

PA-20/c

DRUŠTVO METEOROLOGOV SLOVENIJE

SLOVENIAN METEOROLOGICAL SOCIETY

&

HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD REPUBLIKE SLOVENIJE

HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE OF SLOVENIA

RAZPRAVE

PAPERS

LETNIK 31

ŠT. 1

ISSN 0352-1559

* RAZPRAVE-PAPERS * LETNIK 31 * ŠT. 1 * STR. 1-80 *

LJUBLJANA-DECEMBER 1994

DRUŠTVO METEOROLOGOV SLOVENIJE
SLOVENIAN METEOROLOGICAL SOCIETY
&
HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD REPUBLIKE SLOVENIJE
HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE OF SLOVENIA

RAZPRAVE

PAPERS

LETNIK 31 ŠT. 1

Vsebina Contents	Stran Page
<i>M. Trontelj</i> Besede urednika	3
<i>J. Rakovec</i> The Time Evolution of Cb Clouds in Northeastern Slovenia	5
<i>M. Divjak</i> Radarsko merjenje padavin: Uporaba vertikalnih profilov odbojnosti	21
<i>A. Sušnik</i> Uporabnost raznih metod prikaza fenološkega razvoja koruze (<i>Zea Mays</i> L.) za Slovenijo	27
<i>A. Žust</i> Zveze med dolžinami medfaznih obdobij vinske trte (<i>Vitis vinifera</i>) in vsotami temperatur nad izbranimi temperaturnimi pragovi v Sloveniji	41
<i>C. Zrnec</i> Značilnosti cvetenja nekaterih vrst rastlin in njihova uporabnost v agrometeorologiji	51
<i>B. Lalić</i> Visokovodni valovi v odvisnosti od padavin, vegetacije in predhodne namočenosti za reko Savinjo	61
<i>S. Žlebir</i> Avtomatizacija meteoroloških meritev na letališču Ljubljana-Brnik	75

HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD RS
L J U B L J A N A
KNJIŽNICA

Inv. št. 123-1998
Sign. PA 201a

THE TIME EVOLUTION OF Cb CLOUDS IN NORTHEASTERN SLOVENIA

Jože RAKOVEC

Department of Physics, University of Ljubljana and Hydrometeorological Institute of Slovenia Ljubljana (Slovenia)

SUMMARY

Radar data collected with two radars over two periods (i.e. 10 cm radar for the 1975-1981 and the 5 cm radar for the 1985-1986 period) were used for statistical examination of some characteristics of Cb- clouds in north-eastern Slovenia. Time dependences were studied to follow the time evolution (the development and the decay) of these clouds. Typically one third to one half of the final intensity of the cloud (height, diameter, solid/liquid water content) was achieved in the last half hour before the maximum intensity and decay from the maximum exhibited approx. the same time rate. From one half to three quarters of the variance in the data can be attributed to the time process of growth or decay; the rest of the variance can not be connected with time evolution.

POVZETEK

V okviru operativne, nerandomizirane obrambe pred točo v Sloveniji sta bila pridobljena dva niza radarskih podatkov za dve obdobji: z 10 cm radarjem na Žikarcah v letih 1975-1981 in 5 cm radarjem na Lisci v letih 1985-1986. Ti podatki so klimatološko obdelani in iz njih so razvidne nekatere karakteristike Cb oblakov severovzhodni Sloveniji. Tabela 1 prikazuje osnovne statistične karakteristike oblakov: njihove višine H , premera D , višine najmočnejše radarske odbojnosti $H(Z_{max})$ in vrednost te odbojnosti Z_{max} , ter vremenskih parametrov, ob katerih so se oblaki razvijali, hitrosti in smeri vetra v srednji troposferi, vetrovnega striženja med 850 in 500 mbar ter Showalterjevega indeksa stabilnosti. Ker se oblaki med seboj lahko močno razlikujejo, so vrednosti, ki jih obravnavamo, normirane glede na največjo vrednost za posamezni oblak. S to normalizacijo ugotovimo (tabela 2 in slike 1 do 4), da se oblaki tipično razvijajo tako, da okrog tretjine do polovice končne velikosti, premera, vodnosti (t.j. tekoče in/ali trdne vode v oblakih, kot jo ocenimo iz radarske odbojnosti) pridobijo v zadnje pol ure, preden te

količine dosežejo največje vrednosti. Upadanje intenzivnosti poteka približno enako hitro. Okrog pol do dve tretjini variance v podatkih lahko razložimo z omenjenim časovnim razvojem oblakov, preostala varianca pa ni v zvezi s časovnim razvojem.

1. INTRODUCTION

Slovenia is a prealpine country between the Gulf of Trieste, the Julian Alps and the flat Panonian basin. It is among the most stormy regions of Europe, with an average number of thunderstorm days observed at meteorological stations exceeding 50 events per year. Maximum thunderstorm activity occurs along the Alpine-Dinaric ridge, separating the Mediterranean and the more continental, central parts of Slovenia (Petkovšek 1987, Rink 1988).

Due to numerous storms, and due to optimistic reports from other countries, hail suppression activity was also established in the seventies in Slovenia in the region of southern Styria close to the Austrian and Hungarian borders. On average more than one day per year with hail has been recorded at meteorological stations in this region, and more than five days per year in extreme years (Kajfež- Bogataj and Rakovec, 1988). Initially the suppression was carried out with simplified radar support. In those first years clouds were observed with a 10 cm radar without computer support. Later a new meteorological 5 cm radar was installed and equipped with computer software for weather monitoring and for hail suppression purposes.

To determine the criteria for cloud seeding with AgI bearing rockets, in the 1975-81 period the height of the maximum radar reflectivity zone and the cloud height were measured. Later, in the 1985-86 period, when the 5 cm radar was installed, the criterion was based on the position of the 45 dBZ value of radar reflectivity. Data based on these criteria were archived, and this data set was used for the present study. The details of the suppression system are described by Lemut (1989).

In 1987-1988 a study of the efficiency of this system was carried out using the data sets which were available for such an evaluation. Four types of data were examined, i.e. pluviographic data, data on days with thunderstorms, radar data, and the insurance company data on damage to agriculture. The appropriate hypotheses of the possible beneficial effect of suppression activity on these hail describing variables were tested. The study could not confirm the efficacy of the hail suppression system with any acceptable statistical significance (Rakovec et al. 1990).

In the present paper the time dependence of some cloud variables was studied as deduced from the available radar data for the 1975-1986 period. Due to the statistically nonsignificant difference between the seeded and nonseeded cloud cells, all the data are treated here as belonging to a unique sample set.

2. THE DATA

The data were sampled from the archives of the hail suppression system, in general only for the warm part of the year. Two criteria for including the data into the present study were used:

1. the cloud was so well developed (as regards its height, diameter, radar reflectivity) that it could be hail producing according to seeding criteria, and

2. at least four consecutive measurements were effected for each separate cloud (cloud cell), in this way forming a time dependent data sample (time series) of cloud characteristics.

With the data obtained with the 10 cm 3 MK-7 radar at Žikarce, 166 such clouds (or cloud cells) on 82 separate days were found in the archives for the 7-year period 1975-1981. Due to various reasons (in general due to prohibition from the air traffic control authorities), not all of these clouds were seeded: 91 of them were seeded and 75 were "natural" - i.e. unseeded. The study already mentioned (Rakovec et al., 1990) could not confirm that these two classes differed significantly, so here we are looking on all the data together. For each of the 1098 measurements at irregular time intervals the following variables were used:

a) cloud parameters:

- height of the cloud H as seen on the radar with a minimal discernable signal of -95 dBm.
- horizontal size (diameter) of the cloud D determined as the area inside the contour of reflectivity $Z = Z_{max} - 10 \text{ dBm}$
- height of the zone of maximum reflectivity $H(Z_{max})$
- maximum reflectivity Z_{max} , measured in dBm, without the range correction.

b) weather variables

- wind velocity at 500 mbar
- wind direction at 500 mbar

- wind velocity difference 500 mbar - 850 mbar
- wind direction difference 500 mbar - 850 mbar
- SSI instability index: the difference between the temperature at 500 mbar and the computed temperature of the air parcel originating at 850 mbar, being lifted adiabatically to the 500 mbar (with possible condensation process, if appropriate)
- type of cloud (frontal or non-frontal), deduced from synoptic charts subjectively, but according to criteria determined in advance.

c) time variables

- day of the year
- hour of the day.

Meteorological EEC WR 100-2/77 5 cm radar was installed in autumn 1981; in 1983 it was moved to a new location at Lisca, equipped with computer software, and in 1985 new criteria for seeding were introduced operationally. So for the 2-year period 1985-86 44 clouds on 16 separate days which corresponded to the two above mentioned criteria for inclusion in our data set were indentified in the archives. For these clouds (cells) 295 measurements were effected (163 for 22 seeded and 132 for 22 unseeded cells), again in unequal time intervals. Here the data were the same as for the 1975-1981 10 cm radar data set except for the cloud parameters (which were changed according to the new seeding criteria):

a) cloud parameters

- horizontal size (diameter) of the cloud D was defined by the contour of 35 dBZ reflectivity
- maximum radar reflectivity Z_{max} in dBZ, measured in the 1 km deep CAPPI layer with the base at level 1.4 km above the height of the 0 deg C isotherm.

b) and c) are the same as for the 1975-1981 period.

3. BASIC STATISTICS ON WEATHER PARAMETERS AND ON Cb CLOUDS

The data are mainly from the warm period of the year: from the beginning of May to the end of September, when also most thunderstorms occur in Slovenia: in the long-term average of 1951-1986 approx. 30 days with thunderstorms per year were observed at meteorological stations in the area of interest and almost all are from May to Sept. (Rink, 1988). Some examples: at the synoptic station in Maribor 36 thunderstorms per year, 32 of which occur from May to Sept., at some other stations 25:22, 27:25, 30:26, etc. We can say that the most relevant time periods for the evolution of Cb clouds are included in our data set.

Table 1 shows mean values of the variables for the two data sets. From these (and from other statistical characteristics of the distributions which are not presented here in detail) it is possible to describe the general behaviour of the cloud cells considered.

Table 1: Mean values of cloud, weather and time variables

Tabela 1: Povprečne vrednosti karakteristik oblakov, vremena in časa

	10 cm radar data Žikarce (1975-81)	5 cm radar data Lisca (1985-86)
H height of cloud (km)	7.5	-
D diameter of cloud (km)*	4.9*	7.7*
H(Z_{max}) height of max. refl. (km)	2.8	-
Z_{max} max. reflectivity (dBm or dBZ)*	44.6*	45.4*
No. of frontal cloud cells	64 (39%)	25 (57%)
No. of non-frontal cloud cells	102 (61%)	19 (43%)
wind velocity 500 mbar (m/s)	13.3	12.7
wind direction 500 mbar (deg)	255	241
velocity diff 500-850 mbar (m/s)	5.5	6.2
direction diff. 500-850 mbar (deg)	-3.7	2.2
SSI stability index (°C)	0.9	0.5
day in year	191	182
hour in a day	15.2	16.3

* Values for 10 cm and for 5 cm radar data are not fully comparable, not only due to different wavelenths but also as the diameters of clouds are in the first case determined using the Z_{max} - 10dBm contour, and in the second case the 35 dBZ contour; Z_{max} in the first case is in dBm, and in the second case in dBZ.

3.1 THE CLOUD CELLS OBSERVED WITH THE 10 cm RADAR AT ŽIKARCE

Table 1 shows that Cb clouds most frequently occur in the afternoon, but they were also observed at all other hours of the day, except for some hours after midnight. Most of these clouds develop with the tropospheric flow from the western quadrant: the mean direction at 500 mbar is 255 degrees, with a mode at the 280 degrees direction, but many other directions were also observed: the standard deviation of direction reaches almost 70 degrees. As Slovenia lies in the lee of the Alps, average winds are not strong. Such characteristics are also present in our data set: 3/4 of the winds connected with Cb clouds did not exceed 15 m/s at the 500 mbar level. There are more non-frontal clouds than frontal ones: 102 against 64.

