikátor aridizačných trendov v krajine*. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. VIII., No. 2, 224–230.
- Pekárová, P.–Szolgay, J., eds., 2005 *Scenáre zmien vybraných zložiek hydrosféry a biosféry povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny*. Veda – Vydavateľstvo SAV, Bratislava, 494 s.
- Šiška B.–Takáč J., 2009, *Drought Analyses of Agricultural Regions as Influenced by Climatic Conditions in the Slovak Republic*. *Időjárás*, 113, 1–2, 135–143.
- Škvarenina J.–Křížová E.–Tomlain J., 2004, *Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia*. *Ecology* 23, Supplement 2, 13–29.
- The 5<sup>th</sup> National Communication of the Slovak Republic on Climate Change, 2009 Slovak Ministry of the Environment and the SHMI, [http://unfccc.int/resource/docs/natc/svk\\_nc5.pdf](http://unfccc.int/resource/docs/natc/svk_nc5.pdf).
- Tomlain, J., 1991, *Výpar z povrchu pôdy a rastlín*. In: *Zborník prác SHMÚ*, Vol. 33/I, ALFA, Bratislava, 163–183.
- Tomlain, J., 2002, *Evapotranspirácia*. In: *Atlas krajiny Slovensko*. Ministerstvo životného prostredia SR a Slovenská agentúra životného prostredia Banská Bystrica, ISBN 80-88833-27-2, číslo mapy 28 a 29, s. 95.
- Výskum mezoklímy Bratislavy, 1985, *Záverečná správa projektu H-07*. SHMÚ, Bratislava 1985.

# ANALÝZA VPLYVU SEVEROATLANTICKEJ OSCILÁCIE NA SEZÓNNE ÚHRNY ZRÁŽOK V ZRÁŽKOVÝCH OBLASTIACH SLOVENSKA

LÍVIA LEŠKOVÁ<sup>1</sup>, PAVEL ŠŤASTNÝ<sup>2</sup>, MILAN TRIZNA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Mlynská dolina, 842 15 Bratislava 4, leskoval@nic.fns.uniba.sk

<sup>2</sup> Slovenský hydrometeorologický ústav, Jeséniova 17, 833 15 Bratislava, pavel.stastny@shmu.sk

*The North Atlantic Oscillation (NAO) plays an important role in circulation condition over the North Atlantic region and impacts climate in Europe in various ways, mostly the temperature and precipitation fields. In this paper, there was analysed relationship between the NAO and seasonal (summer and winter) precipitation in Slovakia. There was used correlation method, which detected lower impact of NAO on summer (VI–VIII) precipitation. In the contrast, correlation between winter precipitation (XII–III) and NAO showed stronger relationship between winter circulation and precipitation. The zonal configuration of winter correlation coefficient is typical for Slovakia. It can be explained by barrier effect of the Carpathians, which blocks air flow coming from the west, northwest and north to reach south of Slovakia, what causes the windward increase of precipitation in the northern part of our country.*

*Severoatlantická oscilácia (NAO) riadi cirkulačné podmienky nad severným Atlantikom a ovplyvňuje mnohorakým spôsobom klímu v Európe. Najviac vplýva na teplotné a zrážkové pomery. V práci sme sa venovali vzťahu medzi NAO a sezónnymi úhrnmi zrážok na území Slovenska. Výsledky korelačnej analýzy ukázali menší vplyv oscilácie na letné (VI–VIII) úhrny zrážok. Na rozdiel od letných zrážok, zimné (XII–III) úhrny a Severoatlantická oscilácia sú v tesnejšom vzťahu. Územné rozloženie koeficientu korelácie vykazovalo zonálnu konfiguráciu. Táto skutočnosť môže byť vysvetlená bariérovým efektom Karpát, ktoré blokujú prenikaniu vzdušného prúdenia smerom na juh Slovenska. Vplyvom toho je zreteľný náveterný efekt zvyšovania zrážok na severozápade krajiny.*

**Keywords:** North Atlantic Oscillation, air pressure field, precipitation, correlation analysis

## ÚVOD

Podstatou Severoatlantickej oscilácie (NAO) je periodické kolísanie mohutnosti a polohy Islandskej tlakovej níše a Azorskej tlakovej výše. Kvantitatívnym vyjadrením tohto klimatického javu je kolísanie veľkosti tlakového gradientu medzi uvedenými tlakovými útvarmi. Veľkosť tlakového gradientu riadi mohutnosť a smer západného prúdenia v oblasti severného Atlantiku. Severoatlantická oscilácia (NAO) je jedinou telekonekciou na severnej pologuli, ktorá je pozorovateľná počas celého roka, pričom najvýraznejšia je v zimnom období. Strieda sa vo dvoch fázach, kladnej a zápornej (Hurrell, 1995). Ďalšími významnými telekonekciami pôsobiacimi na severnej pologuli sú Arktická oscilácia (AO) a Pacifická dekádna oscilácia (PDO).

Počas kladnej fázy NAO sa v oblasti severného Atlantiku vyskytuje anomálne vyšší tlak vzduchu južne od 55° severnej šírky v kombinácii s anomálne nízkym tlakom vzduchu v jeho arktickej časti. Výsledkom tohto rozloženia tlaku je väčší tlakový gradient naprieč severným Atlantikom, čo spôsobuje výraznejšie západné prúdenie v miernych šírkach nad Atlantikom a Európou, južnejšie prúdenie nad východným pobrežím USA a viac na sever posunuté prúdenie nad západným Grónskom, arktickou Kanadou a Stredomorím. Toto prúdenie je počas kladnej fázy silnejšie až o 8 m.s<sup>-1</sup> oproti prúdeniu počas zápornej fázy (Hurrell, 1995). Západné prúdenie prináša relatívne teplejší a vlhší morský vzduch, a teda miernejšiu zimu nad územie Európy. Zároveň silnejšie severné prúdenie prináša studený vzduch nad

územie severozápadného Atlantiku, kde znižuje teplotu vzduchu aj mora a v oblasti Labradorského polostrova spôsobuje väčšie pokrytie hladiny morským ľadom. V lete môže toto prúdenie priniesť hlboké a rozsiahle tlakové níše a dlhotrvajúce dažde do strednej a západnej Európy (Hurrell, 2001; Doležalová, 2007; Barry a Chorley, 2003).

Počas zápornej fázy NAO sú tlakové útvary nad Azormi aj Islandom anomálne zoslabené. Tým sa zmenšuje meridionálny tlakový gradient, západné prúdenie slabne a nad Európou sa nedostáva také množstvo vlhkého a relatívne teplejšieho oceánskeho vzduchu ako pri kladnej fáze. Takéto cirkulačné podmienky umožňujú ľahšie prenikanie meridionálneho prúdenia vzduchu nad Európsky kontinent (Doležalová, 2007). Pri výskyte mimoriadneho rozloženia tlaku vzduchu, keď je tlak vzduchu v Grónsku vyšší ako v Európe (čo sa niekedy označuje ako grónska výš), sa v oblasti Grónska a Severnej Ameriky vyskytujú nadpriemerné teploty vzduchu (Kadrnožka, 2008).

Rýchlosť prúdenia vzduchu sa v oblasti Severného Atlantiku mení aj vo vertikálnom smere, tzv. vertikálny gradient, pričom maximum rýchlosti (cca 40 m.s<sup>-1</sup>) dosahuje na hornej hranici troposféry (vo výške okolo 12 km), kde sa nazýva „jet stream“ (Hurrell et al., 2003).

Variabilita a mohutnosť Severoatlantickej oscilácie sa vyjadrujú prostredníctvom oscilačných indexov (NAO indexy). Staničné indexy kvantitatívne popisujú osciláciu na základe rozdielu normovaného tlaku vzduchu na hladine mora na staniaciach, ktoré boli určené ako reprezentatívne pre Islandskú tlakovú níz a Azorskú výš (tzv. station-based

indexy) (Doležalová, 2007; Hurrell, 1996). Pod pojmom normovaný tlak vzduchu na hladine mora sa rozumie podiel nameraného tlaku vzduchu na hladine mora a dlhodobej priemernej štandardnej odchýlky tlaku (Hurrell, 2011).

Staničné indexy sú viac používané, ale existujú aj indexy, ktoré určujú fázu oscilácie na základe analýzy tlaku vzduchu na hladine mora v určitom gridovom poli (metóda hlavných komponentov). Staničné indexy sa odlišujú najmä výberom reprezentatívnych staníc pre dané tlakové útvary. Nakoľko sa poloha útvarov počas roka mení, mení sa s ňou aj vhodnosť jednotlivých indexov (Doležalová, 2007).

## VPLYV SEVEROATLANTICKEJ OSCILÁCIE NA ATMOSFÉRICKÉ ZRÁŽKY

Zmeny v Severoatlantickej oscilácii vyvolávajú aj zmeny v počte a intenzite cyklón miernych zemepisných šírok v rámci oblasti pôsobenia oscilácie, v ich smere postupu a v charaktere počasia, ktoré ich sprevádza. Pod pojmom cyklóna sa tu myslí frontálna cyklóna, typický prejav všeobecnej cirkulácie atmosféry v miernych zemepisných šírkach. Všeobecne môžeme povedať, že počas kladnej fázy NAO je cyklónálna aktivita posunutá severnejšie, teda po osi od južného Grónska cez Island až nad severnú Európu. Táto aktivita mierne klesá smerom na juh. Pri zápornej fáze NAO je trasa cyklón odklonená smerom nad Stredomorie (Hurrell, 2001; Hurrell a Dessler, 2009).

Zmena smerovania cyklónálnych porúch sa výrazne prejavuje aj na prenose atmosférickej vlhkosti, a teda zmeny v oscilácii sú previazané so zmenami v regionálnych zrážkach. Počas kladnej fázy NAO aj v zimnom období prevyšuje evapotranspirácia (E) zrážky (P) v oblasti južnej Európy, Stredomoria, Blízkeho Východu, ale aj v Grónsku, zatiaľ čo na Islande a v Škandinávii spadne viac zrážok než je normál (Hurrell, 2001). V Grónsku, najmä v jeho južnej časti, predstavuje rozdiel  $E - P$  počas kladnej fázy hodnotu až  $1 \text{ mm.deň}^{-1}$ . Tieto výsledky sú totožné s výsledkami meraní ako aj s výstupmi atmosférických modelov, a tým potvrdzujú ubúdanie zrážok nad grónskym ľadovcom v posledných desaťročiach. Hurrell (1995) znázornil priestorové rozloženie rozdielu  $E - P$  v širšej oblasti severného Atlantiku v zimnom období a následne skúmal koreláciu medzi hodnotami rozdielu  $E - P$  a indexu NAO v jednotlivých gridových bodoch skúmaného územia. Zistil, že miesta, v ktorých je daný rozdiel najväčší a štatisticky signifikantný, dosahujú najvyššie miery korelácie, zatiaľ čo nízka korelácia bola zistená pri malých hodnotách rozdielu  $E - P$ . Do súvislosti so stúpajúcim trendom hodnôt oscilačných indexov od osemdesiatych rokov minulého storočia a tým aj popisovanými dôsledkami na množstvo zrážok v Európe môžeme dať aj zmenu v ľadovcovej pokrývke (v objeme ľadu v horských ľadovcoch). Škandinávia je totiž jednou z mála oblastí na svete, kde v danom období nedošlo k úbytku horských ľadovcov (pozitívnu bilanciu majú ľadovce na juhozápade Nórska), pretože zimy mali viac zrážok než je dlhodobý priemer. Naopak, v Alpách bola zaznamenaná najmenšia hrúbka snehu a jej trvanie za posledné storočie, významne ustupovali aj ľadovce. Sucho zasiahlo aj Turecko a oblasť Blízkeho Východu, kde

je korelácia povrchového odtoku a NAO indexov veľmi vysoká (Hurrell, 2001; Hurrell, 1995).

Dôkazy veľkých a rýchlych zmien v klíme nad Atlantikom ponúkajú aj historické záznamy a proxy údaje. Analýzy jadra grónskeho ľadovca ukázali pomerne náhle medzidekadné zmeny klímy, ktoré môžu byť podmienené aj zmenami v Severoatlantickej oscilácii (Hurrell, 1995).

Pre územie Európy bolo vypracovaných viacero štúdií zameraných na vzťah Severoatlantickej oscilácie a úhrnov zrážok. Beranová a Huth (2008) použili Pearsonovu korelačnú analýzu na údaje úhrnov zrážok a NAO indexu v zimnom období za obdobie 1958–1998. Územné rozloženie vplyvu Severoatlantickej oscilácie na úhrny zrážok ukázalo, že korelačné koeficienty sa pohybovali od  $-0,62$  v Lisabone (Portugalsko) a Badajoz (Španielsko) až po  $+0,69$  v Eskdalemuir (UK). Autori nezistili žiadnu významnú koreláciu v oblasti východnej a strednej Európy, v Grécku a tiež vo Valencii (Španielsko).