An important factor as regards the development of clouds is hydrostatic instability, as can be deduced from radiosoundings, presented here by Showalter's SSI index. An earlier investigation showed that in Slovenia thunderstorms are expected to develop if the SSI value is smaller than 3 °C (Žitnik, 1970). In our data set the mean value of SSI for all cells together is only 0.94 °C and 3/4 of all cases have an SSI value less than 3 °C. Thus Žitnik's criterion was proved to be quite acceptable.

It is known that wind shear contributes to the severity of thunderstorm clouds, especially veering in the subcloud region is positively correlated with severity (e.g. Barnes and Newton, 1982). Our data do not enable the determination of wind shear in the subcloud region, but as regards general shear in the lower troposphere, 40% of the data were collected during backing and 50% with veering (as deduced from the 500 mbar - 850 mbar wind direction difference). In most cases the velocity increased with height: the mean velocity at 850 mbar was 6.5 m/s and 13.3 m/s at 500 mbar.

The mean height of the top of the cloud was 7.5 km, but an extreme height of H(Cl) of 15 km was measured as well (most probably due to anomalous radar beam propagation). The horizontal sizes of clouds D varied from 1 to 18 km, the mean value being 4.9 km. Maximum reflectivity Zmax - representing the maximum value of the solid and/or liquid water content in the cloud - did not occur at very high levels: the mean value of the top of the maximum reflectivity zone, again for all cells together, was at 2.8 km, but a height of H(Zmax) up to 8.5 km can also be found. The values of Zmax (not absolutely calibrated) were between 8 and 72 dBm, with a mean value of 44.6 dBm.

3.2 THE CLOUD CELLS OBSERVED WITH 5 cm RADAR AT LISCA

In the years 1985-1986 only 44 cells corresponding to our criteria were measured on 16 different days. The data are again from the beginning of May to the end of September, but as only two years are taken into consideration, the data do not cover the whole period: e.g. there are no data from mid- August on. Most data are for afternoon hours: the mean hour is between 4 and 5 p.m., mode being at 5 p.m., missing are the early hours between 1 and 9 a.m.

It is again possible to conclude that most thunderstorm cells are observed with a general air flow from the western quadrant and only a minority of them with an easterly flow, with the velocity at the 500 mbar level being below 15 m/s in almost all cases. More frontal (25) than non-frontal (19) clouds were measured.

For 90% of the collected data the SSI index was less than 3 °C. The generally low tropospheric wind shear, as determined from the 500 mbar - 850 mbar wind, shows that veering slightly prevails over backing for all cells together. The velocity difference between these two levels was in general less than 10 m/s; only on one particular day were four cells measured with a strong velocity shear of 25 m/s. On two different days clouds developed with a wind weaker at the 500 mbar than at the 850 mbar level.

The size of the clouds, determined here as the size of the area inside the 35 dBZ contour, varied from 2 km to 22 km. The mean value was 7.7 km and the modal value 6 km. Maximum reflectivities Zmax were between 31 and 68 dBZ, with a mean value at 45.4 dBZ and the mode at 40 dBZ. The distribution was skewed to lower values.

4. THE TIME EVOLUTION OF THE CLOUD PARAMETERS

It is known that thunderstorm clouds have different durations: the air-mass storms have a life cycle of 20 to 40 minutes (Rogers, 1976), multicell or supercell storms can last for hours (Barnes and Newton, 1982). Here we are trying to determine the typical duration, and typical time evolution of Cb clouds as can be detected from the data measured by radar. Our intention was to study the growth of clouds to their maximum height, diameter, reflectivity, and their decay after the maxima are reached.

Our present investigation is somewhat similar to the one by Waldvogel and Schieser (1985) who tested the eventual change of kinetic energy of hydrometeors, computed from the radar reflectivity of clouds, before and after seeding for part of the Grossversuch data set. For all seeding events they could not confirm the hypothesis that after a certain delay following seeding (in which AgI should begin to act) the kinetic energy diminishes for a certain time interval (for which the beneficial effect should last). Only for the subset of seedings with the so called successful rockets was a rather significant reduction of kinetic

energy found, which begins 5 minutes after seeding and lasts for 10 minutes. In this subcase the effect was noticeable altogether for 15 minutes after seeding.

As cloud cells characteristics change rapidly in time it is desirable to have many measurements at short time intervals. To see how sensitive our data sets are to the relatively scarce sampling, some computations of regressions (which we describe later in this section) were repeated for data sets with more data in the time series for each cell: not only 4 but at least 6, or 8 or 10 data for each cell. The results for almost all slope regression coefficients (more than 90% of them) are within the same confidence interval as computed for the original data sets (with at least 4 data per cell). So more rigorous data sets (at least 6, or at least 8 or 10 data in a time series for an individual cloud cell) do not offer statistically substantially different results. Of course, in a single case study dense sampling is more crucial than in our case of looking for the statistical behaviour of all clouds together.

The time dependencies of the cloud parameters and the regressions for the time before and after the maximum value is reached are presented in Figs. 1 to 4 (a- original data, upper parts of figures, and b- normalized data, lower parts). Normalisation here supposes that all the data for one individual cloud cell are divided by the maximum value in the time series for that cell. So the normalised values increase to the value 1 at the maximum and then decrease from unity. In this way all the data sets are unified into one sample of similar growths and decays.

The individual growths and decays are plotted for broader time intervals, while the regression lines are computed only for half hour intervals before and after the maximum. So the regression lines are not valid outside the (-30,+30) minute time intervals, but they are nevertheless plotted because inside the mentioned interval they are covered by individual lines and so invisible. The regression coefficients (which for the normalised variables necessarily pass through the point of origin: 0,1) are included in the figures, as well as the coefficient of determination R^2 .

Generally one can say that scattering for all parameters is rather large, especially for the original data sets. There are great variations inside the data for separate cloud cells, but the clouds also differ very much in size and intensity. So the regressions are not strong: the coefficient of determination R^2 is in general below the value of 0.10 for original data.

In the case of the normalized data for all parameters the regression computations search for only one coefficient of linear regression (while the constant has the value one with a fixed intercept at the origin: 0,1), e.g. for height $H=B(t-t_0)$. The model for non-normalized data is different; again e.g. for height H we search for regression $H=A+B(t-t_0)$. So the values of R^2 cannot be compared in the two cases.

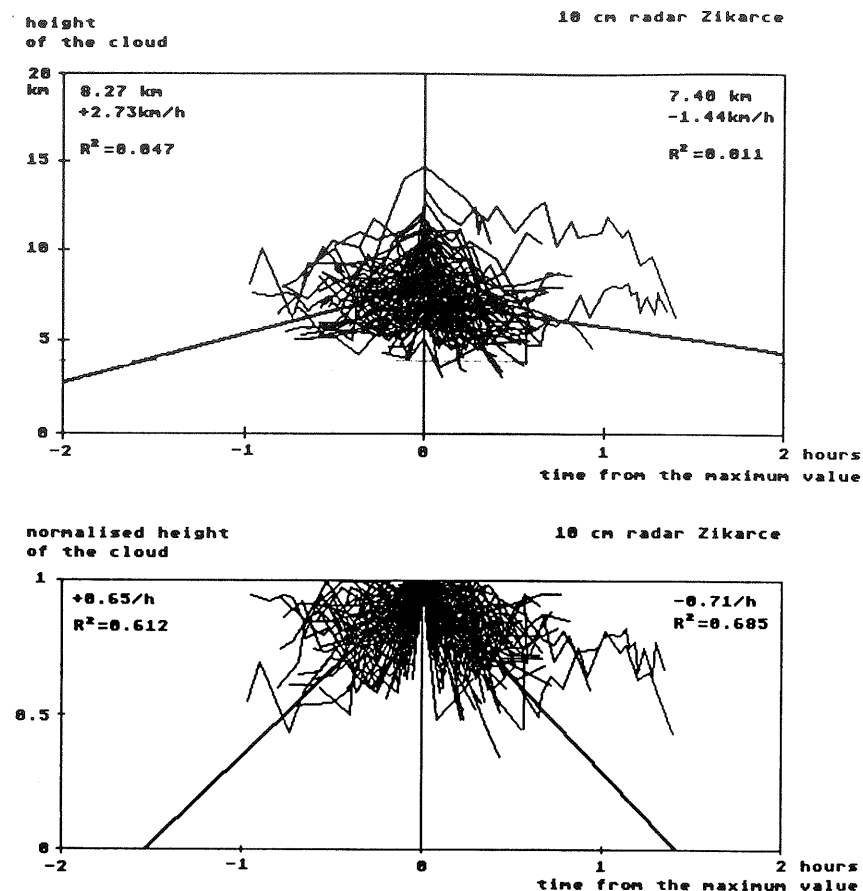


Figure 1: Time dependence of the heights of clouds, measured with 10 cm radar (1975-81) according to the time when the maximum was observed, together with the linear regression lines and regression data 30 min before and after the maximum (outside the -30,+30 minutes time interval these lines are not valid but are drawn because inside this interval they are covered by individual lines). a - upper part of the figure: original data, b - lower part of the figure: normalised data.

Slika 1: Časovni potek višin oblakov H , merjenih z 10 cm radarjem (1975-81), glede na čas, ko je bila dosežena največja višina, skupaj z linearnimi regresijami (regresijske premice in regresijski podatki) za čas 30 min pred maksimumom in po njem. Za čas pred in po njem (t.j. zunaj -30, +30 min intervala) regresije ne veljajo, so pa črte narisane zaradi preglednosti, kajti znotraj tega intervala jih prekrivajo črte individualnih potekov); a - zgoraj: originalni podatki, b - spodaj: normalizirani podatki.