Ďalšie štúdie boli zamerané na konkrétne regióny a to najmä tie, pre ktoré boli v predchádzajúcich prácach zistené najvyššie korelácie medzi indexmi NAO a klimatickými prvkami. Trigo et al. (2004) skúmali nielen vzťah NAO a zrážok, ale aj prietokov troch medzištátnych riek (Duero, Tajo a Guadiana) na Pyrenejskom polostrove. Nimi zistený vzťah sa dá využiť na predikciu extrémnych prietokov spomínaných riek. V ďalšej práci sa Trigo et al. (2005), zamerali na súvislosť medzi osciláciou a zosuvmi pôdy v okolí Lisabonu. Zistili veľký rozdiel v zimných zrážkach v danom regióne počas zápornej a kladnej fázy NAO. Aj pre územie Španielska boli vypracované regionálne analýzy vzťahu medzi NAO a zimnými zrážkami (Queralt et al., 2008 a Gimeno et al., 2005), ktoré preukázali najvyššiu zápornú koreláciu v januári pre severozápadné pobrežie Španielska (Galícia; korelačný koeficient =  $-0,83$ ). Korelácie smerom na východ klesali a najnižšie boli na východnom pobreží v oblasti Valencie. Opačný vplyv oscilácie na zrážky zistili Murphy a Washington, (2001) v oblasti Veľkej Británie a Írska, pričom tento vzťah bol signifikantný len v období od septembra do apríla.

Niedzwiedz et al. (2009) sa venoval regiónu strednej Európy. V nej spracoval údaje o zrážkach zo siedmich najstarších stredoeurópskych klimatologických staníc za obdobie 1851–2007. Tu bol tesnejší vzťah medzi osciláciou a zrážkami preukázaný len v Budapešti. V práci ale nebola zahrnutá najstaršia slovenská stanica – Hurbanovo. Z výsledkov práce Doležalovej (2007) vyplýva, že na území Českej republiky je vplyv oscilácie na zrážky oveľa menší než vplyv na teplotu vzduchu. Taktiež je priestorovo variabilný, nakoľko v oblasti Čiech sa vplyv signifikantne nepreukázal, zatiaľ čo Morava a Sliezsko vykazujú zápornú koreláciu.

## ÚDAJE A METÓDY

V tejto štúdii boli na analýzu vzťahu Severoatlantickej oscilácie a zimných úhrnov zrážok použité nasledovné súbory údajov a podkladov:

- 110-ročné rady mesačných úhrnov zrážok pre 202 zrážkomerných staníc za obdobie 1901–2010. Zráž-

kové rady neboli tvorené len nameranými údajmi, ale chýbajúce údaje boli doplnené pomocou priestorovej analýzy, konkrétne expertným odhadom na základe poľa mesačných úhrnov zrážok na okolitých stanicach v danom mesiaci.

- Dôležitým podkladom bola aj mapa zrážkových oblastí Slovenska (interný materiál SHMÚ) (Tab. 1, Obr. 3), ktorá rozdeľuje územie Slovenska na deväť oblastí, ktoré zjednocujú miesta s určitými charakteristickými vlastnosťami režimu zrážok. Hlavnými kritériami pri ich vyčlenení bol ročný režim zrážok a stupeň kontinentality. Ročný režim zrážok rozdeľuje zrážkové oblasti na dva typy:
  - s výskytom jedného maxima a jedného minima úhrnu zrážok – oblasti 3, 7, 8 a časť 1 (Malé Karpaty),
  - s výskytom dvojvrcholového maxima (neskorá jar a začiatok leta; jeseň) – oblasti 1 (časť), 2, 4, 5, 6 a 9.

Zrážkové oblasti 1 a 2 sú diferencované na základe výskytu letných búrok, pričom v oblasti 2 je ich výskyt častejší. Oblasti 3 a 7 majú počas celého roka veľa zrážok, ale v oblasti 3 sú počas roka rovnomernejšie rozložené, čo bolo kritériom pre ich odlišenie. Oblasť 9 je pod väčším vplyvom kontinentality. Naopak, výraznejšiemu oceánskemu vplyvu je vystavená oblasť 6, ktorá tvorí hornú časť Horehronského Podolia. Jeho spodná časť pokračuje oblasťou 4, ktorá má dostatok zrážok podobne ako severné oblasti. Jej vyčlenenie podmienilo dvojvrcholové maximum ročného chodu zrážok, typické pre túto oblasť. Oblasť 5 je charakteristická vplyvom smeru prúdenia na úhrn zrážok (pri SZ prúdení dostáva oblasť len veľmi málo zrážok, pri J a JZ prúdení má zrážok dostatok). Špecifickou oblasťou je oblasť 8 (Spiš a Podtatranská kotlina), kde je rozdiel medzi ročným maximom a minimom veľmi výrazný.

Z mesačných zrážkových úhrnov sa vypočítali sezónne úhrny zrážok pre jednotlivé stanice na Slovensku. Následne boli vypočítané sezónne úhrny pre jednotlivé zrážkové oblasti, keď každá zrážkomerná stanica bola územne začlenená do jednej z deviatich oblastí. Z ich údajov sa vypočítali priemerné oblastné úhrny zrážok pre každý mesiac a sezónne hodnoty boli následne získané rovnakým postupom, aký bol použitý na jednotlivých stanicach. Takto pripravené údaje (Obr. 1) vstupovali do výpočtu korelačných koeficientov medzi Hurrellovým zimným oscilačným indexom a zimnými úhrnmi zrážok. Všetky výpočty prebehli v prostredí štatistického programu R 2.13.1.

V tejto štúdii boli vybrané nasledujúce dva oscilačné indexy:

- **Hurrellov index** pre zimné obdobie – ako väčšina indexov má viacero variant, ale pre naše výpočty bol použitý tzv. winter station based index. Ide teda o index založený na rozdiel normovaného tlaku vzduchu na hladine mora medzi stanicami Lisabon a Stykkisholmur (Hurrel, 2001). Nakoľko ide o zimný index, každá hodnota indexu reprezentuje mesiac december – marec jednotlivého zimného obdobia. K dispozícii sú údaje pre obdobie 1864–2010 (Hurrell, 2011; Hurrel, 2012).
- **Rogersov index** pre letné obdobie – podobne ako Hurrellov index má mesačné, aj sezónne varianty, a taktiež je tzv. station based indexom. Nakoľko pre zistenie vplyvov NAO v zimnom období bol zvolený zimný sezónny index, aj pre zistenie vplyvov NAO v letnom období boli použité sezónne hodnoty. Každá hodnota teda zastupuje mesiace jún – august a údaje sú dostupné pre obdobie 1874 – 2005 (Polar Meteorology Group, 2005).

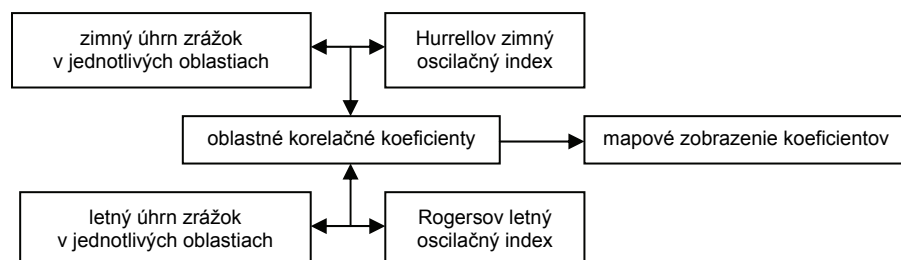
**Tabuľka 1.**  
**Zrážkové oblasti na Slovensku (interný materiál SHMÚ).**

**Table 1.**  
**Precipitation regions of Slovakia (internal material of SHMÚ).**

| Oblasť | Popis oblasti                                                                                                                                                   |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | prechodná oblasť medzi dvojvrcholovým a jednovrcholovým režimom zrážok počas roka s pravidelne sa vyskytujúcimi búrkovými lejakmi v lete                        |
| 2      | s hlavným a podružným maximom zrážok v ročnom režime a s nedostatkom zrážok v časti leta                                                                        |
| 3      | s jednoduchým ročným režimom zrážok, ktoré vrcholia v lete                                                                                                      |
| 4      | s hlavným a podružným maximom zrážok v ročnom režime a s výskytom búrkových lejakov v lete                                                                      |
| 5      | s výrazným dvojvrcholovým ročným režimom zrážok a s výskytom búrkových lejakov v lete                                                                           |
| 6      | prechodná oblasť medzi ročným režimom zrážok s dvojvrcholovým a jednovrcholovým maximom a s prejavmi úbytku zrážok v zimnom období vplyvom kontinentality klímy |
| 7      | s jednoduchým ročným režimom zrážok s výrazným vrcholom v lete                                                                                                  |
| 8      | s výrazným kontrastom medzi zrážkami v letnom a zimnom období                                                                                                   |
| 9      | s jednoduchým ročným režimom zrážok s výrazným vrcholom v lete a možnými prejavmi úbytku zrážok v zimnom období vplyvom kontinentality                          |

**Obrázok 1.**  
**Schéma spracovania zrážkových údajov.**

**Figure 1.**  
**Correlation coefficient between seasonal precipitation and seasonal oscillation index in the individual precipitation regions.**



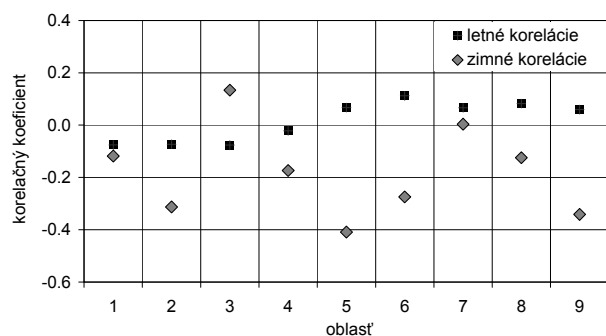
## VÝSLEDKY

Zhodnotenie korelačnej analýzy pre jednotlivé zrážkové oblasti medzi zimným oscilačným indexom a zimným úhrnom zrážok (december–marec) a tiež letným oscilačným indexom a letným úhrnom zrážok (jún–august) bolo urobené za obdobie 1901–2010. Výsledky sú znázornené na obrázkoch 2, 3 a 4.

Na obrázku 2 vidíme, že pre jednotlivé zrážkové oblasti korelačné koeficienty letných zrážok a oscilačného indexu dosahujú v absolútnych hodnotách nižšie hodnoty ako korelačné koeficienty zimných zrážok. Štatistická závislosť medzi letným úhrnom zrážok a Rogersovým oscilačným indexom je veľmi nízka (korelačné koeficienty dosahujú hodnoty  $-0,1$  až  $0,1$ ). Mapové znázornenie rozdelenia jednotlivých kategórií veľkosti letného korelačného indexu je na obrázku 3.

### Obrázok 2. Sezónne korelačné koeficienty pre jednotlivé zrážkové oblasti

Figure 2. Correlation coefficient between seasonal precipitation and seasonal oscillation index in the individual precipitation regions



V prípade zimného obdobia je štatistická závislosť medzi zimným úhrnom zrážok a Hurrellovým oscilačným indexom významnejšia, pričom korelačné koeficienty pre jednotlivé oblasti dosahujú hodnoty od  $-0,4$  do  $0,1$ .

Z obrázku 4 je zrejmé, že na našom území existuje zonálna stratifikácia tesnosti vzťahu oscilačného indexu a zimného úhrnu zrážok, ktorá sa vyznačuje klesaním hodnôt korelačných koeficientov jednotlivých oblastí smerom zo severu na juh. Zatiaľ, čo v oblasti 3 bola zistená nízka kladná korelácia oboch porovnávaných premenných, stredná časť Slovenska potvrdila len nízke a záporné hodnoty korelácie a na južnej časti územia sa prejavila vyššia záporná závislosť množstva zrážok na fáze oscilácie.

Takéto rozdelenie významnosti štatistickej závislosti medzi mohutnosťou NAO v zimnom období a príslušným zrážkovým úhrnom je možné vysvetliť do veľkej miery náveterným a záveterným efektom. Nakoľko na našom území prevláda severozápadné prúdenie, prevažné množstvo zrážok prichádza práve z tohto smeru. Vzhľadom na rozmiestnenie pohorí na Slovensku a v jeho tesnom okolí sa ukazuje, že práve tie tvoria výraznú bariéru, ktorá zadrží množstvo zrážok hneď na vstupe nad územie Slovenska a smerom na juh a juhovýchod ich úhrn ubúda. V južných

zrážkových oblastiach prší viac, ak cyklonálne poruchy prichádzajú od Stredomoria. Takýmto podmienkam praje záporná fáza Severoatlantickej oscilácie a naopak nepraje kladná fáza. Nakoľko najmä v posledných dvadsiatich rokoch mala oscilácia tendenciu zotrvať dlhšie v kladnej fáze, prejavilo sa to v nízkych úhrnoch zimných zrážok na nížinách. Naopak, v horských polohách ich bolo dostatok.

Ak by neexistovala spomínaná horská bariéra, juh Slovenska by pravdepodobne nedosahoval zápornú koreláciu a distribúcia zrážok v priestore bola rovnomernejšia, pri šírkovom rozpätí územia približne 100 km v smere sever – juh.

## DISKUSIA A ZÁVER

Problematicke vplyvu NAO na zrážky na Slovensku sa vo svojej práci venoval aj Pishvaei (2003). V nej sledoval korelácie mesačných úhrnov zrážok a mesačných NAO indexov pre celé Slovensko a pre 10 vybraných zrážkomerných staníc. Výber staníc uskutočnil na základe ním vyčlenených regiónov, ktoré prezentoval vo svojich skorších prácach. Jeho výsledky nie sú jednoznačne porovnateľné s našimi, nakoľko jeho regióny zaberajú rozsiahlejšie územia s rôznorodejšími zrážkovými podmienkami (napr. v juhovýchodnom regióne sledoval stanice Somotor a Spišská Nová Ves, ktoré majú pomerne výrazne odlišné zrážkové podmienky). Napriek tomu pri porovnaní výsledkov zisťujeme zhodu v nízkych koreláciách počas letných mesiacov na celom Slovensku a vyššie záporné korelácie počas zimných mesiacov v južných oblastiach. Situáciu v južných regiónoch vysvetľuje možným výraznejším vplyvom južných cirkulácií, čím sa zhoduje s našimi domnienkami, ktoré boli spomínané už vyššie.