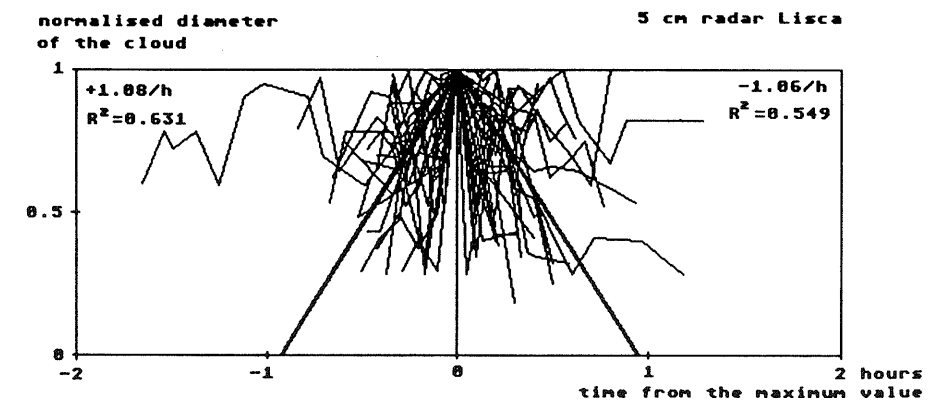
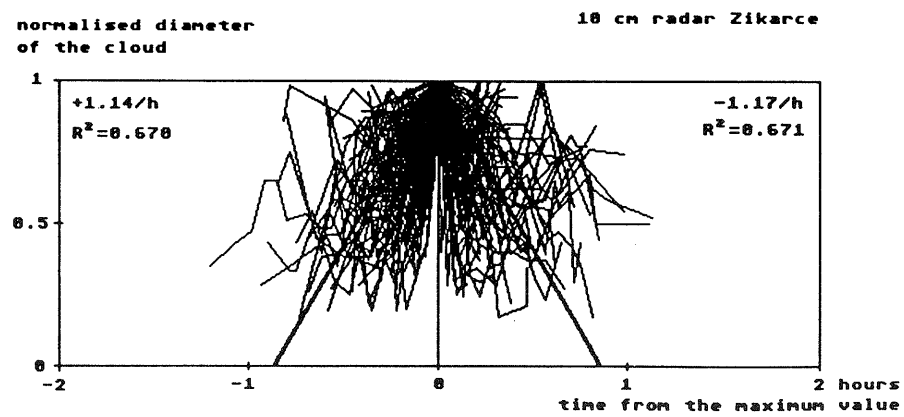
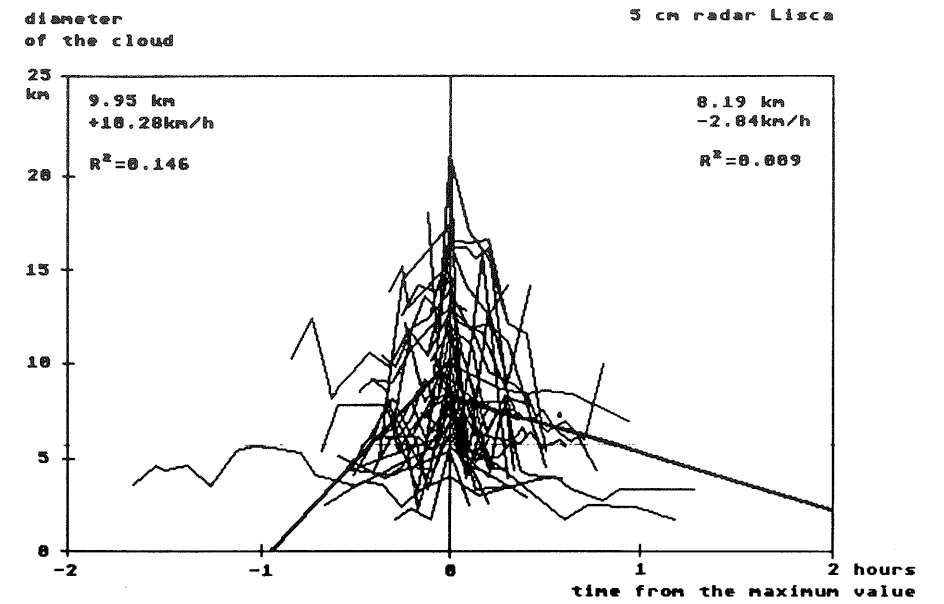
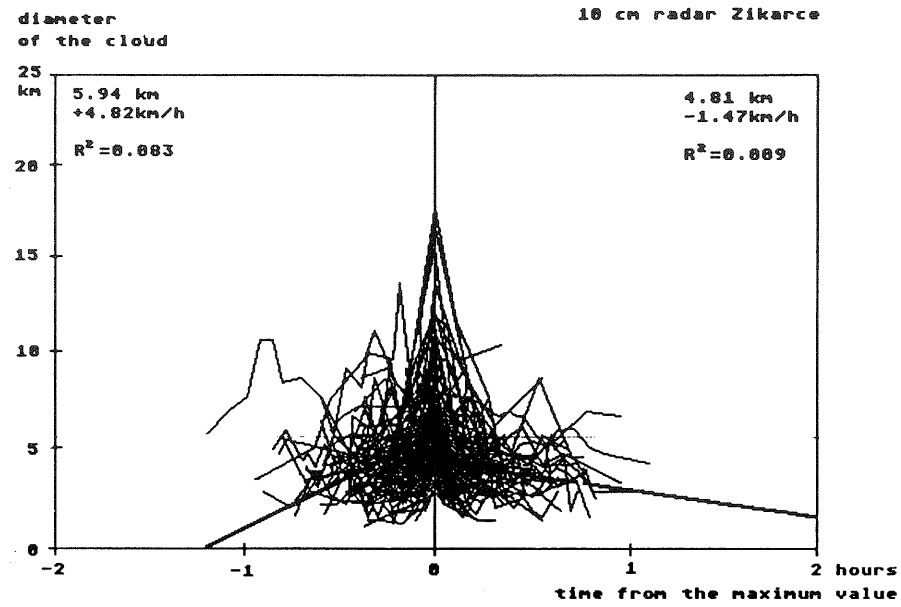


Figure 2: As Fig. 1, but for the cloud diameter.
Slika 2: Kot Sl. 1, toda za premer oblaka D.

Figure 3: As Fig. 2, but measured with 5 cm radar (1985-86).
Slika 3: Kot Sl. 2, toda merjeno s 5 cm radarjem (1985-86).

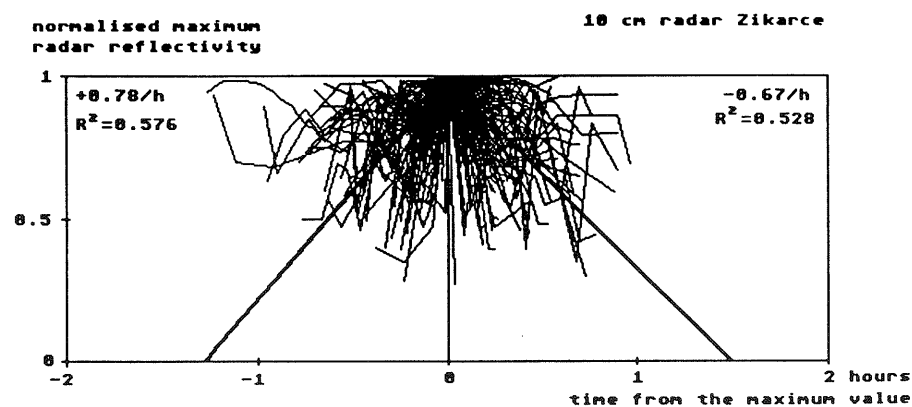
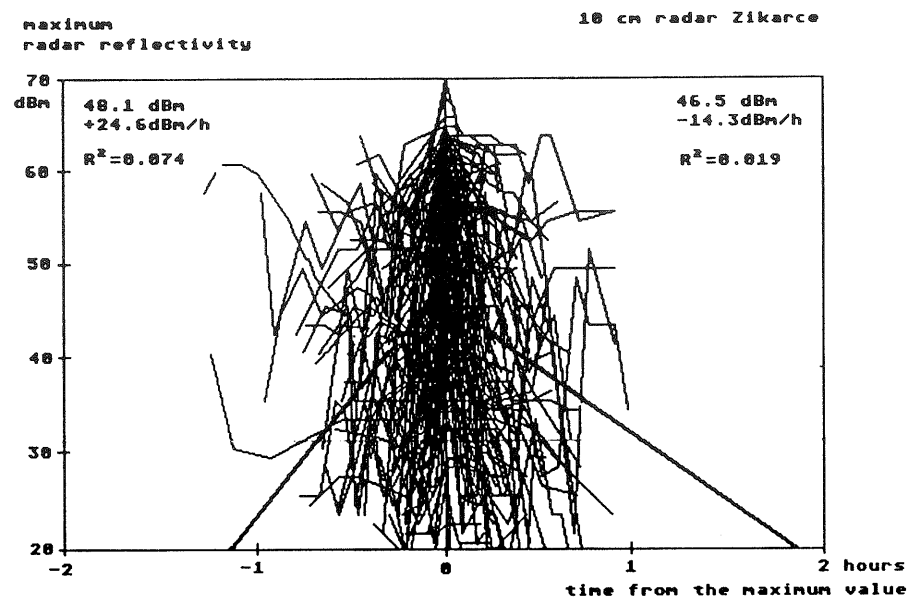


Figure 4: As Fig.1, but for maximum radar reflectivity.
Slika 4: Kot Sl. 1, toda za največjo radarsko odbojnost Z_{max} .

Table 2 presents the coefficients of determination R^2 and regression coefficients B according to the model $H=B(t-t_0)$. In this table the increase of a coefficient of determination is obvious (from the mentioned value of approx. 0.10 to values between 0.50 to 0.60 approx.) and the normalisation seems to be justified.

Table 2: Regression characteristics of normalised cloud variables 30 min before and 30 min after the maximum value (R^2 - coefficient of determination, B - regression coefficient)

Tabela 2: Regresijske karakteristike normaliziranih spremenljivk, ki opisujejo oblake za čas 30 min pred in po tem, ko le-te dosežejo maksimum (R^2 - koeficient determiniranosti, B - regresijski koeficient).

	before maximum value R^2		after maximum value R^2	
		B (1/30min)		B (1/30min)
a) 10 cm radar data Žikarce (1975-81)				
H	0.612	+0.32/30min	0.685	-0.36/30min
D	0.670	+0.57/30min	0.671	-0.59/30min
$H(Z_{max})$	0.482	+0.48/30min	0.757	-0.62/30min
Z_{max}	0.576	+0.39/30min	0.528	-0.34/30min
b) 5 cm radar data Lisca (1985-86)				
D	0.631	+0.54/30min	0.549	-0.53/30min
Z_{max}	0.604	+0.26/30min	0.578	-0.30/30min

In such a normalised presentation the intensity (height, size, solid and/or liquid water content, which is represented by radar reflectivity) of clouds have a more determined growth and decay. According to the t -test of differences all trends (all regression coefficients) are significantly different before and after the maximum - at the confidence level of 95%. So in spite of irregularities there is a quite well expressed growth and decay, and some characteristic time of growth or decay can be deduced from the data, as follows.

Cloud height: on average 32% of the maximum height is reached in the last 30 minutes before the average maximum, and 61% of the variance in this time interval can be attributed to the process of growth, and the same holds for decay (Fig. 1, for 10 cm radar data).

Cloud size (diameter): on average most (57%) of the growth occurs in the last 30 minutes and 67% of the variance can be attributed to the process of growth in time, and again very similarly for decay (Fig. 2 for 10 cm radar data). A somewhat similar growth is obtained for the smaller data set from the 5 cm radar (Fig. 3). The rate and the determination of decay are similar.

Analogous conclusions can be obtained by looking at the maximum radar reflectivity, representing the value of solid and/or liquid water content (Fig. 4 for 10 cm radar data set): here the average rate of growth is 39% in the last 30 minutes before the maximum is reached (and 26% for the smaller, 5 cm radar data set); similarly for decay. The determination is approx. 50 - 60%.

What can we say as regards the position of the area with maximum solid and/or liquid water content? As can be deduced from the height of the maximum reflectivity zone, this also has some time evolution: on average it starts in somewhat lower layers, then it moves upwards and (with falling precipitation) again decreases towards the ground.

5. CONCLUSIONS

Radar data collected with two radar installations in two time periods (i.e. 10 cm radar for the 1975-1981 and 5 cm radar for the 1985-1986 period) were used for statistical examination of some characteristics of Cb-clouds in North-Eastern Slovenia. The data were collected for the operation of a non-randomized hail suppression project. This poses some restrictions on the quality of the data set.

The climatology of the general weather conditions in which Cb develop is presented in Table 1. The main attention in this article was devoted to the time evolution of clouds. The time dependencies of the cloud variables height of the cloud H , diameter of the cloud cell D , height of the maximum radar reflectivity zone $H(Z_{max})$, and the value of maximum reflectivity Z_{max} (representing the position and the intensity of the solid and/or liquid water content in the cloud) were studied for this purpose. The different dynamics of individual Cb clouds (due to different macro- and meso-meteorological conditions), complicated micro-physical processes in clouds, etc. all cause the variables that have been studied to vary not only during the life cycle of the cloud cell, but also from case to case. Therefore the normalization was applied.

With this normalisation one can conclude that typically one third to one half of the maximum intensity of the cloud (height, diameter, solid/liquid water content) is achieved in the last half hour before the maximum is reached, and the decay from the maximum exhibits approximately the same time rate. Between one half to three quarters of the variance can be attributed to the time process of growth or decay; the rest of the variance cannot be connected with time evolution.

ACKNOWLEDGEMENTS AND A REMARK

Part of this research was performed and the data were prepared within the scope of the project: Hail Suppression in Slovenia - Foundations, Hitherto Implementation, Efficiency, Future Activity which was financed by the Hydrometeorological Institute of Slovenia. The author is grateful to this institution and to all collaborators. Prof. L. Kajfež-Bogataj also helped also in some of the statistical computations and data handling for this study.

Remark: This paper was prepared for publication in 1990 and only revision and some editing was made for publication in 1994.

REFERENCES

- Barnes, S.L., and Newton C.W., 1982: Thunderstorms in the Synoptic Setting. In E. Kessler: Thunderstorms, Vol. 2, National Severe Storms Lab. Norman (OK), 109-171.
- Kajfež-Bogataj, L. and Rakovec, J., 1988: Hail and Graupel in Slovenia. Razprave-Papers DMS 30, 19-36.
- Lemut, Z., 1989: Weather Observation and Hail Suppression System in Slovenia. Theor. Appl. Climatology 40, 261-269.
- Petkovšek, Z., 1987: Topographic Influences on Thunderstorms in Slovenia. in Proceedings of the 2nd Int. Symp. on Hail Suppression. Working Community Alps-Adriatic, Ljubljana, Oct. 1-2, 1987, 25-30.
- Rakovec, J. et al., 1990: Some Evaluations of the Efficiency of Hail Suppression System in Slovenia, Yugoslavia. Theor. Appl. Climatology 41, 157-171.
- Rink, S., 1988: Thunderstorms in Slovenia. Razprave-Papers DMS 30 3-17.
- Rogers, R. R., 1976: A Short Course in Cloud Physics. Pergamon, Oxford etc., 227 pp.
- Waldvogel, A. and Schiesser, H.H., 1985: Time Evolution of Seeded Hail Cells in Grossversuch IV. 4th WMO Sci. Conf. on Weather Modification, Hawaii, Aug. 12-14, 1985. WMO, Geneva, 541-546.
- Žitnik, L., 1965: Application of Whitnig's method of Thunderstorm Forecast on Alpine region of Slovenia. Razprave-Papers DMS 6, 3-7.

RADARSKO MERJENJE PADAVIN: UPORABA VERTIKALNIH PROFILOV ODBOJNOSTI

Marjan DIVJAK

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana

SUMMARY

Radar measurements at long ranges lead to a systematic range-dependent underestimation of rainfall. The main reason for the underestimation lies in an inability to perform radar measurements close to the ground due to orography and radar beam geometry, combined with the average decrease of rainfall rates with height. By using a postulated vertical reflectivity profile, it was possible to reduce the underestimation of surface precipitation at all ranges. At 100 km, the percentage of rainfall measured increased from 40 % to 100%.

POVZETEK

Pri velikih razdaljah izmeri radar manj padavin kot dežemeri na tleh. Glavni razlogi za to so višina radarskega snopa nad zemeljsko površino, njegova širina in vertikalna nehomogenost padavin. S postuliranjem povprečnega vertikalnega profila odbojnosti se natančnost radarskih meritev izboljša pri vseh oddaljenostih. Pri razdalji 100 km se poveča delež izmerjene količine padavin od 40% na 100%.

1. UVOD

Mikrovalovni radar omogoča merjenje odbojnosti padavin z veliko prostorsko in časovno ločljivostjo. Uporabnost teh meritev za določanje količine padavin je bila zato predmet številnih raziskav. Pregled izsledkov so podali, na primer, Wilson in Brandes (1979), Doviak (1983) ter Joss in Waldvogel (1990).

Pri določanju natančnosti radarskih meritev je potrebno razlikovati med eksperimentalnimi in operativnimi meritvami. Eksperimentalne meritve potekajo pri kratkih razdaljah in primerno nizko nad zemeljsko površino. V takih pogojih merjenja so dosežene natančnosti dokaj velike. Harrold (1974) na primer poroča, da se radarsko izmerjene urne akumulacije padavin nad območji velikosti 50 km² razlikujejo od optimalno določenih za približno 20%. Podaljšanje časovnega intervala na 6 ur ali povečanje območja na 500 km² zmanjša razlikovanje na 13%. Pri operativnih meritvah, ki potekajo pri velikih razdaljah in nad razgibano površino, so dosežene natančnosti dosti manjše. Po Collierju (1983) ležijo razmerja med radarskimi meritvami R in talnimi meritvami G urnih akumulacij na

intervalu med 0.5 in 2.0 v 86% primerov. Z naraščajočo razdaljo se povprečna razmerja R/G manjšajo.

Odvisnost razmerij R/G od razdalje (in še česa) je mogoče ugotoviti statistično in dobljeni rezultat uporabiti za korekcijo radarskih meritev. Boljša pot je naslednja: ugotoviti je potrebno razloge za podcenitev in jih primerno upoštevati. Glavne razloge je med prvimi prepoznal Joss (1981): radar zaradi hribovitosti in zakrivljenosti zemeljske površine ne more meriti blizu tal, jakost padavin pa z višino v splošnem pojema. Kako upoštevati vertikalno nehomogenost padavin, je pokazal Koistinen (1992). V članku je razvit podoben način in prikazana njegova poenostavljena uporaba.

2. OSNOVE MERJENJA IN IZVORI NAPAK

Moč radarskega odmeva P od množice dežnih kapljic v radarskem snopu na razdalji med r in $r + h/2$, pri čemer je h dolžina radarskega pulza, je podana z enačbo

$$P = \frac{C}{r^2} Z, \quad (1)$$

kjer je C konstanta, vsebujoča radarske parametre, $Z = \sum D_i^6 / V$ pa odbojnost dežnih kapljic, določena z njihovimi premeri D_i in številčnostjo na prostorninsko enoto V .

Odbojnost padavin Z je povezana z jakostjo padavin I :

$$Z = aI^b. \quad (2)$$

Konstanti a in b sta odvisni od porazdelitve kapljic po velikosti. Enačbi (1) in (2) omogočata določevanje jakosti padavin iz izmerjenih moči in oddaljenosti radarskih odmevov. Veljata bolj ali manj natančno, odvisno od tega, kako dobro so izpolnjene določene merilne predpostavke. Pri eksperimentalnih meritvah v bližini radarja povzročajo največjo napako spreminjajoča se porazdelitev kapljic po velikosti. Pri operativnih meritvah prevladajo drugi vzroki napak, predvsem neenakomerna zapolnjenost merilne prostornine s padavinskimi delci in vertikalna nehomogenost padavin.

3. VERTIKALNI PROFILI ODBOJNOSTI

Enačba (1) velja le v primeru, če je odbojnost padavin porazdeljena po merilni prostornini enakomerno. Pri velikih razdaljah postane premer radarskega snopa velik in odbojnost po preseku snopa se lahko znatno razlikujejo. Omejimo se na primer, da je odbojnost v merilni prostornini neodvisna od razdalje r . Potem zapišemo enačbo (1) v splošnejši obliki

$$P = \frac{C}{r^2} \int Z f d\Omega. \quad (3)$$

$Z d\Omega$ smo označili element prostorskega kota v poljubni smeri od radarske antene, s f pa njen normirani dvosmerni diagram, $\int f d\Omega = 1$. Seštevanje odmevov poteka po prostorskem kotu, kjer je f znatno različen od nič, to je po radarskem snopu. Privzamemo, da snop ni nikjer blokiran. Merilna prostornina z neenakomerno porazdeljeno odbojnostjo Z povzroči enako močan odmev P kot ista prostornina z enakomerno porazdeljeno in ustrezno veliko odbojnostjo Z_e :

$$Z_e = \int Z f d\Omega \quad (4)$$

Kakšna je porazdelitev odbojnosti v merilni prostornini, katere odmev radar izmeri, iz same meritve jakosti odmeva ne moremo zvedeti. Z uporabo enačbe (1) lahko določimo le ekvivalentno odbojnost Z_e . Ta odbojnost je v splošnem različna od odbojnosti padavin v katerikoli točki merilne prostornine in seveda tudi od odbojnosti padavin Z_g pri tleh pod njo.

Izmerjena odbojnost Z_e in odbojnost pri tleh Z_g se torej v splošnem razlikujeta. Faktor razlikovanja definiramo kot

$$A = 10 \log(Z_e/Z_g). \quad (5)$$

Če torej na kakršenkoli način uspemo določiti faktor razlikovanja za izbrano merilno prostornino, je z meritvijo njene ekvivalentne odbojnosti določena tudi odbojnost pri tleh in z njo talna jakost padavin.

Faktor razlikovanja lahko določimo takole. Predpostavimo, da je v izbrani merilni prostornini in pod njo do tal odbojnost odvisna le od višine in da poznamo njen relativni profil $Z(z)/Z_g$. Ta profil ali postuliramo, ali izpeljemo iz modela padavinskih procesov, ali izmerimo z radarjem nad primernim območjem in predpostavimo njegovo reprezentativnost. Iz tako predpostavljenega profila izračunamo faktor razlikovanja z uporabo enačb (4) in (5). Pri tem lahko enačbo (4) poenostavimo na naslednji način.

V smeri maksimuma diagrama f , to je na osi radarskega snopa, definiramo pri razdalji r dve na os snopa pravokotni koordinatni osi, horizontalno os x in "vertikalno" os y . Izhodišče tako definirane koordinatnega sistema je na višini h nad zemeljsko površino. Vpeljemo brezdimenzijski spremenljivki $\alpha = x/r$ in $\beta = y/r$. Omejimo se na ozek snop, da velja $d\Omega \approx d\alpha d\beta$. Za nizke elevacijske kote snopa se integral (4) poenostavi v obliko

$$Z_e(h) = \int Z(h + r\beta) F(\beta) d\beta. \quad (6)$$

Integracija poteka po vertikalnem kotu β glede na os snopa. Količina $F(\beta) = \int f(\alpha, \beta) d\alpha$ je horizontalno integrirani diagram antene, odvisen od njene oblike. Za anteno v obliki rotacijskega paraboloida velja kot dober približek

$$f \propto e^{-\theta^2/\theta_1^2} = e^{-\alpha^2/\theta_1^2} e^{-\beta^2/\theta_1^2},$$

pri čemer je θ kot od osi snopa, θ_1 pa njegova karakteristična širina, povezana s širino snopa med 3 dB točkama, $\theta_1 = \theta_0/\sqrt{8 \ln 2}$.

4. UPORABNOST VERTIKALNIH PROFILOV ODBOJNOSTI

Uporabnost vertikalnih profilov odbojnosti smo preverili na podatkih o radarskih in talnih meritvah padavin v Sloveniji. Osnovno podatkovno bazo sestavlja približno 600 parov hkratnih radarskih in talnih meritev urnih akumulacij padavin nad osmimi dežemernimi postajami. Meritve so potekale poleti 1991 z radarjem na Lisci. Radarsko določene padavine so izračunane po enačbi (2) iz izmerjenih maksimalnih odbojnosti v vertikalnem stolpcu preseka 2×2 km nad vsako postajo.

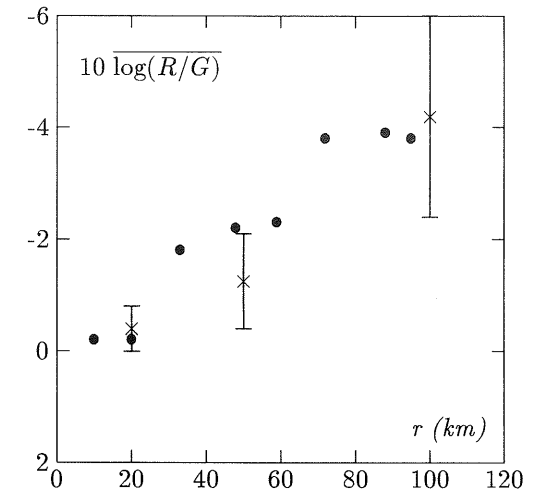
<i>N</i>	<i>Postaja</i>	<i>r</i> (km)	$10 \overline{\log R/G}$
1	Planina	10	-0.2
2	Celje	20	-0.2
3	R. Slatina	33	-1.8
4	Šmartno	48	-2.2
5	Maribor	59	-2.3
6	Polički Vrh	72	-3.8
7	Radenci	88	-3.9
8	M. Sobota	95	-3.8

Tabela 1: Radarske (*R*) in talne (*G*) meritve padavin

V tabeli 1 so podane povprečne razlike med radarskimi meritvami *R* in talnimi meritvami *G* urnih akumulacij. Podcenitev padavin pri velikih razdaljah je očitna. Pri razdalji 100 km znaša povprečni faktor $\log^{-1} \overline{\log R/G} \approx 0.4$. Radar izmeri le 40% padavin. Podroben opis meritev in rezultatov je podal Divjak (1992).