Prezentované výsledky nezodpovedajú výsledkom autorov Beranová, Huth (2008), ktorí uviedli, že v strednej Európe je vplyv NAO nesignifikantný. Táto nezhoda je spôsobená pravdepodobne tým, že uvedení autori zvolili za reprezentatívnu stanicu Hurbanovo a nevykonali detailnejšiu regionálnu analýzu aj napriek tomu, že územie Slovenska je veľmi rôznorodé.

Získané výsledky potvrdzuje aj práca Pekárovej et al. (2010), v ktorej sú popísané aj zistenia výrazných záporných korelácií medzi oscilačným indexom NAO a prietokmi našich nížinných riek. V ďalšom skúmaní našej problematiky by sa tak dala využiť aj metóda, ktorá bola použitá v uvedenej hydrologicky zameranej práci, konkrétne použitie kombinovaného periodogramu na zistenie posunu cyklov oscilácie a v našom prípade nie prietokov, ale jednotlivých klimatických prvkov.

Výsledky korelačnej analýzy medzi sezónnymi úhrnmi zrážok a zodpovedajúcimi cirkulačnými indexami potvrdili vplyv Severoatlantickej oscilácie na zimné úhrny zrážok aj na Slovensku. Výsledné pole korelačných koeficientov medzi Hurrellovým zimným oscilačným indexom a zimným úhrnom vykazuje na Slovensku zonálne rozdelenie. Jediným regiónom, ktorý dosahuje kladnú koreláciu, aj keď s nižšími hodnotami, je región Oravy a Kysúc. V tej

to oblasti dochádza k nárastu zrážkových úhrnov v zime, pričom celkový trend vývoja zrážok je tu zhodný s trendom vývoja Hurrellovho zimného oscilačného indexu. Na základe uvedeného môžeme predpokladať, že pri momentálnom stúpajúcom trende oscilačného indexu budú narastať zimné úhrny zrážok v danom regióne. Od Oravy a Kysúc smerom na juh hodnoty korelačného koeficientu prechádzajú do záporných hodnôt, ktoré sú najnižšie v regióne

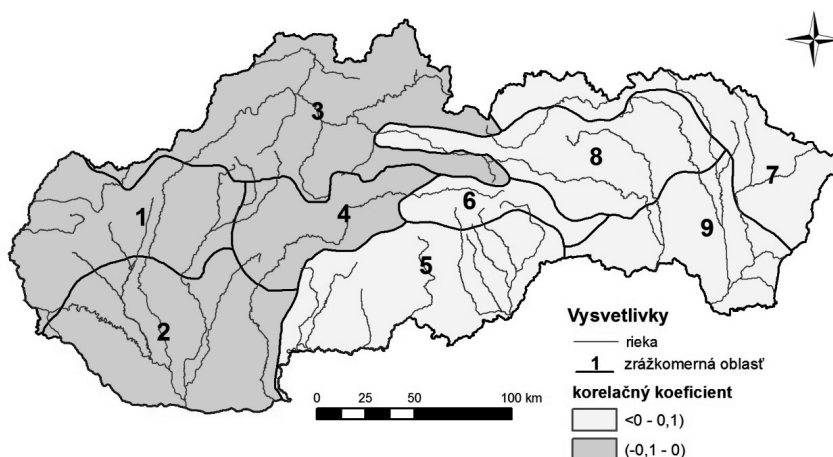
Juhoslovenskej kotliny, výraznejšie záporné korelácie dosahuje aj Podunajská a Východoslovenská nížina.

### PodĎakovanie

Tento článok bol pripravený vďaka podpore grantu UK/44/2013 a tiež Agentúry na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-0303-11.

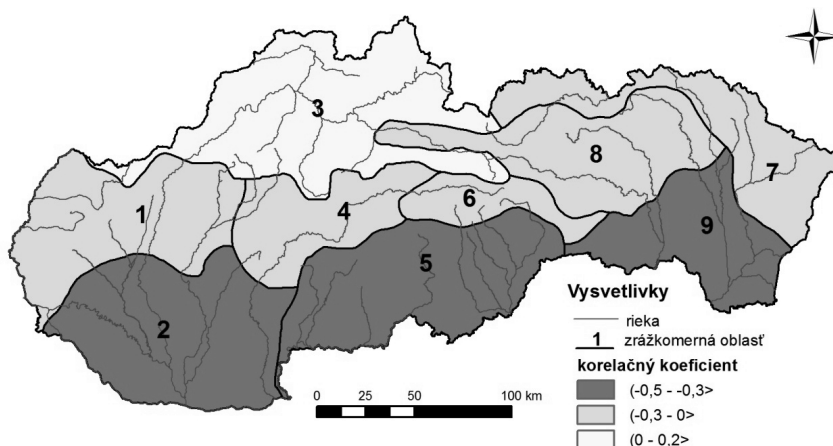
**Obrázok 3.**  
Korelačný koeficient  
letných úhrnov zrážok  
a Rogersovho oscilačného  
indexu v jednotlivých  
zrážkových oblastiach.

Figure 3.  
Correlation coefficient  
between summer  
precipitation totals and  
Rogers oscillation index  
in the individual  
precipitation regions.



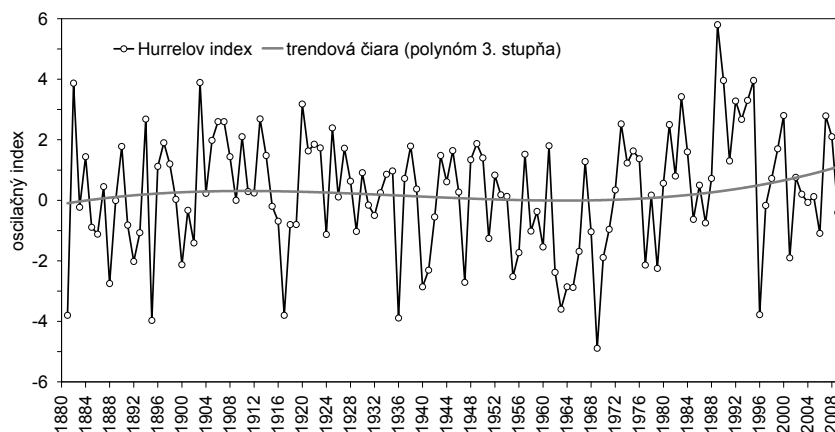
**Obrázok 4.**  
Korelačný koeficient  
zimných úhrnov zrážok  
a Hurrellovho oscilačného  
indexu v jednotlivých  
zrážkových oblastiach.

Figure 4.  
Correlation coefficient  
between winter precipitation  
totals and Hurrell  
oscillation index in the  
individual precipitation  
regions.



**Obrázok 5.**  
Priebeh Hurrellovho  
zimného oscilačného indexu  
v období 1881 – 2010.

Figure 5.  
Hurrell winter oscillation  
index in the period  
1881 – 2010.



## LITERATÚRA

- Barry, R.G.–Chorley, R.J., 2003, *Atmosphere, weather and climate*. London: Butler and Tanler Ltd, 2003. 368 p. ISBN 0-415-27170-3
- Beranová, R.–Huth, R., 2007, Time variations of the effects of circulation variability modes on European temperature and precipitation in winter. *International Journal of Climatology*, (online), Vol. 28, 2007, 139–158. (Citované 10. 9. 2011). <http://onlinelibrary.wiley.com>
- Doležalová, M., 2007, *Projevy Severoatlantské oscilace v časové variabilitě teploty vzduchu a srážek na území České republiky*. Meteorologický časopis, roč. 10, č. 2. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav, 2007, 91–101.
- Hurrell, J.W., 1995, Decadal Trends in the North Atlantic Oscillation: Regional Temperatures and Precipitation. *Science*, Vol. 269, No. 5224. Washington, DC: American Association for the Advancement of Science, 1995, 676–679.
- Hurrell, J.W., 1996, Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophysical Research Letters*, Vol. 23, No. 6. Washington, DC: American Geophysical Union, 1996, 655–668.
- Hurrell, J.W., 2001, North Atlantic Oscillation. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Vol. 4. London: Academic Press, 2001, 1904–1911.
- Hurrell, J.W.–Kushnir, Y.–Ottersen, G.–Visbeck, M., 2003, An overview of the North Atlantic Oscillation. In: *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*, Geophysical monograph, 134. Washington, DC: American Geophysical Union, 2003, 1–35.
- Hurrell, J.W.–Desser, C., 2009, North Atlantic climate variability: The role of the North Atlantic Oscillation. *Journal of Marine Systems*, (online), Vol. 78, Issue 1, 2009, 28–41. (Citované 10. 10. 2011). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796309003224>
- Hurrell, J.W., 2011, Introduction to NAO Indices. (Citované 5. 11. 2011). <http://www.cgd.ucar.edu/cas/jhurrell/naointro.html>
- Hurrell, J. W. 2012. Hurrell North Atlantic Oscillation (NAO) Index (station-based). (Citované 2. 12. 2011). <http://climatedataguide.ucar.edu/guidance/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based>
- Kadrnožka, J., 2008, *Globální oteplování Země*. Brno: VUTUM, 2008. 467 s. ISBN: 8021434981.
- Lapin, M.–Tomlain, J., 2001, *Všeobecná a regionálna klimatológia*. Bratislava: Univerzita Komenského Bratislava, 2001. 183 s. ISBN 80-223-1433-1.
- Osborn, T.J.–Briffa, K.R.–Tett, S.F.B.–Jones, P.D.–Trigo, R.M., 1999, Evaluation of the North Atlantic Oscillation as simulated by a coupled climate model. *Climate Dynamics*, (online), Vol. 15, 1999, 685–702. (Citované 20. 1. 2012). <http://www.springerlink.com/content/h1lj48bd98w6tln5/fulltext.pdf>
- Pekarová, P.–Miklášek, P.–Pekár, J., 2010, Možnosti dlhodobej predikcie prietokov slovenských tokov na základe indexu Severoatlantickej oscilácie NAOI. *Acta Hydrologica Slovaca*, roč. 11, č. 2. Bratislava: Ústav hydrológie Slovenskej akadémie vied, 2010, 282–290.
- Pishvaei, M.R., 2003, *Study of precipitation time series in Slovakia and Iran*. Bratislava: Univerzita Komenského Bratislava, 2003. 256 s, Dizertačná práca.
- Polar meteorology group, 2005, *The Rogers (1984) North Atlantic Oscillation Index (1874–2005)*. (Citované 15. 9. 2011). <http://polarmet.osu.edu/NAO/>

# Z HISTÓRIE DIŠTANČNÝCH METÓD V METEOROLÓGII, VO FYZIKE OBLAKOV A JAVOV A NOWCASTINGU NA SLOVENSKU (1965 – 1990)

DUŠAN PODHORSKÝ

Geofyzikálny ústav SAV, Dúbravská cesta 9, 845 28 Bratislava

*A brief overview of the construction of radar and satellite meteorology in Slovakia in 1965–1990, application of the dispatching locators types PAR, SRE and RSR for research of evolution life of convective cell, conception and realization of meteorological radar network in Slovakia, algorithms for detecting clouds and phenomena, related to the parameters of radioecho, development of laser radar – LIDAR and its experimental verification, application of prototype meteorological radar with controlled polarimeter TESLA RM-3, radar climatology of convective cloud and phenomena of Central Europe, digital model of Czechoslovakia relief, data bank system METEOSYS/DB for complex processing of the hydrometeorological data.*

*Obsahom tohto príspevku je stručný prehľad budovania radarovej a družicovej meteorológie na Slovensku v rokoch 1965–1990, aplikácia dispečerských lokátorov typu PAR, SRE a RSR pre výskum evolúcie životnosti konvektívnych buniek, koncepcia a realizácia meteorologickej radarovej siete na Slovensku, algoritmy pre rozpoznávanie oblakov a javov, ktoré sú s ním spojené na základe parametrov rádiového odzvu, vývoj laserového radaru – LIDAR-u a jeho experimentálne overovanie, aplikácia prototypu meteo-radaru s regulovaným polarizátorom TESLA RM-3, rádiolokačná klimatografia konvektívnej oblačnosti a javov nad Strednou Európou, digitálny model reliéfu Československa, databankový systém METEOSYS/DB pre komplexné spracovanie hydrometeorologických údajov.*

**Keywords:** radar meteorology, satellite meteorology, meteorological radar network, algorithms for cloud and phenomena classification, penetration of Cumulonimbus into stratosphere, radar climatology, laser radar – LIDAR, meteoradar with polarimeter, database system and digital model of relief

## MOTTO:

„Každý kto píše pamäti v podstate klame ...  
Vami prežitá udalosť sú len ich subjektívnym  
vyjadrením na základe vašich vnemov a pocitov.  
Iní to vnímali a poznajú zo svojho uhla pohľadu,  
ktorý je spravidla odlišný od toho Vášho ...“

Uplynulo vyše štyridsať rokov od začiatku prevádzky Výskumno-vývojového meteorologického rádiolokačného strediska (skratka VMRS) SHMÚ na Malom Javorníku (584 m n. m., hrebeň Malých Karpát) pri Bratislave. Predmetný príspevok je iba subjektívnou spomienkou autora a nerobí si nároky na neomylnosť a úplnú exaktnosť svojej výpovede. Ide o snahu ešte žijúceho pamätníka tohto obdobia naplneného entuziazmom a túžbou po vedeckom poznaní. Veď od tých čias ubehlo takmer polstoročie. Bolo to obdobie kompromisov a ťažko naplnených túžob. Významný slovenský fyzik Ivan Štich na margo kompromisov poznamenáva: „Ak máte nejaký problém, musíte si zvoliť správnu metódu. Kompromis musíte urobiť vždy,

život ani veda bez kompromisov sa nedajú robiť. Časť umenia je si vybrať správnu metódu a potom s ňou urobiť také priblíženia, ktoré umožnia systém riešiť a nenarušia fyziku, chémiu či vedu ako takú“ (26. január 2013, *Veda, Vikend SME*, str. 9).

VMRS bolo postupne transformované na Národné centrum radarovej meteorológie Československa a na Pobočku SHMÚ, s významným Odvetvovým výpočtovým strediskom vodného hospodárstva SR. K tomu pribudla od roku 1984 funkcia Regionálneho centra pre rádiolokačnú a družicovú meteorológiu socialistických krajín, a taktiež WMO Aktívneho centra pre veľmi krátkodobú predpoveď počasia.

V rokoch 1968–1990 sa uskutočnil na Malom Javorníku intenzívny rozvoj rádiolokačných technológií pre meteorologické merania, rozvoj systémov pre príjem údajov z meteorologických družíc Zeme, zavádzanie výpočtovej techniky a informačných technológií, aplikovaný výskum vo fyzike oblakov a javov, a od roku 1984 vývoj veľmi krátkodobých predpovedí počasia (nowcastingu).

## RÁDIOLOKAČNÁ A DRUŽICOVÁ METEOROLÓGIA NA SLOVENSKU

1965 – 1968

### *Počiatky budovania rádiolokačnej meteorológie*

Druhá polovica 20. storočia bola v meteorológii v znamení technického rozvoja dištančných metód merania meteorologických parametrov v atmosfére. Rádiotechnický priemysel USA, Anglicka, Japonska, Talianska a Sovietskeho zväzu začal vyrábať vysoko potenciálne meteorologické radary, ktoré pracovali na vlnových dĺžkach od 0,8 do 10 cm.

V roku 1959 bola publikovaná vydavateľstvom Chicagskej univerzity prvá učebnica radarovej meteorológie od Louisa Josepha Battana (1923 – 1986), profesora a zástupcu riaditeľa na Institute of Atmospheric Physics, University of Arizona v Tucso, pod názvom „Radar Meteorology“. V roku 1964 profesor Battan, ako prvý na svete, uviedol do prevádzky 3 cm Dopplerovský poveternostný radar, ktorým meral vertikálne pohyby a rozmery častíc v búrkach. V roku 1973 vydal monografiu „Radar Observation of the Atmosphere“.

V rokoch 1966 – 1972 bol profesorom a vedúcim katedry meteorológie na Chicagskej univerzite plk. David Atlas (1924) (blízky priateľ Battana), radarový meteorológ od čias II. svetovej vojny, ktorý sa ako veterán US Air Force zúčastnil Kórejskej vojny, počas ktorej boli pod jeho vedením široko uplatnené rádiolokátory pri meteorologickom zabezpečovaní vojenských operácií. V roku 1964 profesor David Atlas, ako vedecký pracovník Air Force Cambridge Research Laboratories, Bedford, Massachusetts, vydal vynikajúci systémový príspevok pod názvom „Úspechy radarovej meteorológie“ (neperiodické vydanie „Advances in Geophysics, vol. 10, 1964), v ktorej nielen spracoval prienik rádiolokácie do atmosférickej fyziky, ale aj fyzikálne zdôvodnil jej ďalšiu perspektívu. Atlas je autorom 22 patentov a publikoval 260 odborných článkov.

Vo východnej Európe bol v uvedenom období zaznamenaný najintenzívnejší rozvoj rádiolokácie pre meteorológiu v Sovietskom zväze, a to najmä na Hlavnom geofyzikálnom ústave A. I. Vojekova (GGO) v Petrohrade (E. M. Saľman, G. G. Ščukin), v A. F. Možajskej vojenskej kozmicko-inžinierskej akadémii (MMSA) (V. D. Stepanenko) a na Centrálnom aerologickom observatóriu (CAO) v Dolgoprudnom pri Moskve (V. V. Kostarev, A. A. Černikov, Ju. V. Melničuk, A. V. Šupiacikij). Vývoj a výrobu meteorologických radarov typu MRL zabezpečoval Všeľvazový vedecko-výskumný ústav rádioaparatury (VNIIRA) (G. F. Ševčuk) v Petrohrade.

Na Hydrometeorologickom ústave v Bratislave, vo výskumnom oddelení Synoptickej a leteckej meteorológie (SaLM), sa od roku 1965 do roku 1968 využívali na výskum evolúcie rádioeča oblačných polí fotografické a nepretržité kinematografické záznamy (expozičná doba obrazovky radaru každé tri minúty) z dispečerských radarov Riadenia leteckej prevádzky Československa (RLP), a to najmä na letisku Ivanka v Bratislave, a od roku 1967 aj z dispečerských radarov v Karlových Varoch, Prahy - Ruzyně, Brna, Ostravy a Košíc.

Pozorovania „in situ“ v reálnom čase boli robené na pracoviskách RLP bratislavského letiska v Ivanke, ktoré prevádzkovalo tri rádiolokátory:

- **presný približovací radarový systém PAR** (Precision Approach Radar), vlnová dĺžka  $\lambda = 3,2$  cm, od fy Tesla Pardubice, s indikátorom typu RHI s nelineárnym zobrazením, a vybavený rotátorom zabezpečujúcim vytvorenie kruhovo-polarizovaného vlnenia a pri 100 % výkone až elipticko-polarizovaného vlnenia. PAR bol stabilne zabudovaný, mal dva anténne systémy a ožaroval pristávací priestor na dráhe 3150 a na dráhe 2200 do vzdialenosti 20 km. Úlohou pozorovaní na indikátore PAR bol výskum dynamiky spodnej hranice oblačnosti pri rôznej polarizácii vysokofrekvenčného žiarenia, ďalej pri slabom vetre boli posudzované evolučné charakteristiky „stalaktitov“, t.j. výrastkov rádioeča, ktoré smerovali zo spodnej hranice oblačnosti smerom dole k pristávacej dráhe a ovplyvňovali šikmú dohľadnosť pri pristávaní lietadiel. Bol skúmaný vzťah medzi intenzitou zrážok a útlmom rádioeča pri rôznej polarizácii signálu. Značná pozornosť bola venovaná výskumu spodnej vrstvy oblačnosti typu nimbostratus, a to vrstve topenia snehových vločiek v tvare „jasného pásma“ (okolo hladiny s teplotou 0°C) zreteľne zobrazeného pri eliptickej polarizácii.
- **prehľadový letiskový rádiolokátor SRE** (Surveillance Radar Element), vlnová dĺžka  $\lambda = 3,2$  cm, od fy Tesla Pardubice, s indikátorom kruhového obzoru PPI, s voľbou rozsahu 20 a 50 km a s obdobným rotátorom vysokofrekvenčného žiarenia ako pri radare PAR.
- **prehľadový oblastný rádiolokátor RSR** (En-route Surveillance Radar), vlnová dĺžka  $\lambda = 10,3$  cm, od fy Tesla Pardubice, s indikátorom kruhového obzoru PPI, s voľbou rozsahu 100, 200 a 400 km.

Pri spracovaní a následnom vyhodnocovaní snímok rádioeča bola pri prehľadových rádiolokátoroch využitá široká charakteristika diagramu antény, ktorá ideálne zobrazuje integrálnu plochu poľa oblačnosti a to najmä konvektívnych oblakov typu Cu cong - Cb, avšak menej pri vrstevnato - dažďových oblakoch typu Ns.

Výskum bol v danej dobe zameraný na:

- Stanovenie životnosti existencie rádioeča konvektívnej búrkej oblačnosti (typu Cu cong - Cb) v závislosti od jej rozmerov a pri rôznych vlnových dĺžkach rádiolokátorov.

Na základe spracovania niekoľkých stoviek fotografických a kinematografických záznamov (časová postupnosť záznamu každé tri minúty) samostatných buniek Cu cong - Cb bola skúmaná rýchlosť vzniku a rozpadu rádioeča a dĺžka životnosti rádioeča. Osobitne to bolo spracovávané pri vlnovej dĺžke  $\lambda = 3,2$  cm na SRE a pri  $\lambda = 10,3$  cm na RSR. Jednotlivé bunky rádioeča lokálnych buniek Cu cong - Cb vo vnútri vzduchovej hmoty mali v strednej Európe priemernú životnosť okolo 25 minút pri  $\lambda = 3,2$  cm a pri

$\lambda = 10,3$  cm okolo 17 minút. Priemerný čas na dosiahnutie maximálneho priemeru bunky bolo 11,2 min pri  $\lambda = 3,2$  cm a 8,9 min pri  $\lambda = 10,3$  cm. Získané poznatky korešpondovali s obdobnými meraniami v USA a ZSSR.

Hľadali sa parametre, ktoré by pomohli identifikovať krúponosný oblak pomocou rádioeča, a to najmä pri využití eliptickej polarizácie podľa postupu H. T. Harrisona a E. A. Posta z Denveru, ktorí empiricky dokázali, že výskyt krúp sa pozoroval v palcovitých výstupkoch dĺžky  $1,6 \div 8$  km z rádioeča konvektívnej bunky. V našom prípade bol zaznamenaný takýto jav potvrdený výskytom krupobitia iba dvakrát.

- Vplyv alpsko-karpatskej orografickej sústavy na prienik studených frontov do Podunajskej nížiny. Bola zaznamenaná konvergencia pohybu oblačnej hmoty v oblasti údolia rieky Dunaja pred jej prienikom do Devínskej brány. V niektorých prípadoch vpadol studený front do Podunajskej nížiny skôr o niekoľko desiatok minút ako bola jeho poloha zaznamenaná (analyzovaná) na synoptických mapách.
- Posúdenie zmeny intenzity rádioeča v závislosti od fázy oblačných častíc a zrážok. Používanie rotátora vysokofrekvenčné žiarenia umožnilo získavať empirické poznatky o veľkosti útlmu rádiolokačného signálu od tekutej a pevnej fázy častíc oblakov a zrážok.

## 1969 – 1972

### *Koncepcia výstavby radarových meteorologických staníc a jej realizácia*

V roku 1969 bol dodaný na Hlavné poveternostné ústredie ČSĽA sovietsky mobilný meteorologický radar MRL-1 ( $\lambda = 0,8$  cm a  $3,2$  cm) a na príprave jeho uvedenia do prevádzky sa zúčastnili aj pracovníci VMRS.

V roku 1969 bola vo vedení Hydrometeorologického ústavu v Prahe schválená koncepcia budovania meteorologickej rádiolokačnej siete v Československu. Na území Slovenska sa predpokladalo vybudovať dve rádiolokačné stanice, a to na Malom Javorníku pri Bratislave (1969–1972) a na Kojšovskej holi pri Košiciach (1986–1990). Na hrebeni Malých Karpát boli s rozpočtovými nákladmi do 1,5 mil. korún vybudované príjazdové komunikácie na Malý Javorník, vysokonapäťová kábelová prípojka, zdroj pitnej a úžitkovej vody a telekomunikačný kábel z Rače. Slávnostné otvorenie pracoviska VMRS na Malom Javorníku sa uskutočnilo 26. júna 1972 za účasti predstaviteľov československých štátnych orgánov, univerzít, ČSAV a SAV. Medzi vzácnymi účastníkmi boli zakladatelia slovenskej meteorológie prof. Mikuláš Konček a hydrológie akademik Oto Dub, predstavitelia hydrometeorologických a meteorologických služieb z Maďarska, NDR, Poľska, Juhoslávie a ZSSR. V predstihu sa uskutočnilo na Štrbskom plese medzinárodné sympóziu o perspektívach radarovej meteorológie.

VMRS na Malom Javorníku od tohto termínu započalo nepretržitú prevádzku rádiolokačných meraní na

meteorologickom rádiolokátore MRL-2 (ZSSR, Gorkij), ktorý bol po prvýkrát exportovaný za hranice ZSSR. Metodika meraní bola spracovaná pracovníkmi VMRS na základe publikácií GGO A. I. Vojejkova v Petrohrade (vtedy v Leningrade) a doplnená o namerané charakteristiky rádioeča na bieloruských radaroch Brest, Gomeľ a Minsk, a oponovaná pracovníkmi HMÚ Praha a Hlavného poveternostného ústredia ČSĽA v Prahe.

Výsledky meraní boli distribuované prostredníctvom faksimilového vysielača po telefónnom kábli na SaLM na letisku v Ivanke pri Bratislave.

Boli rozpracované štúdie o aplikácii laserovej techniky v meteorológii v spolupráci s Výskumným ústavom spojovej techniky (VÚST) a s Výskumným ústavom pre vákuovú elektroniku (VÚVET) v Prahe, so zameraním na priestorové meranie evolúcie dymových vlečiek a na meranie vertikálneho profilu vrstevnatej oblačnosti (As - Cs).