Opaženo podcenitev pojasnimo z vertikalnimi profili odbojnosti. Privzamemo naslednjo obliko profila: od tal do višine h_0 je odbojnost konstantna, nato pa z naraščajočo višino pojema z gradientom 10 dB/km. Razmejitevna višina h_0 je višina izoterme 0° C. Izbrana oblika profila je poenostavljena oblika profilov, ki jih je izmeril Koistinen (1992).

Višina h_0 se od dne do dne spreminja. Ker nam gre le za oceno, vzamemo njeno povprečje v obdobju meritev, $h_0 \approx 3$ km.



SLIKA 1: Izračunane (×) in izmerjene (●) podcenitve padavin

Pri radarskih podatkih RC Lisca je, žal, na razpolago le maksimalna odbojnost v vertikalnem stolpcu nad dežemerno postajo, ne pa tudi višina, na kateri je bila ta odbojnost izmerjena. Privzamemo, da je bila odbojnost izmerjena pri tistem elevacijskem kotu, ki se pri dani razdalji najbolj približa višini h_0 . Predpostavka je smiselna, ker se maksimalne odbojnosti večinoma pojavljajo prav na višini izoterme 0° C, kjer se padajoči ledeni delci talijo. Za razdalje 20, 50 in 100 km ležijo elevacijski koti RC Lisca, ki pridejo v poštev, na intervalih 5-6, 2-2.5 in 1-1.5 stopinj, upoštevajoč radarjevo nadmorsko višino 1 km in implementirane nabore kotov. Podcenitvene faktorje *A* pri naštetih oddaljenostih izračunamo iz enačb (5) in (6). Za širino radarskega snopa vzamemo vrednost $\theta_0 = 1^\circ$.

Pri različnih oddaljenostih izračunani faktorji *A* opisujejo ustrezne podcenitve odbojnosti. Podcenitve količine padavin pa opisujejo faktorji *A/b*, pri čemer je $b = 1.6$ eksponent v enačbi (2). Prikazani so na sliki 1 v obliki navpičnih intervalov. Polni krožci označujejo izmerjene podcenitve padavin, povzete iz tabele 1. Kljub uporabljenim poenostavitvam je opazno dobro ujemanje med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi. Rezultati pri velikih oddaljenostih so zelo občutljivi za nenatančnosti v elevacijskem kotu snopa.

Vertikalne profile odbojnosti lahko torej s pridom uporabimo pri radarskih meritvah padavin. Že z grobo ocenitvijo profila je možno popraviti podcenitve povprečnih

akumulacij pri vseh oddaljenostih. Pri 100 km se, na primer, poveča delež izmerjene količine padavin od 40% na 100%. Ali je mogoče z uporabo bolj podrobnih profilov zmanjšati tudi sipanje posameznih meritev okrog povprečnih vrednosti, pa bo potrebno še raziskati.

5. ZAKLJUČKI

Radar pri velikih razdaljah v povprečju podceni količino padavin. Zaradi hribovitosti in zakrivljenosti zemeljske površine namreč ne more meriti blizu tal, jakost padavin pa z višino v splošnem pojema. Z upoštevanjem povprečnega vertikalnega profila odbojnosti se razlike med radarskimi in talnimi meritvami urnih akumulacij pri vseh oddaljenostih zmanjšajo. Najočitneje se natančnost meritev izboljša pri velikih razdaljah. Pri razdalji 100 km se poveča delež izmerjene količine padavin od 40% na 100%.

LITERATURA

- Collier, C. G. et al. (1983): A weather radar correction procedure for real-time estimation of surface rainfall. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 109, pp. 589-608.
- Divjak, M. (1992): Operational Radar Measurement of Precipitation: The Accuracy of Point Estimates of Hourly Accumulations. *Preprints 2nd Conf. on Hyd. Appl. of Weather Radar*, Hannover, v tisku.
- Doviak, R. J. (1983): A survey of radar rain measurement techniques. *J. Clim. Appl. Meteor.*, 22, pp. 832-849. Harrold, T. W. et al. (1974): The accuracy of radar-derived rainfall measurements in hilly terrain. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 100, pp. 331-350.
- Joss, J. and A. Waldvogel (1990): Precipitation measurement and hydrology. *Radar in meteorology*, Atlas, D. (Ed.), Boston, Amer. Meteor. Soc., pp. 577-618.
- Joss, J. and G. Galli (1981): Digital radar information in the Swiss Meteorological Institute. *Preprints 20th Conf. Radar Meteorology*, Boston, Amer. Meteor. Soc., pp. 194-199.
- Koistinen, J. (1992): Operational correction of radar precipitation errors due to the vertical reflectivity profile. *Preprints 2nd Conf. on Hyd. Appl. of Weather Radar*, Hannover, v tisku.
- Wilson, J. W. and E. A. Brandes (1979): Radar measurement of rainfall - a summary. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 60, pp. 1048-1058.

**UPORABNOST RAZNIH METOD PRIKAZA FENOLOŠKEGA RAZVOJA
KORUZE (*Zea Mays* L.) V SLOVENIJI**

**UTILITY OF VARIOUS METHODS OF PRESENTATION OF PHENO-
LOGICAL DEVELOPMENT OF CORN (*Zea Mays* L.) FOR SLOVENIA**

Andreja SUŠNIK

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana

SUMMARY

The interphase phenological periods of the corn cultivar OSSK 247 were studied for the north-eastern part of Slovenia (sowing-emergence, emergence-third leaf, third leaf-tasselling, tasselling-flowering, flowering-silking, sowing-3rd leaf, 3rd leaf-silking, sowing-silking) and their requirements expressed by three calculational methods: sums of effective temperatures, modified effective temperatures and corn heat units. The duration of the sowing-silking period and the temperature sum relation was obtained, as well as the best fitted relation between the duration of the sowing-silking period and corn heat units for the mentioned period ($r=0.83$).

POVZETEK

Za območje severovzhodne Slovenije smo proučevali medfazna fenološka obdobja koruze sorte OSSK 247 (setev-vznik, vznik-3.list, 3.list-metličenje, metličenje-prašenje, prašenje-svilanje, setev-3.list, 3.list-svilanje, setev-svilanje) in njihove toplotne potrebe, izražene po treh metodah izračunavanja: kot vsote efektivnih temperatur (VET), modificirane vsote efektivnih temperatur (MVET) in kot vsote koruznih toplotnih enot (VKTE). Ugotavljali smo tudi zveze med dolžino obdobja setev-svilanje in temperaturnimi vsotami. Najtesnejša zveza je bila ugotovljena med dolžino obdobja setev-svilanje in VKTE ($r = 0.83$).

UVOD

Rast in razvoj rastlin sta v veliki meri odvisna od klimatskih razmer izbranega kraja. Proučevanje vpliva vremenskih razmer in drugih dejavnikov na rast in razvoj različnih vrst kmetijskih rastlin nam omogoča, da pri načrtovanju rastlinske proizvodnje čim bolj izkoristimo klimatske danosti in s tem dosežemo optimalne pridelke.

Številne raziskave so pokazale, da sta rast in razvoj koruze primarno odvisna od toplotnih razmer (Daynard 1972, Coligado in Brown 1975, Coelho in Dale 1980, Major s

sod. 1983, Russelle s sod. 1984, Cutforth in Shaykewich 1990), ki jih lahko kvantitativno ovrednotimo na osnovi dnevnih vrednosti temperature zraka, merjene 2 m nad tlemi (klasične meteorološke meritve). Pokazalo se je, da je za proučevanje povezav med toplotnimi razmerami in posameznimi fenološkimi fazami in dolžinami medfaznih obdobij koroze primeren način za vrednotenje temperaturnih razmer uporaba različnih metod, ki so največkrat določene na osnovi povprečne dnevne temperature zraka.

Najbolj pogosto uporabljena temperaturna metoda je vsota efektivnih temperatur zraka (VET). Efektivna temperatura zraka (ET) za določen dan je definirana kot razlika med povprečno dnevno temperaturo zraka in rastnim temperaturnim pragom. Povprečna dnevna temperatura zraka je za agrometeorološke namene največkrat definirana kot povprečje dnevne maksimalne in minimalne temperature zraka. Temperaturni prag je določen za vsako rastlinsko vrsto posebej in pomeni povprečno dnevno temperaturo zraka, pri kateri rastlina začne aktivno rasti. Za korožo je 10 °C. VET dobimo s seštevanjem dnevnih ET od dneva setve do dneva določene ontogenetske faze. Ugotovili so (Daynard 1972, Coelho in Dale 1980), da obstaja linearna zveza med VET in posameznimi stopnjami razvoja rastlin.

Gilmore in Rogers (1958) sta dobila tesnejše povezave med VET in nastopi posameznih faz, če sta korigirala dnevno minimalno in maksimalno temperaturo zraka glede na mejne vrednosti 10 °C in 30 °C. Dnevno minimalno temperaturo zraka pod 10 °C sta izenačila z 10 °C, dnevno maksimalno temperaturo zraka nad 30 °C pa sta popravila tako, da sta odštela od povprečne dnevne temperature število stopinj, za katero dnevni maksimum temperature presega 30 °C. Metodo sta poimenovala "metoda optimalnega dne". Barger (1969) je modificiral metodo VET tako, da je dnevne maksimalne temperature zraka nad 30 °C izenačil s 30 °C še pred seštevanjem v povprečne dnevne temperature (modificirana VET ali metoda MVET). To je metoda, ki jo še danes uporabljajo v programih Nacionalne meteorološke službe v severni Ameriki.

Brown (1975) je definiral metodo vsote koruznih toplotnih enot (corn heat units CHU (VKTE)), pri kateri je stopnja rasti ocenjena ločeno za maksimalne in minimalne temperature zraka. VKTE se je uspešno uveljavila predvsem v severni Kanadi, nekoliko spremenjena pa tudi v drugih pridelovalnih regijah koroze v Kanadi. Različne oblike metode VKTE se pojavljajo zaradi različnih definicij spodnjih in zgornjih temperaturnih mej. Rajonizacijska karta VKTE vrednosti je bila vključena v Klimo Kanade za kmetijstvo (Chapman in Brown, 1966). Major s sodelavci (1976) je izdelal karto verjetnosti pričakovanja določene vrednosti VKTE pred pojavom kritično nizkih temperatur.

V tem delu smo analizirali medfazna obdobja koroze v času od setve do svilanja in vpliv toplotnih razmer na njen razvoj v treh krajih SV Slovenije v obdobju 1984-90. Želeli smo ugotoviti, katera od treh omenjenih metod za kvantitativno vrednotenje toplotnih

razmer (VET, MVET, VKTE) je bolj primerna za določanje povezave med vremenskimi razmerami in medfaznim razvojem koroze v Prekmurju.

FENOLOŠKI PODATKI

Za obdobje 1984-90 smo uporabili podatke iz fenološkega arhiva Hidrometeorološkega zavoda RS o razvojnih stopnjah koruznega hibrida OSSK 247 na treh lokacijah v severovzhodni Sloveniji: Lendava 46° 34' severne geografske širine in 16° 28' vzhodne geografske dolžine, Murska Sobota 46° 38' s.g.š. in 16° 11' v.g.d. ter Veliki Dolenci 46° 51' s.g.š. in 16° 17' v.g.d..