V uvedenom období na McGill University, na radarovom observatóriu J. S. Marshalla v Montreali a na CAO v Dolgoprudnom pri Moskve uskutočňovali výskum útlmu rádiových vln oblačnými časticami, ktoré majú rôznu fázu (pevnú, kvapalnú a zmiešanú) a tvar (napríklad sférický alebo eliptický). Na základe štúdia týchto prameňov boli vypracované požiadavky na vývoj prototypu experimentálneho radaru TESLA s regulovaným polarizátorom, ktorý bol vyvíjaný na ČVUT Praha.

## 1973 – 1976

### *Rozpoznávanie rádioeča*

V priebehu nepretržitej prevádzky boli upresňované parametre algoritmov pre rozpoznávanie typu rádioeča. Využívali sa radarové parametre – horná hranica rádioeča oblačnosti a radarová odrazivosť v hladine cca 5 km (pre rozpoznávanie konvektívnej oblačnosti Cu cong, Cb, Cb s prehánkami a Cb s krupobitím) a radarová odrazivosť v hladine cca 3 km (pre vrstevnato - dažďovú oblačnosť typu Ns).

### *Rádiolokačná klimatografia*

Namerané rádiolokačné parametre rádioeča z nepretržitej prevádzky MRL-2 boli archivované a na ich základe boli spracované, za roky 1973–1975, rádiolokačné klimatografické mapy nad Strednou Európou a to v štruktúre Ns, Cb s prehánkami, Cb s krupobitím a Cb s penetráciou do stratosféry. Klimatografické mapy rádioeča konvektívnej oblačnosti boli zobrazené v nadväznosti na mapu orografie Strednej Európy a osobitne na mapu letových trás v uvedenom regióne. Na verifikáciu primárnych údajov rádioeča boli použité údaje zo 153 meteorologických staníc (leteckých, synoptických a klimatologických), a údaje o vertikálnom profile atmosféry z aerologických staníc Československa, Juhoslávie, Maďarska, Poľska a Rakúska. Pre komplexné spracovanie týchto primárnych údajov bol použitý databázový systém MARS III. a operačný systém CDC MASTER 3.0 na výkonnom počítači CDC 3300, ktorý bol inštalovaný vo Výskumnom výpočtovom stredisku – Program OSN (VVS/OSN) v Bratislave.

## Vývoj laserového radaru – LIDAR-u

Vedecké tímy VÚST a VÚVET, pod meteorologickou gesciou VMRS, vyvinuli a realizovali dva prototypy laserového radaru – LIDARu a to stacionárny (pre letiská) a mobilný pre prevádzku v teréne. Československé LIDARy mali nasledujúce parametre:

- **vysielač:** rubínový laser,  $\lambda = 694,3$  nm, špičkový impulzný výkon - 20–50 MW, t.j. do jedného Joulu, dĺžka impulzu - od 20 do 50 ns, frekvencia impulzov - 20 min<sup>-1</sup>, refraktor (optika, anténa) - priemer 105 mm, uhol difrakcie - 1  $\mu$ rad.
- **prijímač:** indikátor FEU TESLA VÚVET, typ 65 RK 413 S, optika (anténa) - Newtonovský teleskop - reflektor, priemer 248 mm, zorné pole pri uhle difrakcie 1  $\mu$ rad - 7,85.10<sup>-7</sup> sr (Steradián), šírka interferenčného filtra - okolo 3 nm, logaritmický zosilňovač s rozsahom - 60 dB, aplikácia korekcie signálu na vzdialenosť, indikátor RHI (diaľka - výška) s fotoaparátom POLAROID, indikátor typu A s fotoaparátom POLAROID, digitálne odčítanie uhlových koordinát s diaľaným ovládaním LIDARu, uhlové rozlíšenie merania 0,20, digitálne odčítanie vzdialenosti do cieľa s presnosťou 5 m. V rámci početných experimentálnych meraní na Malom Javorníku, v okolí Elektrárne Nováky s 300 m komínom (tretia najvyššia stavba v SR slúžila zároveň ako kalibračný cieľ), na Mostecku, napríklad Elektrárna Tisová v Sokolovskej panve a pod. boli získané nasledujúce výsledky:
  - meranie spodnej hranice oblakov a výskum jej priestorovo-časovej dynamiky,
  - stanovenie geometrickej a optickej hrúbky oblakov typu Ci, Cc a najmä Cs,
  - meranie horných hraníc oblakov, ktoré boli vzdialené od stanovišťa LIDARu,
  - výskum merania intenzity zrážok na základe určenia objemového koeficientu rozptylu,
  - priestorové, dynamické a časové charakteristiky dymových vŕčiek, najmä v nočných hodinách.

Oficiálne uvedenie stacionárneho LIDARu do prevádzky sa uskutočnilo 29. marca 1973 v rámci prvej historickej návštevy generálneho tajomníka Svetovej meteorologickej organizácie D. A. Daviesa (vo funkcii SG WMO 1956–1979) v Bratislave a na Malom Javorníku.

## Vývoj prototypu meteorologického radaru TESLA RM-3 s regulovaným polarimetrom

Na VMRS Malý Javorník boli namerané v lete 1973–1975 hodnoty hornej hranice rádioeha (spojené s intenzívnou búrkovou činnosťou), ktoré penetráciou cez tropopauzu prenikli do spodných vrstiev stratosféry. Tieto prípadové štúdie boli spracované vo forme referátu pre rádiolokačnú konferenciu v Moskve v roku 1974. Početnosť týchto prípadov, ako aj hodnoty horných hraníc rádioeha okolo 15–16 km vyvolali u prítomných radarových expertov nedôveru voči presnosti odčítavania uhlových a vzdialenos-

tných hodnôt na radare MRL-2 na Malom Javorníku a bolo odporúčané skontrolovať základné parametre radaru technikom výrobného závodu v Rusku. Súčasne bola odmietnutá "javornická" hypotéza, že frekvencia prieniku (penetrácie) Cb do stratosféry nad Strednou Európou je reálna a bude v ďalšom období narastať z dôvodov otepľovania troposféry, t.j. vplyvom rastu jej energetického potenciálu.

V uvedenom čase (1971–1975) bol realizovaný v TESLE - na Ústave pre výskum rádiotechniky v Opočinku pri Pardubiciach, na základe požiadaviek VMRS, vývoj prototypu meteorologického radaru TESLA RM-3 s regulovaným polarimetrom. Pôvodne sa plánovalo umiestnenie radaru RM-3 na Malom Javorníku (na projektovanej sedem poschodovej budove), ale „moskovské“ pochybnosti spôsobili presun RM-3 do vzdialenosti okolo 80–100 km, východným smerom od Malého Javorníka do Podunajskej nížiny. Po dôkladnej rekognoskácii terénu bola stanovená lokalita Károlyho tehelne pri Šuranoch, kde bol, v pomerne krátkom čase, vybudovaný polygón VMRS pre radarové merania na báze RM-3 a pre experimenty laserových meraní na báze vlastného mobilného LIDARu, a v spolupráci s Katedrou fyzikálnej elektroniky na Fakulte jadrovej a fyzikálno-inžinierskej ČVUT v Prahe, s rubínovým laserom pre monitorovanie znečistenia atmosféry pomocou Ramanovho rozptylu.

Prototyp TESLA RM-3 mal regulovaný polarimeter, s diaľaným riadením parametrov vyžarovaných vln vysokofrekvenčného žiarenia, ktorý vyvinuli na elektrotechnickej fakulte ČVUT v Prahe. V danej dobe boli v prevádzke meteorologické radary s polarimetrom iba na CAO v Dolgoprudnom a na Radarovom observatóriu J. S. Marshalla montrealskej McGill univerzite. Radar RM-3 pracoval na vlnovej dĺžke  $\lambda = 3,0$  cm, výkon vysielača v impulze 1  $\mu$ s alebo 0,5  $\mu$ s bol 150 kW. Širokopásmový kalibrovaný útlm polarimetra sa dal regulovať po hodnotách 6 dB.

Na základe experimentálnych meraní prostredníctvom RM-3 bol určený fázový stav častíc oblakov a zrážok a to podľa hodnôt koeficientu kruhovej depolarizácie echo signálu pri oblačnosti typu Ns a to štyrmi fázovými štádiami oblačných častíc a) kvapkovo - kvapalná fáza, b) zmiešaná fáza s prevládajúcou kvapalnou fázou, c) zmiešaná fáza s prevládajúcou kryštalickou fázou a d) kryštalická fáza. Ďalej bola verifikovaná teória L. G. Kačurina o spontánnej kryštalizácii vo vrstevnatej oblačnosti a boli stanovené fyzikálne podmienky nevyhnutné pre vznik zrážok.

Synchronizované merania identických horných hraníc rádioeha na MRL-2 a na RM-3 prostredníctvom rádiového spojenia medzi Malým Javorníkom a Šuranmi jednoznačne potvrdili prienik Cb do stratosféry.

## Regionálne centrum rádiolokačnej meteorológie socialistických krajín (RCRM)

V roku 1974 sa uskutočnilo v Bratislave zasadnutie riadiťov hydrometeorologických a meteorologických služieb socialistických krajín, ktoré na základe oboznámenia sa s činnosťou VMRS na Malom Javorníku priznalo tomuto pracovisku štatút Regionálneho centra pre rádiolokačnú meteorológiu socialistických krajín.

## Družicová meteorológia

Od roku 1972 bol zabezpečený príjem analógových snímok z meteorologických družíc s polárnou trajektóriou operačného systému TIROS (USA) a neskôr METEOR (ZSSR). Prijímacie zariadenie bolo vyvinuté na základe svojpomocne prebudovaného rádioteodolitu Malachit (ZSSR). Po roku 1975 začali experimenty so zlučovaním radarových máp z Prahy (Libuš), z Malého Javorníka a zo Šurian. Postupne sa prostredníctvom televíznej kamery robili kombinované zobrazenia radarových máp s družicovými fotografiami oblačnosti nad Strednou Európou a boli experimentálne prenášané rádio - retranslačným zariadením RTL-4 na bratislavské letisko Ivanka.

Spustenie počítača VIDEOTON EC 1010 do prevádzky a experimentálna prevádzka Digigrafu 1006 (Nový Bor) otvorili v roku 1974 predpoklady nielen pre existenciu Národného centra pre radarovú meteorológiu (NCRM) v Československu, ale aj pre RCRM.

## 1977 – 1985

V danom období bola skvalitnená metodika rádiolokačných meraní a príjmu z meteorologických družíc, začali práce na vytvorení perspektívneho komplexného databankového systému pre NCRM. Pravidelne každý rok sa pripravovali celoštátne porady o radarovej meteorológii (ČHMÚ, SHMÚ a MNO) a aktívne sa zabezpečovali porady Pracovnej skupiny pre synoptickú a leteckú meteorológiu (RGSAM) socialistických krajín. Od roku 1979 bolo pracovisko na Malom Javorníku zvolené do pozície Spravodajcu pre radarovú meteorológiu Regionálnej asociácie VI WMO – Európa (RA VI WMO). Toto poslanie umožnilo predstaviť na rôznych medzinárodných konferenciách a sympóziách WMO, IAHS, COST, ESA, FAO a pod. slovenský projekt vytvorenia meteorologickej radarovej siete v Európe, a to bez ohľadu na dané politické členenie európskych krajín.

V tomto období došlo k významnému kvalitatívnemu pokroku a to prenájmom dlhovlnného vysielača Správy rádiokomunikácií (výkon do 100 kW), ktorý umožnil nepretržitú faksimilovú distribúciu zlúčených radarových poveternostných máp ako aj spracovaných aerologických výstupov z Prahy, Popradu a Viedne, na územie celej strednej a východnej Európy.

Na základe požiadavky Ministerstva poľnohospodárstva SR a Ministerstva lesného a vodného hospodárstva SR, zabezpečovala Pobočka SHMÚ na Malom Javorníku od roku 1979 do roku 1989 žatevný dispečing v okrese Levice a postupne aj v okrese Nitra a Bratislava - vidiek. Do týchto prác bol zapojený aj vyvinutý experimentálny mobilný radar TESLA RR (na báze riečneho radaru), s 3 m parabolou, s vlnovou dĺžkou  $\lambda = 3,2$  cm, s dosahom 80 km, umiestnený na vozidle AVIA, pre radarové meranie intenzít zrážok. Súčasťou tohto mobilného systému bolo aj pracovisko mobilného laserového radaru - LIDARu.

Úsilie 22 členného riešiteľského kolektívu na Malom Javorníku, za úzkej spolupráce s Katedrou fyzickej geografie na Prírodovedeckej fakulte UK, vyvrcholilo účasťou na Štátnej výskumnej úlohe: Interakcia atmosféry s hydrosférou z hľadiska všeobecnej bilancie a v rámci nej na

riešení čiastkovej úlohy: Diaľková detekcia zrážok a dynamický model prírodného prostredia v rokoch 1981 – 1985. Z dôvodov stručnosti uvedieme iba názvy jednotlivých kapitol tejto čiastkovej úlohy:

- Diaľková detekcia zrážok a dynamický model prírodného prostredia z hľadiska jeho vplyvu na koncepciu hydrometeorologického geoinformačného systému METEOSYS;
- Aplikácia dvojnásobných rádiolokátorov MRL-5 pre stanovenie intenzít zrážok;
- Využitie multispektrálnych kozmických informácií s vysokou rozlišovacou schopnosťou pre stanovenie priestorových a plošných charakteristík zrážok;
- Komplexný digitálny model reliéfu;
- Polohové priradenie družicových informácií;
- Kybernetické metódy spracovania rádiolokačných informácií o zrážkach;
- Operatívna informácia o zrážkach pre synoptickú analýzu.

V uvedenom období boli postavené nové objekty na Malom Javorníku a to pre umiestnenie radaru MRL-5, pre príjem a spracovanie primárnych digitálnych údajov s vysokou rozlišovacou schopnosťou z geostacionárnych a polárnych meteorologických družíc WIRPS od fy DORNIER (SRN), pre počítače SM 4-20 (ZVT SR) a veľkokapacitný EC 1040 (ROBOTRON, NDR). Vytvorený databankový systém METEOSYS, na báze produktu fy IBM - IDMS, sa stal postupne základom spracovania jednotlivých produktov SHMÚ Bratislava. Prínosom bol Jednotný kartografický systém (JKS), ktorý umožnil zlučovanie údajov z meteorologickej radarovej siete a údajov z meteorologických družíc METEOSAT a NOAA. Celý proces spracovania zahŕňal identifikáciu signálov z jednotlivých kanálov, kalibráciu kanálov a geometrickú transformáciu obrazov do JKS.

V roku 1985 bol uvedený do experimentálnej prevádzky Automatizovaný rádiolokačný meteorologický systém (ARMS), ktorý zabezpečoval mikroprocesorovým subsystémom úplnú automatizáciu meraní dvojkanálového meteorologického radaru MRL-5 na riadiacom počítači SM 4-20 (ZVT Námestovo).

Od roku 1984 sa zabezpečovala na zariadení WIRPS nepretržitá animácia družicových snímok oblačnosti pre predpoveď počasia, ktorá bola vysielať na STV, ČT a neskôr aj pre potreby rakúskej, východonemeckej a bulharskej televízie. Pre potreby zabezpečovania hydrometeorologickej služby bola vysielať družicová animácia tiež na meteorologické pracoviská v Bratislave (letisko Ivanka, SHMÚ Koliba), v Prahe (na letisko Ruzyně) a na Hlavné poveternostné ústredie ČSĽA v Prahe.

Na základe rozhodnutia orgánov WMO bol v roku 1984 udelený RCRM na Malom Javorníku štatút Aktívneho centra WMO (AC WMO) pre veľmi krátkodobé predpovede počasia, a zároveň bolo toto centrum poverené vedením pracovnej skupiny WMO pre veľmi krátkodobé predpovede počasia pri účasti expertov USA, Švédska, Japonska a Kanady (1984 – 1990).

## 1986 – 1990

Hlavná pozornosť bola sústredená na činnosť AC WMO a na riešenie avant - projektu Rady vzájomnej hospodárskej pomoci (RVHP): Komplexný automatizovaný systém meteorologického zabezpečovania letectva a iných oblastí národného hospodárstva (KAS METEO). Pracovisko na Malom Javorníku riešilo nasledujúce úlohy:

- použitie 32-bitových počítačov SM 52-12 (ZVT Banská Bystrica) a rýchlych 16-bitových počítačov SM 52-11 (ZVT Námestovo),
- riešiť spoľahlivosť a bezporuchové meranie ARMS-om,
- zabezpečiť diaľkové ovládanie ARMS-u a prezentovať spracované výstupy v reálnom čase na farebných grafických obrazovkových video zariadeniach,
- aplikovať Formát X.25 pre prenos informácií KAS METEO v telekomunikačných a počítačových sieťach.

Podružným cieľom riešenia týchto úloh bola príprava na vybudovanie perspektívneho centra na spracovanie radarových pozorovaní v rámci európskej siete (RA VI WMO) na AC WMO Malý Javorník.

V máji 1987, na zasadnutí expertov KAS METEO v Pardubiciach, sa uskutočnila v reálnom čase plne automatizovaná prevádzka ARMS na Malom Javorníku s diaľkovým ovládaním cez verejne dostupné telefónne linky, spolu s grafickým farebným výstupom spracovaných radarových pozorovaní oblačnosti v Pardubiciach. Na Medzinárodnom strojárskom veľtrhu v Brne bola v septembri 1988 udelená systému ARMS pre potreby KAS METEO zlatá medaila.

Mimoriadna pozornosť bola venovaná spracovaniu primárnych digitálnych informácií z geostacionárnych družíc METEOSAT 2 s cieľom zabezpečiť rozpoznávanie obrazov pre potreby modelovania pre nowcasting oblačnosti a javov s ňou spojených pod pracovným názvom METEOTREND.

## LITERATÚRA

- Krcho, J.–Podhorský, D., 1981, *Dynamický model reliéfu krajiny a diaľková detekcia prírodného prostredia*, Praha, *Meteorologické zprávy*, 34, 2, 45–48.
- Podhorský, D., 1967, *Využitie leteckých radarov pre meteorologické účely*, *Meteorologické zprávy*, XX., 1, 9–13.
- Podhorský, D., 1968, *Použitie rádiometeorológie pri štúdiu dynamiky spodnej troposféry*, *Rigorózna práca, Prír. fak. UK, Katedra AGM, Bratislava*, 52 str.
- Podhorský, D., 1970, *Rádiolokačná meteorológia v Československu*, *Meteorologické zprávy*, Praha, 1970, 6, 84–87.
- Podhorský, D., 1971, *Studium der Kaltfronten mit Hilfe von Bodenradaranlagen für den Flugverkehr*, *Acta F. R. N. Univ. Comen. - Meteorologia IV.*, 49–73.
- Podhorský, D.–Androvič, A., 1971, *Využitie meteorologického lidararu pri štúdiu znečistenia atmosféry*, *HMÚ Bratislava, Meteorológia a životné prostredie*, 92–104.
- Podhorský, D., 1972, *Problémy rádiolokačnej meteorológie v súčasnosti a v budúcnosti*, *Práce a štúdie HMÚ*, 7, Bratislava, 30–46.
- Podhorský, D., 1974, *Komplexné využitie meteorologických údajov pre stanovenie intenzity zrážok*, *Práce a štúdie*, 10, HMÚ Bratislava.
- Podhorský, D.–Androvič, A., 1974, *Vývoj meteorologického lidararu v ČSSR*, *Zborník prác HMÚ*, 7, Bratislava.
- Podhorský, D.–Fabková, M.–Kovár, S.–Pánik, V., 1975, *Niektoré možnosti využitia polarizácie rádiovln a anorganických reagentov pri ovplyvňovaní počasia*, *HMÚ Bratislava, III. seminár slov.-mad. meteorolog. spol., Nitra*.
- Podhorský, D., 1976, *Obosnovanie radiolokacionnoy sistemy naučnykh i operativnykh nabljudenij za opasnymi meteorologičeskimi javlenijami v ČSSR*, *Dizertačná práca, LGMI, Leningrad*, 214 str.
- Podhorský, D.–Pavlik, J., 1979, *Možnosti využívania meteorologických družíc v jednotlivých smeroch činnosti Hydrometeorologického ústavu*, *Sborník referátů vědecko-technické konference*, Praha, 28–32.
- Podhorský, D., 1979, *Stav, možnosti a perspektivy využívania rádiolokačnej meteorológie pri zabezpečovaní potrieb národného hospodárstva*, *Sborník referátů vědecko-technické konference*, Praha, 33–39.
- Podhorský, D., 1981, *Kozmická a rádiolokačná meteorológia v hydrometeorologickej službe ČSSR*, *Praha, Meteorologické zprávy*, 34, 1, 1–3.
- Podhorský, D.–Tekušová, M., 1981, *Určovanie fázového stavu oblakov a zrážok pomocou depolarizačnej selekcie vysokofrekvenčného žiarenia*, *Praha, Meteorologické zprávy*, 34, 1, 8–10.
- Podhorský, D.–Vlčák, L., 1981, *Niektoré algoritmy komplexného spracovania digitálnych údajov z meteorologických družíc pre účely ASRLP*, *Praha, Meteorologické zprávy*, 34, 1, 22–24.
- Podhorský, D.–Vítek, Z., 1981, *Tvorba operatívnej banky údajov pre účely národného a regionálneho centra pre rádiolokačnú meteorológiu*, *Praha, Meteorologické zprávy*, 34, 2, 58–60.
- Podhorský, D., 1985, *Problém využitia metód diaľkovej detekcie pre potreby hydrológie a vodného hospodárstva*, *Praha, Meteorologické zprávy*, 38, 5, 134–137.

# INFORMÁCIE INFORMATION

## KONFERENCIA ERAD 2012

Od roku 2000 sa s dvojročnou pravidelnosťou koná európska konferencia o využívaní rádiolokátorov v meteorológii a hydrológii - ERAD. Táto konferencia je príležitosťou na stretnutie a odbornú diskusiu pre študentov, akademikov, výrobcov a prevádzkovateľov meteorologických rádiolokátorov a koncových užívateľov produktov rádiolokačných meraní. Jej účastníci majú možnosť získať najnovšie poznatky z oblasti rádiolokačnej meteorológie priamo od svetovo uznávaných vedeckých pracovníkov.

V poradí 7. konferencia ERAD (ERAD 2012) sa uskutočnila v dňoch 25.–29. júna 2012 vo francúzskom Toulouse. Konferenciu usporiadala francúzska meteorologická služba Météo-France v priestoroch svojho kongresového centra. Bolo na nej prítomných viac ako 400 účastníkov z 32 krajín z celého sveta, medzi nimi aj účastníci z SHMÚ - Míriam Jarošová a Ľuboslav Okon.

Konferencii predchádzali tri krátke kurzy, na ktorých sa bolo možné oboznámiť s princípmi činnosti a využitím duálne-polarizačných a dopplerovských meteorologických rádiolokátorov, ako aj rádiolokátorov pracujúcich v oblasti milimetrových vln, resp. so základnými metódami kvantitatívneho odhadu zrážok pomocou rádiolokačných meraní.

Samotnú konferenciu zahájil zástupca riaditeľa Météo-France, Olivier Bousquet, ktorý vo svojom príhovore okrem iného pripomenul úlohu Météo-France ako spoluprevádzkovateľa európskeho centra pre výmenu rádiolokačných dát Odyssey založeného v rámci projektu EUMETNET/OPERA, ktorého členom je aj SHMÚ.

Konferencia pozostávala z odborných prednášok a prezentácie posterov, ktoré boli tematicky rozdelené do nasledujúcich blokov:

- kvantitatívny odhad zrážok pomocou rádiolokačných meraní (QPE),
- meranie mikrofyzikálnych vlastností hydrometeorov
- „blačné“ rádiolokátory,
- využitie meteorologických rádiolokátorov pri riadení letovej prevádzky,

- družicové rádiolokačné merania,
- kvalita rádiolokačných dát,
- nowcasting s využitím rádiolokačných dát,
- spracovanie signálu detegovaného meteorologickými rádiolokátormi,
- siete meteorologických rádiolokátorov,
- prípadové štúdie s rádiolokačnými dátami,
- hydrologické prípadové štúdie,
- využitie rádiolokačných dát v numerických predpovedných modeloch,
- využitie dát z meteorologických rádiolokátorov mimo meteorológie a hydrológie.

Celkovo sa počas konferencie uskutočnilo 111 odborných prednášok a bolo na nej vystavených 292 posterov.

V zhode so súčasným trendom sa väčšina príspevkov zaoberala využitím údajov z meteorologických rádiolokátorov s duálne-polarizačným režimom merania. Výhodou tohto typu meteorologických rádiolokátorov, ktoré postupne v mnohých krajinách nahrádzajú operatívne rádiolokátory s jedným typom polarizácie lúča, je schopnosť rozlišovať skupenstvo detegovaných hydrometeorov, spoľahlivejšie identifikovať pozemné ciele, a umožňujú tiež s väčšou presnosťou korigovať útlm lúča rádiolokátora v intenzívnych zrážkach, čo všetko prispieva k presnejšiemu kvantitatívnemu odhadu zrážok.

Z hľadiska možnosti praktického využitia na SHMÚ boli zaujímavé prednášky o indexoch kvality rádiolokačných dát, ktorých určenie je nevyhnutné pre kvantitatívny odhad zrážok a pre asimiláciu rádiolokačných dát do numerických predpovedných modelov. Ako príklad možno uviesť prednášku Jana Szturca (Poľsko) o indexoch kvality aplikovaných na dáta z medzinárodnej siete meteorologických rádiolokátorov BALTRAD+, z ktorých niektoré sú využiteľné aj v novej verzii zrážkového modulu nowcastingového systému INCA, vyvíjanej na SHMÚ.

Postery boli na konferencii vystavované vo vyhradených priestoroch počas celého trvania konferencie, súbežne s prednáškami. Na ich prezentáciu mali autori v programe

každý deň vyhradené sekcie v čase, keď neprebíhali odborné prednášky. Na konferencii prezentovala poster venovaný histórii rádiolokačnej meteorológie na SHMÚ aj Miriam Jarošová (SHMÚ).

Všetky prezentácie z konferencie ERAD 2012 sú dostupné na internetovej stránke: <http://www.meteo.fr/cic/meetings/2012/ERAD/presentation.html> a na adrese [http://www.meteo.fr/cic/meetings/2012/ERAD/prog&abs\\_ERAD2012.pdf](http://www.meteo.fr/cic/meetings/2012/ERAD/prog&abs_ERAD2012.pdf) možno tiež nájsť webové odkazy na abstrakty z prezentovaných posterov.

Konferencia bola tiež príležitosťou na nadviazanie kontaktov a zdieľanie pracovných skúseností s prevádzkovateľmi meteorologických rádiolokátorov v zahraničí. Napríklad s účastníkmi z Českej republiky, Nemecka a Holandska bol konzultovaný postup pri eliminácii rušenia meteorologických rádiolokátorov bezdrôtovými (RLAN) spojmami. Ako vyplynulo z diskusií, pri riešení problému je nevyhnutná úzka spolupráca s národnými telekomunikačnými úradmi.