Sorta OSSK 247 je po FAO konvenciji uvrščena v skupino 200 - 300, je zelo rana sorta z vegetacijskim obdobjem, po definiciji dolgim od 70 do 90 dni, ki pa je za slovenske razmere dolgo tudi do 125 dni (Tanjšek, 1981). Analizirane fenološke faze so bile: setev, vznik, 3.list, metličenje, prašenje, svilanje in vsa medfazna obdobja. Fenološke faze so definirane po programu Agrometeorološke komisije Svetovne meteorološke organizacije za srednjeevropsko klimatsko območje (Priročnik za fenološka opazovanja, 1970), ki jih tu na kratko citiramo:

Setev

Datum setve se beleži tisti dan, ko je opravljena setev na izbrani parceli. Hkrati se beleži tudi ime sorte.

Vzvik

Datum splošnega vznika koroze se beleži, ko na večjem delu opazovane parcele vzklijejo rastlinice s prvimi pravimi, še ne odprtimi listi in ko se lahko opazijo strnjene vrste mladih rastlinic.

Faza 3.lista

Na mladih rastlinicah se pojavi 3.list.

Metličenje

V nadaljnjem razvoju koroza doživlja v obdobje hitrega podaljševanja stebela in formiranja generativnih organov. V primerjavi z drugimi žiti formira koroza dve vrsti socvetij:

- moško socvetje v obliki metlice, ki se pojavi na vrhu stebela in
- žensko socvetje v obliki storža, ki izrašča iz pazduhe lista v sredini stebela

Prašenje

Datum prašenja se beleži, ko na večini rastlin na opazovani parceli iz klaskov na metlicah pojavijo prašniki na prašničnih nitih in ko le-ti začnejo iztresati pelod.

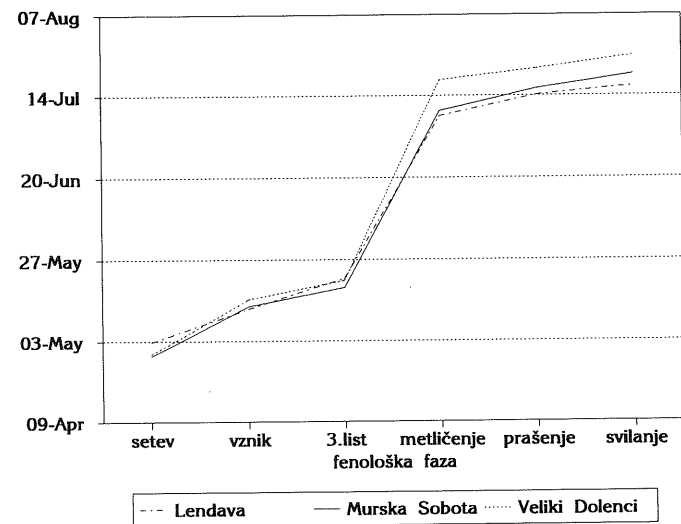
Svilanje

Datum svilanja se beleži, ko se na večini rastlin na vrhu pojavijo prameni lepljive svile (ženski cvetovi).

Vse fenološke podatke smo zabeležili v zaporednem dnevu leta, dolžine medfaznih obdobj pa v številu dni od začetne do končne fenološke faze.

MEDFAZNI FENOLOŠKI RAZVOJ KORUZE OD SETVE DO FENOFAZE SVILANJA V OBDOBJU 1984 - 1990

Setveni dan, kot začetek fenološkega razvoja korusa, je v veliki meri odvisen od odločitve posameznega pridelovalca. Na to vpliva njegova tehnična pripravljenost, v največji meri pa vremenske razmere v tem obdobju. V našem primeru se je izkazalo, da setev v obdobju 1984-90 v povprečju poteka konec aprila, oziroma v začetku maja (slika 1). Najzgodnejša setev je bila v zadnji dekadni aprila v letu 1989. Razlog je bilo nadpovprečno toplo vreme v drugi aprilski dekadni. Povprečna dekadna temperatura zraka za to obdobje je bila 11.4 °C, kar za 2 °C presega dolgoletno povprečje. Najkasnejša setev je bila sredi maja. Slika 1 prikazuje povprečne datume nastopa tudi drugih fenofaz sorte OSSK 247 na vseh treh postajah.



Slika 1. Povprečni datumi nastopa fenoloških faz korusa od setve do svilanja za Mursko Soboto, Lendavo in Velike Dolence v obdobju 1984-90.

Dolžine medfaznih obdobj med leti kažejo velike razlike (preglednica 1).

Preglednica 1. Povprečna dolžina medfaznih obdobj od setve do svilanja korusa sorte OSSK 247 v Lendavi, Murski Soboti in Velikih Dolencih v obdobju 1984-1990.

postaja	dolžina medfaznega obdobja v dneh								
	se-vz	vz-l	l-m	m-p	p-s	se-l	l-s	se-s	
Murska Sobota	povp.	15	5	52	7	5	20	63	81
	max	25	10	58	10	7	30	71	88
	min	9	2	45	3	3	13	56	73
	KV%	35.3	44.1	9.3	36.3	28.2	25.8	7.9	7.0
Lendava	povp.	10	9	48	7	3	19	56	75
	max	16	12	55	16	4	26	58	83
	min	6	7	36	3	1	14	53	69
	KV%	38.1	18.5	11.1	62.3	35.3	20.7	2.9	6.2
Veliki Dolenci	povp.	16	6	59	3	4	22	66	88
	max	20	7	66	6	5	27	73	97
	min	10	4	53	2	2	17	59	76
	KV%	23.5	21.1	6.3	37.7	18.8	17.0	6.8	7.5

Legenda:

- se-vz....medfazno obdobje setev - vznik
- vz-l....medfazno obdobje vznik - 3.list
- l-m....medfazno obdobje 3.list - metličenje
- m-p....medfazno obdobje metličenje - prašenje
- p-s....medfazno obdobje prašenje - svilanje
- se-l....medfazno obdobje setev - 3.list
- l-s....medfazno obdobje 3.list - svilanje
- se-s....medfazno obdobje setev - svilanje

Setveni dan ima velik vpliv na dolžino obdobja od setve do svilanja v vseh letih opazovanja. Ob kasnejši setvi je obdobje od setve do svilanja krajše kot ob zgodnejši setvi. To sta ugotovila tudi Gilmore in Rogers (1958). Dolžina celotnega obdobja setev-svilanje kaže statistično značilne razlike med postajo Lendavo in obema drugima krajema.

V osnovi pripisujemo variabilnost spremenljivim rastnim pogojem v posameznem medfaznem obdobju. To so različne vremenske razmere, različno poreklo semenskega materiala, različni agrotehnični ukrepi med rastjo in razvojem korusa, neenotne lastnosti

tal in mikroklimatske lastnosti rastišča. Delno pa k povečani variabilnosti lahko doprinese tudi subjektivnost fenoloških opazovanj.

Na podlagi variabilnosti dolžine medfaznih obdobij sklepamo, da števila dni ne moremo uporabiti za določitev pojava naslednje faze. V nadaljnji analizi nas je zanimalo, ali bodo boljše povezave med dolžinami medfaznih obdobij in VET, MVET in VKTE za omenjena medfazna obdobja.

TOPLOTNE RAZMERE V OBDOBJU SETEV-SVILANJE 1984-90

Severovzhodna Slovenija spada po Köppenu v vlažni zmerno topli klimatski pas s sušno zimo, ki ga enačimo z modificirano srednjeevropsko klimo (Hočevar, Kajfež, 1984).

Obdobje 1984-90 je po povprečni mesečni temperaturi podobno dolgoletnemu povprečju. V mesecih aprilu, maju, juliju in avgustu temperature odstopajo le za nekaj desetink °C. Izstopa junijska povprečna mesečna temperatura v Lendavi, ki je bila za 1.1 °C višja od dolgoletnega povprečja, v Velikih Dolencih pa za 0.8 °C nižja.

Za izračun temperaturnih razmer smo uporabili podatke o maksimalni (T_{max}) in minimalni (T_{min}) dnevni temperaturi zraka, merjeni 2 m nad tlemi za omenjene tri meteorološke postaje (Lendava, Murska Sobota, Veliki Dolenci) v Sloveniji za obdobje 1984-1990. Vsote temperatur smo izračunavali za medfazna obdobja od setve do svilanja. Uporabili smo tri omenjene metode:

Vsota efektivnih temperatur zraka (VET)

$$VET = (T_{max} + T_{min})/2 - a, \text{ kjer je} \quad (1)$$

$$a = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Modificirana vsota efektivnih temperatur zraka (MVET) (po Bargerju) za medfazna obdobja

Za izračun MGDD indeksa smo uporabili metodo VET (enačba 1) z dvema dodanima pogojevma, in sicer:

$$T_{max} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ če je } T_{max} > 30 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ in } T_{min} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ če je } T_{min} < 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Metoda ocenjuje krivuljo rasti koruze v odvisnosti od temperature. Ta upošteva, da stopnja rasti pri maksimalnih temperaturah zraka nad 30 °C upada.

Vsota koruznih toplotnih enot (VKTE) (po Brownu) za medfazna obdobja

$$VKTE = \sum (X + Y)/2, \text{ kjer je} \quad (2)$$

$$X = b(T_{min} - c) \text{ za } T_{min} \geq 4.4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 0 \text{ za } T_{min} < 4.4 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ kjer}$$

$$b = 1.8$$

$$c = 4.4$$

$$Y = d(T_{max} - e) - f(T_{max} - e)^2 \text{ za } T_{max} > 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 0 \text{ za } T_{max} < 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$d = 3.3$$

$$e = 10.0$$

$$f = 0.083$$

Model vključuje ločeno funkciji stopnje rasti koruze ob minimalni in maksimalni dnevni temperaturi zraka. Stopnja rasti koruze ob minimalni temperaturi zraka je linearna funkcija razlike med minimalno temperaturo in temperaturnim pragom 4.4 °C in stopnja rasti ob dnevni maksimalni temperaturi zraka je kvadratna funkcija razlike med maksimalno temperaturo in temperaturnim pragom 10 °C, z optimumom pri 30 °C. VKTE je definirana kot vsota dnevni povprečij obeh funkcij stopnje rasti koruze.

Povprečne ter ekstremne vrednosti in koeficienti variabilnosti VET, MVET in VKTE za vsa medfazna obdobja na vseh postajah so v preglednici 3. Primerjave vsot med kraji so na slikah 2, 3 in 4.

Preglednica 2. Povprečne vsote učinkovitih temperatur zraka (VET), modificirane vsote učinkovitih temperatur zraka (MVET) in vsote koruznih toplotnih enot (VKTE) za medfazna obdobja koruze v Murski Soboti, Lendavi in Velikih Dolencih 1984-90.