Na konferencii sa zúčastnili aj významní výrobcovia meteorologických rádiolokátorov a softvérového prísľušenstva, ktorí tu prezentovali svoje produkty a zároveň sa spolupodieľali na sponzorovaní konferencie. V stánku spoločnosti GAMIC (Nemecko) prebehlo stretnutie účastníkov z SHMÚ so zástupcami tejto spoločnosti, vrátane jej výkonného riaditeľa Martina Malkomesa. Prezentujúci zástupca spoločnosti účastníkom z SHMÚ predviedol niektoré nové funkcie riadiaceho, monitorovacieho a vizualizačného softvéru FROG-MURAN, ktorého staršia verzia sa operatívne používa na pracovných staniciach k radaru na Kojšovskej holi.

Nasledujúca 8. konferencia ERAD by sa mala konať v roku 2014 v Nemecku.

*Euboslav Okon  
SHMÚ, Bratislava*

## **NA 32. MEDZINÁRODNOM GEOGRAFICKOM KONGRESE SA PREZENTOVALI AJ KLIMATOLÓGOVIA**

V nemeckom Kolíne nad Rýnom sa v dňoch 26. – 30. augusta 2012 stretli geografi z celého sveta na svojom 32. Medzinárodnom geografickom kongrese, organizovanom pod hlavičkou Medzinárodnej geografickej únie IGU. Nemci hostili geografov kongresu IGU naposledy pred viac ako sto rokmi, a to na 7. kongrese IGU v roku 1899 v Berlíne. Mottom ostatného stretnutia bolo „Down to Earth“, na ktorom účastníci riešili aktuálne problémy, týkajúce sa ľudstva. Nad touto akciou prevzal patronát predseda Európskeho parlamentu Martin Schulz. O účasť na stretnutí bol mimoriadne veľký záujem. Do Kolína nad Rýnom prišlo približne 2400 účastníkov z viac ako 85 krajín, najviac z domáceho Nemecka, nasledovaní hosťami z Japonska, Rakúska, Číny, Francúzska, Ruska, Veľkej Británie, USA, Španielska, Poľska, ... Zo Slovenska bolo registrovaných 10 účastníkov (z SAV a niektorých univerzít). Medzi hlavných organizátorov patrili, okrem Medzinárodnej geografickej únie IGU, ešte Nemecká geografická spoločnosť

a Kolínska univerzita. Hlavná časť kongresu prebehla v priestoroch Kolínskej univerzity, ktorá je jednou z najstarších univerzít v Nemecku, založenou v roku 1388. Študoval na nej napríklad aj jeden z najvýznamnejších nemeckých politikov a prvý povojnový predseda vlády Nemeckej spolkovej republiky (kancelár) Konrad Adenauer.

Vedecký program kongresu prebiehal vo viacerých paralelne bežiacich sekciách jednotlivých tradičných výborov IGU (spolu 36 výborov, pričom v každom z nich boli aktívne viaceré sekcie). Okrem toho prebiehali ďalšie prednášky (vrátane kľúčových), posterové prezentácie, diskusie a špeciálne stretnutia ku štyrom témam, ktoré zvolil organizačný výbor kongresu ako kľúčové, a to: Globálna zmena & Globalizácia; Spoločnosť & Životné prostredie; Riziká & Konflikty; Urbanizácia & Demografické zmeny. Súčasťou kongresu boli aj Fórum mladých výskumných pracovníkov a dve didakticky zamerané sympózia, týkajúce sa využitia nových vedeckých (geografických) poznatkov v praxi (Geografia a škola; Aplikovaná geografia).

Na kongrese sa zúčastnili aj mnohí klimatológovia, predovšetkým z akademického prostredia. Sústredili sa najmä okolo tradičného vedeckého výboru „Klimatológia“, v ktorom prebiehali prednášky v nasledovných šiestich sekciách: „Zmena a variabilita klímy v rôznych priestorových a časových mierkach“, „Extrémy počasia a klímy“, „Aplikovaná klimatológia v 21. storočí“, „Potenciálne dôsledky klimatickej variability a klimatickej zmeny na poľnohospodárstvo“, „Mestská klíma“, „Klimatická zmena v stredomorskej oblasti: charakteristika, zmiernenie, adaptačné opatrenia“. Záujem bol najmä o sekciu „Zmena a variabilita klímy v rôznych priestorových a časových mierkach“, ktorú viedol profesor Nigel Tapper z austrálskej Monashovej univerzity. Tvorilo ju až šesť samostatných prednáškových blokov (v každom bloku odznali po štyri prednášky). Tu sme prezentovali aj naše výsledky, týkajúce sa aktuálnych priestorových a časových posunov klimatických pásiem na území Slovenska na konci 20. a začiatku 21. storočia (prednáška kolektívu autorov: Melo, Lapin, Kapolková, Pecho a Kružicová s názvom „Spatial and temporal shifts in climatic regions in Slovakia“). Klimatológovia boli aktívni aj v sekciách niektorých ďalších vedeckých výborov (napr. „Horská odozva na globálne zmeny“ a „Udržiateľnosť vody“) a tiež pri prednáškach a diskusiách nad kľúčovými témami kongresu („Globálna zmena & Globalizácia“ a „Spoločnosť & Životné prostredie“).

Súčasťou kongresu bolo množstvo spoločenských podujatí, ktoré pripravili organizátori. Slávnostné otvorenie kongresu (vrátane koncertu symfonického orchestra a speváckeho zboru) prebehlo v budove Kolínskej filharmónie, primátor Kolína privítal účastníkov kongresu na recepcii v historickej radnici, stretnutie pri slávnostnej večeri bolo zorganizované v budove kolínskeho pivovaru. Okrem toho organizátori pripravili viacero tematicky zameraných exkurzií v meste a jeho okolí. Nemeckým kolegom sa podarilo zorganizovať úspešné vedecké podujatie na vysokej odbornej úrovni. Oceňujem najmä precíznu organizáciu celého podujatia. Pre účastníkov boli denne k dispozícii aktuálne informácie v novinách IGC TODAY, vychádzajúce počas trvania kongresu.

Viac informácií o tomto kongrese, vrátane video záznamov prednášok kľúčových rečníkov, možno nájsť na oficiálnej stránke kongresu: <http://igc2012.org/frontend/index.php>. Zborník abstraktov (979 stranový) je dostupný na stránke: <http://www.geographie.uni-koeln.de/index.download.5017436430c3fe2a444ff091761d2ce8.pdf>.

Najbližší 33. Medzinárodný geografický kongres sa uskutoční o štyri roky (v r. 2016) v čínskom Pekingu. Ešte predtým sa bude konať Regionálna konferencia IGU 2013 v japonskom meste Kyoto, Regionálna konferencia IGU v roku 2014 v poľskom Krakove pod názvom „Changes, challenges, responsibility“, na ktorú nás v mene organizátorov tejto konferencie pozval profesor Zbigniew Ustrnul z Jagelovskej univerzity v Krakove (na kolínskom kongrese bol vedúcim sekcie „Extrémy počasia a klímy“), a potom sa ešte pripravuje Regionálna konferencia IGU 2015 v Moskve.

Marián Melo  
FMFI UK, Bratislava

## MEDZINÁRODNÁ KONFERENCIA BIOKLIMATOLÓGOV „BIOCLIMATE2012 – BIOCLIMATOLOGY OF ECOSYSTEMS“

V dňoch 29. až 31. augusta 2012 sa uskutočnila v Ústí nad Labem (na Univerzite J. E. Purkyně) ďalšia spoločná konferencia Českej a Slovenskej bioklimatologickej spoločnosti, aj tentokrát s hojnou medzinárodnou účasťou. Podľa organizátorov bolo na konferencii 81 účastníkov, z toho 36 z ČR, 23 zo SR a 22 z ostatných krajín (Litva, Maďarsko, Nemecko, Poľsko, Portugalsko a Rakúsko). Na konferencii sa zúčastnili predovšetkým odborníci a vedeckí pracovníci z univerzít a výskumných inštitúcií, ale aj z ČHMÚ a SHMÚ. Celkovo bolo prezentovaných 37 prednášok a 39 posterov (prakticky všetko v angličtine). Odborné zameranie konferencie bolo rozdelené do 4 samostatných sekcií (Variabilita mestskej klímy, Lesnícka a poľnohospodárska klimatológia, Agroekológia a zmeny klímy, fenológia a aerobiológia, Humánna bioklimatológia a zoobioklimatológia). V úvodnej plenárnej sekcii, ktorú viedol prof. J. Matschullat z TU vo Freibergu (Nemecko), prezentovali prednášky prof. A. Lopes z Univerzity v Lisabone (Portugalsko), prof. R. Pokorný z Mendlovej univerzity v Brne, dr. H. Scheifinger z ZAMG vo Viedni a prof. K. Blazejczyk z Univerzity vo Varšave.

Z konferencie bol vydaný zborník prednášok v angličtine s pozoruhodným ohlasom citácií aj v databáze WOS. Organizátori zabezpečili pre účastníkov aj zaujímavú exkurziu do miestneho pivovaru a zámku Velké Březno, ale aj stredne náročnú pešiu túru na Mezní louku a na Pravčickú bránu v neďalekom Česko-Saskom Švajčiarsku. Hlavnou organizátorkou konferencie bola dr. Lenka Hájková z ČHMÚ a Univerzity J.E. Purkyně.

Milan Lapin  
FMFI UK, Bratislava

## SÚŤAŽNÉ KONFERENCIE MLADÝCH ODBORNÍKOV V ROKU 2012

Tri konferencie mladých odborníkov (hydrológov, meteorológov a klimatológov a vodohospodárov) sa uskutočnili pod gesciou Slovenského výboru pre hydrológiu, Slovenskej meteorologickej spoločnosti a Združenia zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku.

Ďalšími organizáciami, ktoré sa podieľali na príprave konferencie boli: Katedra vodného hospodárstva krajiny SvF STU, Slovenská vodohospodárska spoločnosť a Global Water Partnership Slovensko.

Konferencie už tradične zorganizoval Slovenský hydrometeorologický ústav dňa 14. novembra 2012 a vydal elektronický zborník všetkých zaslaných prác s ISBN 978-80-88907-81-7.

Napriek tomu, že konferencie sú tri, súťaže boli po prvý raz štyri: mladých hydrológov, mladých meteorológov a klimatológov (MaK) a mladých vodohospodárov (A a B). Konferenciu mladých vodohospodárov, vzhľadom na veľký počet záujemcov, Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve na Slovensku podporilo v dvoch kategóriách.

Hodnotiace komisie jednotlivých súťaží:

### *Hydrológia*

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| RNDr. Pavol Miklánek, CSc., <i>predseda</i> | SVH        |
| prof. RNDr. Miriam Fendeková, PhD.          | PRIF UK    |
| RNDr. Gabriela Babiaková, CSc.              | dôchodkyňa |
| Ing. Lotta Blaškovičová, PhD., <i>AP</i>    | SHMÚ       |
| Ing. František Doležal Ing., CSc.,          | ČZU Praha  |
| prof. Ing. Svatopluk Matula, CSc.           | ČZU Praha  |
| Ing. Michaela Danáčová, PhD.                | SvF STU    |
| RNDr. Oľga Majerčáková, CSc.                | SHMÚ       |

### *Meteorológia a klimatológia*

|                                                |        |
|------------------------------------------------|--------|
| RNDr. Pavel Šťastný, CSc., <i>predseda, AP</i> | SHMÚ   |
| prof. RNDr. Milan Lapin, PhD.                  | MFF UK |
| doc. RNDr. Martin Gera, PhD.                   | MFF UK |
| RNDr. Pavel Faško, CSc.                        | SHMÚ   |
| Mgr. Miriam Jarošová                           | SHMÚ   |

### *Vodné hospodárstvo, sekcia A*

|                                       |          |
|---------------------------------------|----------|
| Ing. Vladimír Holčík, <i>predseda</i> | dôchodca |
| Ing. Mária Richnovská                 | ZZVH     |
| Ing. Mária Martincová                 | SVP      |
| Ing. Ingrid Kušnířaková, <i>AP</i>    | SVP      |
| Ing. Martin Rybář, <i>AP</i>          | SVP      |

### *Vodné hospodárstvo, sekcia B*

|                                             |         |
|---------------------------------------------|---------|
| Ing. Pavel Hucko, CSc., <i>predseda, AP</i> | VÚVH    |
| doc. Ing. Ján Ilavský, PhD.                 | SvF STU |
| Ing. Lea Mrařková, PhD.                     | SHMÚ    |

*AP - anonymné posúdenie*

Ocenené práce a ich autorov uvádzame bez udania poradia, podľa abecedy:

### **Hydrológia**

- Ducháček Libor  
*Vertikální variabilita polohy nulové izochiony v rámci geomorfologických oblastí české republiky*
- Macurová Zuzana  
*Vplyv zmeny klímy na výskyt extrémnych prietokov na povodí Váhu*
- Rodný Marek, Lukowski Mateusz  
*Využitie indexu sucha pri modelovaní dynamiky zásob vody v pôde*

### **Meteorológia a klimatológia**

- Švec Marek  
*Využitie produktov meteorologických družíc pri tvorbe pola teploty vzduchu na území Slovenska*
- Výleta Roman  
*Vplyv výberu metódy odhadu parametrov Markovovho modelu prvého rádu na simuláciu denných úhrnov zrážok*
- Zechelová Karolína  
*Škálovanie krátkodobých úhrnov zrážok vo vybraných zrážkomerných staniciach Slovenska*

### **Vodné hospodárstvo, sekcia A**

- Brouček Miroslav  
*The impact of groundwater change due to channel improvement on soil-structure interaction*

- Palkovičová Andrea  
*Vplyv havarijného odstavenia vodnej elektrárne Gabčíkovo na hladinový režim Dunaja*
- Šulc Dalibor  
*Vyhodnocení experimentálních dat intenzivního chodu splavenin v otevřených korytech*

### **Vodné hospodárstvo, sekcia B**

- Czölderová Marianna, Valičková Mária  
*Odstraňovanie vybraných prioritných látok z vôd*
- Juričeková Katarína  
*Vplyv topografického faktora na odhad straty pôdy v povodí*
- Pálinská Zuzana, Pindjaková Tatiana  
*Interakcia povrchových a podzemných vôd na odvodňovacích kanáloch VSN*

Hodnotiace komisie konštatovali, že súťaž bola veľmi vyrovnaná, výber víťazných prác pomerne náročný. Organizátori konferencií otvorili diskusiu ku všetkým prácam do 10 dní prostredníctvom internetu. Účastníci konferencií však túto možnosť nevyužili, zrejme tradičná forma súťaží vyhovuje najlepšie. Pravdepodobne sa s viacerými súťažnými prácami stretneme aj na stránkach odborných periodík.