Murska Sobotna	se-vz			vz-l			l-m			m-p		
	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE
pop.	45	68	200	28	30	92	368	385	1038	65	64	155
min	13	93	90	12	58	43	328	418	917	36	95	80
max	69	27	282	54	17	176	397	337	1125	95	36	233
KV%	47.7	30.8	33.6	56.7	49.3	52	7.2	7.4	8.2	37.3	34.5	38.4

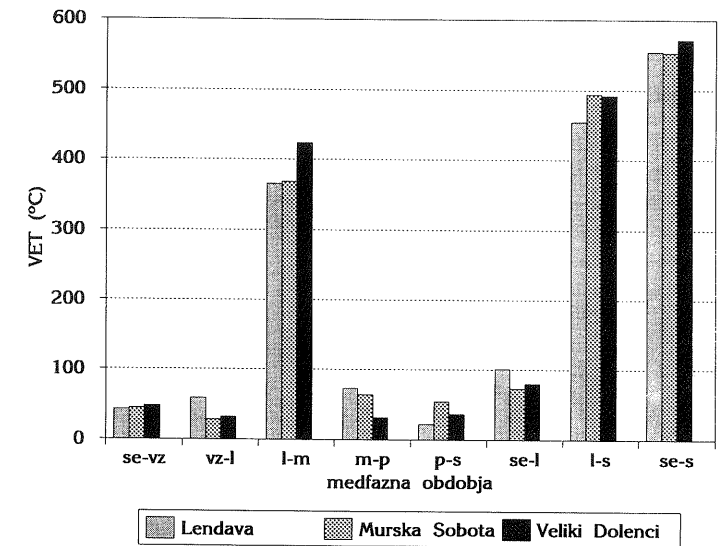
Murska Sobotna	p-s			se-l			l-s			se-s		
	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE
pop.	55	56	129	73	96	291	494	497	1300	553	593	1591
min	28	96	72	43	116	219	454	573	1196	523	651	1509
max	98	28	198	102	78	350	554	460	1464	597	31	1684
KV%	46.5	43.4	36	27.9	16.1	18.4	9.5	7.9	6.8	4.45	5.1	4.2

Lendava	se-vz			vz-l			l-m			m-p		
	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE
pop.	42	51	150	59	61	171	365	375	996	73	73	171
min	25	65	193	38	84	212	264	474	1205	21	148	372
max	56	34	112	84	45	131	468	278	725	148	21	61
KV%	29.6	19	18.1	28.4	21.8	15	17.2	14.9	13.6	57.7	53	58.8

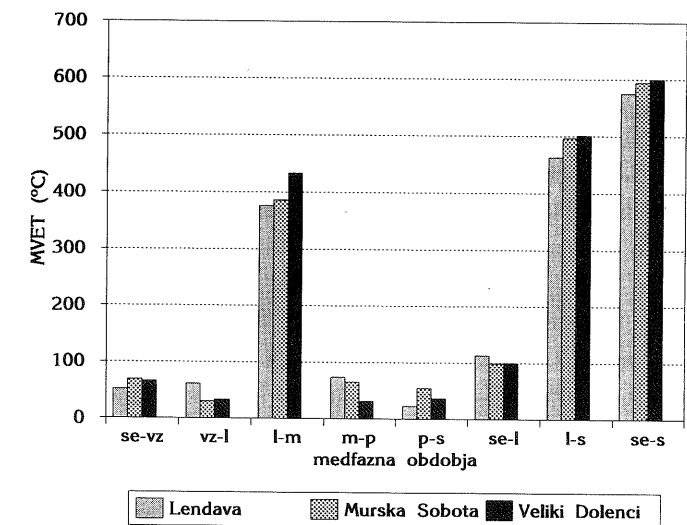
Lendava	p-s			se-l			l-s			se-s		
	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE
pop.	23	23	60	101	112	322	454	454	1216	555	571	1520
min	6	38	91	67	136	356	398	480	1380	507	596	1581
max	37	6	19	134	84	276	511	411	1100	588	526	1413
KV%	47.5	43.5	38.4	24	13.3	7.2	7.9	5.3	7.2	5.6	4.4	3.6

Veliki Dolenci	se-vz			vz-l			l-m			m-p		
	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE
pop.	48	66	210	32	34	102	423	433	1197	31	31	80
min	26	70	238	16	51	144	370	509	1293	11	55	139
max	65	61	186	51	22	74	505	383	1094	55	11	36
KV%	29.5	5.5	8.5	37.7	30.8	25.4	10.7	9	6.2	47.6	44.3	40.1

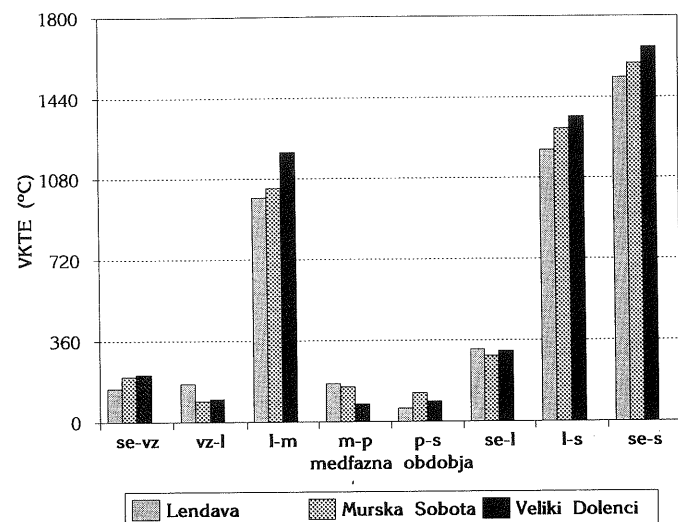
Veliki Dolenci	p-s			se-l			l-s			se-s		
	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE	VET	MVET	VKTE
pop.	37	37	89	80	99	312	491	501	1352	572	600	1664
min	21	55	113	51	117	340	436	558	1428	517	651	1730
max	58	22	51	112	89	276	552	451	1217	638	548	1544
KV%	35.5	30.6	22.3	29	10	7.7	9.6	8	5.5	7.5	5.9	4.5



Slika 2. Povprečne VET za vsa medfazna obdobja koruze za postaje Murska Sobotna, Lendava, Veliki Dolenci.



Slika 3. Povprečne MVET za vsa medfazna obdobja koruze za postaje Murska Sobotna, Lendava, Veliki Dolenci.



Slika 4. Povprečne VKTE za vsa medfazna obdobja koruze za postaje Murska Sobota, Lendava, Veliki Dolenci.

Podobno kot variabilnost dolžin medfaznih obdobjev kažejo zelo veliko variabilnost tudi temperaturne vsote (preglednica 2). Ponovno najmanj variirajo vsote temperatur po vseh treh metodah v obdobjih 3.list-metličenje, setev-3.list in 3.list-svilanje.

Obdobje setev-svilanje zajema vsa obravnavana fenološka medfazna obdobja koruze. Dolžina tega obdobja je važno merilo za ocenitev primernosti lokacije za gojenje določenega hibrida (FAO konvencija). Na podlagi teh ugotovitev smo pri analizi povezav v nadaljevanju uporabili samo to medfazno obdobje. Primerjava vsot temperatur med kraji za to obdobje je pokazala, da statistično značilnih razlik med postajami v VET in MVET ni, so pa statistično značilne razlike med postajama Veliki Dolenci in Lendavo v VKTE.

Zanimalo nas je, ali so zveze med VET, MVET in VKTE in dolžino medfaznega obdobja setev-svilanje dovolj tesne, da bi lahko na osnovi novih vrednosti napovedali dolžino tega medfaznega obdobja. V ta namen smo izračunali korelacijske koeficiente za dolžino medfaznega obdobja setev-svilanje in VET, MVET ter VKTE za vse postaje. Pokazalo se je, da med VET in MVET in dolžino medfaznega obdobja setev-svilanje ni statistične odvisnosti, obstaja pa pri VKTE (preglednica 3). Tesnost povezav smo testirali s Fischerjevim testom za korelacijske koeficiente pri statističnem tveganju 0.05.

Preglednica 3:

	VKTE se-s
se-s	Murska Sobota r = 0.89*
	Lendava r = 0.56
	Veliki Dolenci r = 0.78*

Legenda:

se-s.....dolžina obdobja setev-svilanje

VKTE se-s...vsota koruznih toplotnih enot od setve do svilanja

*.....statistično značilno pri tveganju 0.05

Kot je bilo že prej omenjeno, se podatki za Velike Dolence in Mursko Soboto statistično ne razlikujejo. Regresijski premici odvisnosti dolžine medfaznega obdobja setev-svilanje od VKTE za oba kraja sta podobni. Zato smo te podatke združili in določili skupni model (enačba 3).

$$se - s = g + h * VKTE \quad (3)$$

$$r = 0.83^*$$

$$g = - 19.61$$

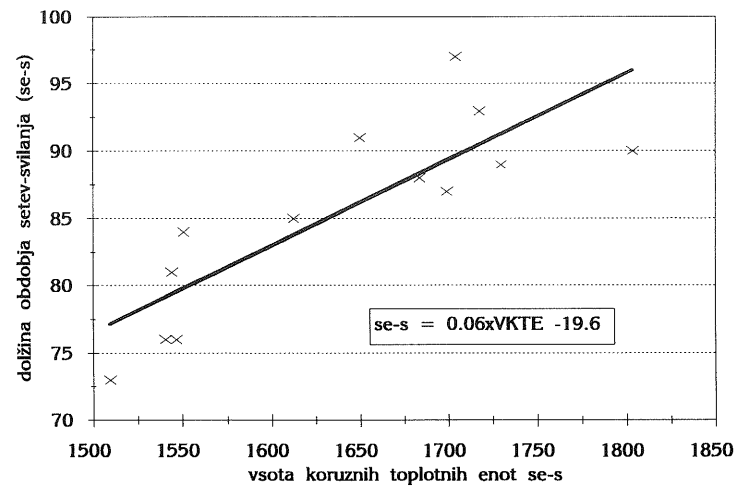
$$h = 0.06$$

se-s = dolžina obdobja setev - svilanje

VKTE = vsota koruznih toplotnih enot za medfazno obdobje setev-svilanje

Rezultati zveze kažejo, da je dolžina medfaznega obdobja setev-svilanje za to obdobje v linearni zvezi z VKTE ($r = 0.83$) (slika 5). Iz vseh naštetih ugotovitev lahko sklepamo, da je VKTE najprimernejša metoda za medfazno obdobje od setve do svilanja koruze,

kar potrjuje ugotovitve Cutfortha in Shaykewicha (1990).



Slika 5. Regresijska premica zveze med dolžino obdobja setev-svilanje in VKTE za to obdobje.

SKLEPI

Na podlagi analize fenoloških podatkov za koruzo s treh postaj v SV Sloveniji za obdobje 1984-90 smo prišli do naslednjih ugotovitev:

Obstaja velika variabilnost dolžin medfaznih obdobj setev-vzrost, vzrost-3.list, metličenje-prašenje, prašenje-svilanje, setev-3.list (koeficienti variabilnosti od 10 do 60%). Variabilnost dolžin obdobj 3.list-metličenje, 3.list-svilanje in setev-svilanje je manjša (koeficienti variabilnosti 3 do 11%).

Variabilnost vsot VET, MVET in VKTE je podobna variabilnosti dolžin medfaznih obdobj.

Med dolžino obdobja setev-svilanje ter VKTE so statistično značilne povezave, ni pa teh povezav z VET in MVET.

Dolžina obdobja setev-svilanje je v tesni linearni zvezi z VKTE za obdobje setev-svilanje ($r = 0.83$). Za oceno dolžine medfaznega obdobja je VKTE primernejša metoda kot VET in MVET.

V analizi smo uporabljali metode, ki smo jih povzeli po rezultatih tujih raziskav. Zato bi bilo potrebno preiskusiti in dopolniti metodo z dodatnimi pogoji za naše ekološke razmere (npr. določitev spodnjega in zgornjega temperaturnega praga).