Napokon ďakujeme všetkým súťažiacim za vyrovnanú a čestnú súťaž a víhercom srdečne blahoželáme.

Olga Majerčáková  
SHMÚ, Bratislava

# PERSONÁLIE

## PERSONALS

### **Doc. RNDr. FERDINAND ŠAMAJ, DrSc., UŽ NIE JE MEDZI NAMI**

Dňa 8. septembra 2012 náhle zomrel v Bratislave vo veku nedožitých 81 rokov dlhoročný riaditeľ Slovenského hydrometeorologického ústavu a jedna z najvýznamnejších osobností slovenskej a československej meteorológie, klimatológie a hydrológie, doc. RNDr. Ferdinand Šamaj, DrSc. Keď sme sa s ním stretli pred necelým rokom pri príležitosti osláv jeho osemdesiatych narodenín, bol v relatívne dobrej fyzickej a psychickej kondícii a hovoril o svojich plánoch v najbližších rokoch. O to bolestnejšie sa nás dotkla nečakaná správa o jeho úmrtí.

Narodil sa 9. novembra 1931 v Trnave. Po absolvovaní učiteľskej akadémie a dvojročnom pôsobení na národnej škole na východnom Slovensku vyštudoval na Prírodovedeckej fakulte Univerzity Komenského v Bratislave špecializáciu hydrológia a klimatológia v roku 1957. Diplomovú prácu napísal na tému Denný chod zrážok na nížinách a na horách. Odvtedy sa otázky atmosférických zrážok a hydrologickej bilancie stali dominantnými v celej jeho profesionálnej kariére. Zostal pracovať na katedre u profesora Mikuláša Končeka ako asistent, a už v roku 1963 obhájil vedeckú aspirantúru v problematike Zrážkové pomery Vysokých Tatier a v roku 1964 sa habilitoval za docenta.

Jeho odborné a organizačné schopnosti boli verejne známe, a preto nebolo žiadnym prekvapením, že bol 1. januára 1969 vymenovaný za riaditeľa novovzniknutého Slovenského hydrometeorologického ústavu. Napriek tomu, že nastúpil na vysokú funkciu na začiatku obdobia tzv. normalizácie, nemožno ho považovať za „normalizačného“ riaditeľa, pretože jeho miesto nesúviselo s víťazstvom nových mocenských štruktúr. Naopak. Do funkcie nastúpil v dôsledku predchádzajúceho politického uvoľnenia v roku 1968, ktoré prispelo ku vzniku federalizácie Československa a tým aj samostatného SHMÚ a umožnilo vystriedať nekvalifikované „robotnícke“ kádre ľuďmi so zodpovedajúcim vzdelaním. Docent Šamaj presne spĺňal podmienku, ktorá bola zakotvená už v stanovách Československého

štátneho ústavu meteorologického z roku 1919, a to, že na čele meteorologického ústavu stojí riaditeľ, ktorým sa môže stať iba vedecky činný pracovník.

Doc. Šamaj aj počas svojho pôsobenia v hydrometeorologickej službe naďalej prednášal niekoľko predmetov na Prírodovedeckej a Matematicko-fyzikálnej fakulte UK a bol aj členom komisie pre udeľovanie vedeckých hodností CSc. až do roku 1996.

Nezaostával ani v odbornom raste. V roku 1978 obhájil vedecký titul DrSc. na tému Spracovanie atmosférických zrážok na Slovensku v období 1881–1970 na základe rekonštrukcie zrážkových meraní z 214 staníc na Slovensku, v roku 1973 publikoval monografiu Intenzity zrážok na Slovensku spolu s dr. Š. Valovičom, v roku 1974 kapitolu Zrážkové pomery v diele Klíma Tatier spolu s K. Chomicom, v roku 1979 kapitolu Zrážkové pomery v monografii Klíma a bioklíma Bratislavy a v roku 2001 (už na dôchodku) spracoval Dejiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku spolu s K. Krškom. Napísal približne 200 vedeckých, koncepčných a popularizačných publikácií. Dvadsať rokov bol koordinátorom československej štátnej výskumnej úlohy Poveternostné deje a ich vzťah k hydrologickým procesom.

V riadiacej funkcii uplatňoval široký rozhľad a schopnosť usmerňovať všetky odborné činnosti SHMÚ. Uprednostňoval modernizáciu a personálne posilnenie pracovísk schopnými mladými a ambicióznymi zamestnancami. Zaslúžil sa o to, že SHMÚ intenzívne spolupracoval s viacerými domácimi vedeckými a odbornými inštitúciami vo výmene údajov a informácií a pri výchove perspektívnych pracovníkov. Zakrátko sa SHMÚ stal uznávanou odbornou a vedeckou inštitúciou nielen na Slovensku, ale aj v zahraničí.

Rozvinuli sa také nové činnosti, ako využitie modernej výpočtovej techniky a databázových systémov, radarovej a satelitnej meteorológie. Rozšíril sa monitoring a výskum kvality ovzdušia a neskôr aj kvality vody, postavili sa nové budovy a inštalovala moderná technológia, vrátane automatizovaných systémov merania. SHMÚ sa zapojil do celoštátnych domácich a medzinárodných vedeckých projektov.

Dve zásluhy doc. Šamaja treba osobitne vyzdvihnúť:

- Podporoval každého, kto mal záujem o rozvoj odboru a o svoj odborný rast, umožňoval stáť mladých odborníkov na svetovo významných pracoviskách. V zložitom období normalizácie sa zaslúžil o to, že viacerí dobrí odborníci, ktorí museli opustiť armádu a iné pracoviská z politických dôvodov, dostali možnosť pracovať v SHMÚ na zodpovedajúcich pozíciách;
- Bol si vedomý významu prezentácie výsledkov vedecko-výskumných činností, a preto podporoval publikačnú činnosť bádateľov SHMÚ, priamo vyžadoval písomný prejav od pracovníkov nielen na výskumných funkciách, ale aj od zamestnancov v prevádzkovej činnosti. Za časov jeho riadenia vychádzali početné zborníky prác obsahujúce závery oponovaných výskumných úloh a referátov z konferencií a seminárov.

Doc. Šamaj mal zmysel a cit pre usporiadania odborných a spoločenských podujatí. Pravidelne sa zúčastňoval na rôznych odborných konferenciách a poradách, mnohokrát so zahraničnou účasťou. Medzinárodné vzťahy udržiaval aj prostredníctvom organizovania takých podujatí, ako boli československo-maďarské konferencie a konferencie o klíme Karpát, čulé kontakty udržiaval aj s poľskou meteorologickou a hydrologickou službou, obnovil kontakty s rakúskou, nemeckou a švajčiarskou meteorologickou službou.

Doc. Šamaj bol členom viacerých vedeckých a redakčných rád doma a v zahraničí, dlhé obdobie bol predsedom Slovenskej meteorologickej spoločnosti pri SAV a podpredsedom Československej meteorologickej spoločnosti. Bol tiež dlhý čas československým zástupcom v Svetovej meteorologickej organizácii v Ženeve. Pracovníci Českého hydrometeorologického ústavu a iných českých ustanovizní sú mu vďační za priateľský vzťah, ochotu k spolupráci, za ústretovosť a všetky jeho námety a návrhy, ktoré sa využívali pri plnení spoločných alebo podobných úloh. Zaujímavé boli aj jeho aktivity pri organizovaní športových hier pracovníkov ČHMÚ a SHMÚ a tzv. Večerov pracovnej slávy.

Vážený pán docent, drahý Ferko, krutá smrť prekazila Tvoje plány a priniesla smútok do našich srdiec. Výsledky Tvojej celoživotnej práce však zostávajú na široké využitie pre ďalšie generácie odborníkov. Budeme spomínať na Teba s úctou a uznaním. Česť tvojej pamiatke!

*Milan Lapin a Karel Krška*

## Akademik prof. Dr. Ing. OTO DUB, DrSc.

11. októbra 2012 sme si pripomenuli 110 výročie narodenia významnej osobnosti slovenskej hydrológie a vodného hospodárstva akademika Ota Duba. Pri tejto príležitosti zopakujeme niekoľko míľnikov z jeho životopisu.

Narodil sa v Uhlířských Janovicích v roku 1902. Študoval v Prahe na Stavebnej fakulte ČVUT, odbor vodohospodársky a kultúrny. V rokoch 1926–1928 pôsobil v Prahe na Ministerstve verejných prác. Potom sa natrvalo presťahoval do Bratislavy a bol zamestnaný na Krajskom úrade, na hydrografickom oddelení. V rokoch 1938 až 1945 pôsobil na Hydrometeorologickom ústave a v rokoch 1946–1951 na Štátnom hydrologickom ústave, kde bol riaditeľom.

V rokoch 1951–1952 inicioval založenie Výskumného ústavu vodohospodárskeho a bol jeho prvým riaditeľom. Potom prešiel na Vysokú školu technickú, kde bol v rokoch 1953–1967 vedúci Katedry hydromeliorácií (v rokoch 1951–1956 bol dekanom Fakulty inžinierskeho staviteľstva, 1953–1963 bol prvým (externým) riaditeľom Ústavu hydrológie a hydrauliky SAV a v rokoch 1958–1965 členom Predsedníctva SAV (v rokoch 1958–1961 bol 1. podpredsedom SAV). Doposiaľ na rozdelení kompetencií v oblasti hydrológie a vodného hospodárstva medzi pracoviská vedecké, výskumné, školské a praktické je vidno jeho rukopis a zároveň možno dodnes s obdivom a uznaním kvitovať základy, ktoré týmto vedným disciplinám položil.

Rovnako zanietené, ako sa venoval organizátorskej práci, venoval sa aj osobnému vedeckému rastu: v roku 1950 – doktor techniky, v roku 1956 – doktor vied, v roku 1951 – profesor SVŠT, v roku 1953 bol zvolený za člena korešpondenta SAV a v roku 1955 za akademika SAV. V roku 1960 bol zvolený za člena korešpondenta ČSAV a o osem rokov neskôr za akademika ČSAV.

Z množstva jeho odborných prác pripomíname jeho hlavné diela:

- Režim veľkých vôd na malých tokoch,
- Limnológia – hydrológia jazier a barín,
- Intenzita erózie a jej stanovenie hydrologickými metódami,
- Všeobecná hydrológia Slovenska,
- Hydrológia, Hydrografia, Hydrometria,
- Klasifikácia československých tokov,
- Nepriame určenie priemerného odtoku,
- Rajonizácia tokov podľa ich režimu malých prietokov,
- spoluúčasť na publikácii Hydrologické pomery ČSSR a na normotvornej činnosti.

Z ďalších aktivít akademika Duba vyberáme: bol predseda Vedeckej rady Povereníctva lesného a vodného hospodárstva, predseda Národného výboru Medzinárodnej hydrologickej dekády, predseda terminologickej komisie SAVU a SAV, vedecký redaktor Vodohospodárskeho časopisu SAV a dlhoročný predseda Československého výboru pre hydrológiu.

Počas aktívneho profesijného života získal mnohé ocenenia, z nich uvádzame tie najdôležitejšie: Rad republiky, Rad práce, Rad SNP, zlatá medaila ČSAV Za zásluhy o vedu a ľudstvo, zlatá čestná plaketa ČSAV St. Bechyně Za zásluhy v technických vedách, zlatá medaila SAV a zlatá medaila SVŠT.

Pri príležitosti stého výročia jeho narodenia jeho žiaci a nasledovníci založili dve tradície. Prvá sa viaže na Stavebnú fakultu STU, na študijný odbor Vodné stavby a vodné hospodárstvo. Je to odovzdávanie Plakety akademika Duba za významný prínos k výskumu, výchove a pedagogickej činnosti v hydrológii a vodnom hospodárstve. Druhú tradíciu založilo Združenie zamestnávateľov vo vodnom hospodárstve, ktoré počnúc rokom 2002 usporadúva súťažné konferencie mladých vodohospodárov. Obidve tieto tradície získali svoju vážnosť a popularitu v odbornej komunite a každoročne pripomínajú aj mladšej generácii významný prínos akademika Ota Duba.

*Ol'ga Majerčáková, SHMÚ, Bratislava*