LITERATURA

1. Daynard, T.B.,1972: Relationships Among Black Layer Formation, Grain Moisture Percentage, and Heat Unit Accumulation in Corn, *Agronomy Journal*, 64: 716 - 719.
2. Coelho, D.T. in Dale, R.F.,1980: An Energy-Crop Growth Variable and Temperature Function for Predicting Corn Growth and Development: Planting to Silking, *Agronomy Journal*, 72: 503 - 510.
3. Major, D.J. et al, 1983: An evaluation of the corn heat unit system for the short-growing season growing regions across Canada, *Can. J. Plant Sci.*, 63:121-130.
4. Cutforth, H.W., Shaykewich, C.F.,1990: A temperature response function for corn development.- *Agricultural and Forest Meteorology*, 50: 159 - 171
5. Handbook on Agricultural and Forest Meteorology, Ontario.
6. Robertson, G.W.,1983: Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops, Technical note No.180, WMO, No.620, 32 - 45
7. Narwal, S.S., Poonia S., Singh G., Malik D.S, 1986: Influence of sowing dates on the growing degree days and phenology of winter maize (*Zea mays.*). *Agricultural and Forest Meteorology*, 38: 47 - 57.
8. Tanjšek, T., 1981: Strnine in koruza v Sloveniji. - Knjižnica za pospeševanje kmetijstva, XI: 104 - 129
9. Malovrh V., Stergar V., 1970: Priročnik za fenološka opazovanja, 17-20
- 10.Štepančič,D. s sodelavci, 1984: Pedološka karta Slovenije - Komentar k listu Murska Sobota, 7 - 10

ZVEZE MED DOLŽINAMI MEDFAZNIH OBDOBIJ VINSKE TRTE (*Vitis vinifera*) IN VSOTAMI TEMPERATUR NAD IZBRANIMI TEMPERATURNIMI PRAGOVI V SLOVENIJI

RELATIONS BETWEEN THE DURATION OF VARIOUS PHENOLOGICAL PHASES OF THE VINE (*Vitis vinifera*) AND AIR TEMPERATURE SUMS ABOVE CERTAIN TEMPERATURE THRESHOLDS IN SLOVENIA

Ana ŽUST

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana

SUMMARY

In two different climatic areas, Slap near Vipava (45 °45' and 13 °56') and Gornja Radgona (46 °40' and 16 °00') we analysed relations between the duration of mean phenological interphases of the vine (first shoot - first leaves, first shoot - beginning of blossoming, beginning of blossoming - end of blossoming, end of blossoming - beginning of ripening, beginning of ripening - end of ripening) and sums of temperatures above temperature thresholds (average daily air temperature greater or equal than 10 °C, maximum daily air temperature greater or equal than 15 °C, maximum daily air temperature greater or equal than 20 °C). A linear relation was obtained between the interphase periods and the sums of temperature above the temperature thresholds.

POVZETEK

Na dveh klimatsko različnih območjih, v Slapu pri Vipavi (severna geografska širina 45 °45' in vzhodna geografska dolžina 13 °56') in v Gornji Radgoni (severna geografska širina 46 °40' in vzhodna geografska dolžina 16 °00') smo proučevali zveze med dolžinami glavnih medfaznih obdobj vinske trte (prvi poganjki-prvi listi, prvi poganjki-začetek cvetenja, začetek cvetenja-konec cvetenja, konec cvetenja-začetek zorenja, začetek zorenja-konec zorenja) z vsotami temperatur nad temperaturnimi pragovi (povprečna dnevna temperatura zraka večja ali enaka 10 °C, maksimalna dnevna temperatura zraka večja ali enaka 15 °C, maksimalna dnevna temperatura zraka večja ali enaka 20 °C). Med dolžinami medfaznih obdobj in temperaturnimi vsotami nad izbranimi temperaturnimi pragovi je bila ugotovljena linearna zveza.

UVOD

Letni razvoj vinske trte lahko opišemo z zaporedjem fenoloških stadijev, ki obsegajo čas dveh vegetacijskih obdobj. V prvo, tako imenovano latentno obdobje spadajo

zasnova, ter vse naslednje latentne stopnje razvoja brsta, v drugem aktivnem obdobju pa sledimo brstenju, razvoju listov, rasti mladik, nastavku socvetij, cvetenju, oplodnji, rasti, barvanju in zorenju jagod ter lesa, ki je hkrati že priprava na zimski počitek (1). Nastop posamezne fenofaze, kakor tudi trajanje medfaznih obdobjij sta odvisna od letnega biološkega ritma. Ta je po Leopoldu in Kriedmanu (1975) notranjega izvora, v odvisnosti od tako imenovanega fitokroma, ki povezuje nekatere morfogogenetske procese s svetlobo določenih valovnih dolžin. Letni biološki ritem razvoja trte je precej stabilen in neodvisen od klimatskih razmer. Do takih ugotovitev so pripeljala proučevanja dolgoletnega niza podatkov o fenofazah trte in dolžine medfaznih obdobjij (1).

Po drugi strani so proučevanja nastopa nekaterih fenofaz pri različnih kmetijskih kulturah pokazala, da gre del variabilnosti v nastopu posamezne fenofaze in trajanja medfaznega obdobja med leti in kraji pripisati tudi vremenskim parametrom. Baker in Brooks (1944) sta proučevala vpliv temperature zraka na dolžino obdobja od cvetenja do polne zrelosti pri koščičarjih. Prva sta izpostavila uporabnost temperaturih vsot pri določanju polne zrelosti (3). Eggert (1960) navaja visoko korelacijo med vsoto povprečnih dnevniških temperatur zraka nad pragom 0 °C štirideset dni po cvetenju in številom dni od cvetenja (odpadanja venčnih listov) do obiranja pri jablanah (3). Perry in sod. (1986) so dobili dobre rezultate z modelom, ki izraža dolžino medfaznega obdobja od cvetenja do obiranja pri jablanah kot funkcijo temperaturnih vsot nad različnimi temperaturnimi pragovi (3). Povezanost fenofaze olistanja jablane z vsoto temperatur zraka nad pragom 5 °C je potrdila tudi A. Sušnik (1990)(4).

Odvisnost fenološkega razvoja od vremenskih razmer so potrdile tudi raziskave pri vinski trti. May (1964) navaja, da vinska trta vzbrsti hitreje, pri višji temperaturi (2). Peyer in Koblet (1966) sta proučevala vpliv temperature zraka in trajanja sončnega obsevanja na dolžino obdobja od brstenja do cvetenja vinske trte. Ugotovila sta pomembno vlogo opoldanskih temperatur, kar je potrebno razumeti s fiziološkega stališča. V času opoldanskih temperatur je tudi osvetlitev največja in so hkrati izločene nižje nočne temperature. Izpostavila sta temperaturo 15 °C kot ničelno točko rasti (2). Calo (1972 a) je proučeval toplotne zahteve trte v obdobju od brstenja do cvetenja. Ugotovil je linearno zvezo med temperaturno vsoto srednjih dnevniških temperatur nad temperaturnim pragom 0 °C in dolžino obdobja od brstenja do cvetenja vinske trte (1).

Fenološka opazovanja letnega razvoja vinske trte v naših pridelovalnih okoljih kažejo precejšnja nihanja v nastopu fenofaz v posameznih letih, zato smo poskušali proučiti vpliv temperaturnih razmer na fenološki razvoj vinske trte. Izbrali smo dvojico klimatsko različnih območij (Slap pri Vipavi v primorskem vinorodnem rajonu z modificiranim mediteranskim podnebjem in Gornja Radgona v podravskem vinorodnem rajonu, kjer že prevladuje tip celinskega podnebjaja).

Vpliv temperaturnih razmer na dolžino medfaznih obdobjij smo izrazili s temperaturnimi vsotami zraka nad izbranimi pragovi. Za to metodo dela smo se odločili na osnovi rezultatov predhodnih del drugih avtorjev s tega področja, ki so obravnavali temperaturo (izraženo s temperaturnimi vsotami) kot dokaj zanesljiv parameter, ki vpliva na fenološki razvoj vinske trte (1,2,3). Želeli smo ugotoviti, če višja temperatura nad izbranimi temperaturnimi pragovi pospešuje letni razvoj vinske trte, kar naj bi se izrazilo v skrajševanju medfaznih obdobjij. To smo proučili s statistično analizo dolgoletnih fenoloških in klimatoloških podatkov, za katere smo izračunali osnovne statistike in medsebojne zveze poiskali z regresijsko analizo, katere rezultate prikazujemo v tem prispevku. Želeli smo ugotoviti tudi vpliv lokacije na trajanje medfaznih obdobjij in pripadajočih temperaturnih vsot nad izbranimi temperaturnimi pragovi.

METODE DELA

V obdelavo smo vključili dvajsetleten (1971-90) niz fenoloških podatkov za sorto laški rizling na fenoloških postajah Slap pri Vipavi (severna geografska širina 45 °45' in vzhodna geografska dolžina 13 °56') in Gornja Radgona (severna geografska širina 46 °40' in vzhodna geografska dolžina 16 °00').

Fenološka opazovanja potekajo po predpisih Svetovne meteorološke organizacije in zajemajo naslednje faze:

- **začetek odganjanja mladik** - dan, ko na opazovanih trtah dosežejo mladike dolžino od 2 do 3 cm;
- **prvi listi** - dan, ko mladike razvijejo liste do velikosti 2 x 3 cm;
- **začetek cvetenja** - dan, ko se na spodnjih grozdcih odprejo cvetovi in začnejo odpadati venčni listi, ki so zrasli v t.i. kapico;
- **konec cvetenja** - dan, ko odpadejo cvetne kapice na cvetovih zgornjih grozdcih, prašniki se posušijo, oplojene plodnice se začnejo debeliti;
- **začetek zorenja** - dan, ko se na grozdih pojavijo prve jagode z opisanimi značilnostmi opazovane sorte;
- **polna dozorelost** - dan, ko dosežejo jagode svojo končno velikost, značilno barvo in okus;

Za fenološke podatke, ki so bili izraženi kot julijanski dan v letu, smo izračunali osnovne statistike: povprečni dan nastopa vseh obravnavanih fenofaz in ekstremne

vrednosti. Enako statistično obdelavo smo napravili tudi za dolžino medfaznih obdobij in temperaturne vsote nad obravnavanimi pragovi.

Za analizo zveze med temperaturnimi razmerami in fenološkim razvojem za isto obdobje (1971-1990) smo uporabili meteorološke podatke za povprečno dnevno temperaturo zraka na višini 2m in dnevne maksimalne temperature zraka na meteoroloških postajah Slap pri Vipavi in Gornja Radgona.

Obravnavali smo temperaturne vsote nad pragovi:

- povprečna dnevna temperatura zraka ≥ 10 °C za medfazna obdobja od začetka rasti poganjkov (A) do prvih listov (B) in za obdobje od začetka rasti poganjkov (A) do začetka cvetenja (C);
- maksimalna dnevna temperaturna zraka ≥ 15 °C za medfazna obdobja od začetka rasti poganjkov (A) do začetka cvetenja (C), za obdobje cvetenja (C-D) in za obdobje zorenja (E-F);
- maksimalna dnevna temperatura zraka ≥ 20 °C za obdobje cvetenja (C-D), za obdobje od konca cvetenja (D) do začetka zorenja (E) in za obdobje zorenja (E-F);

Temperaturne pragove smo izbrali na osnovi zahtev vinske trte za posamezna razvojna obdobja. Vinska trta spomladi vzbrsti potem, ko srednja dnevna temperatura zraka preide 10 °C (1,2,4). Minimalna temperatura zraka za cvetenje, prašenje in oplodnjo je 15 °C, najugodnejše pa potekajo ti procesi v delu dneva, ko je temperatura zraka med 20 in 25 °C. Minimalna temperatura zraka za rast jagod in mladik ter barvanje jagod je 20 °C, najugodnejše pa poteka rast in barvanje jagod, ko je temperatura zraka med 25 in 30 °C. Tudi zorenje poteka najugodnejše v delu dneva, ko so temperature zraka med 20 in 25 °C (6). Na tej osnovi so bili izbrani temperaturni pragovi: povprečna dnevna temperatura zraka je večja ali enaka 10 °C, ter maksimalna dnevna temperatura zraka je večja ali enaka 15 °C in 20 °C.

Zvezo med temperaturo izraženo s temperaturno vsoto nad izbranim temperaturnim pragom in dolžino medfaznih obdobij smo ugotovili z regresijsko analizo. Medsebojno zvezo med obema spremenljivkama smo izrazili z regresijsko enačbo:

$$Y = b \cdot x + a$$

kjer je Y medfazno obdobje in X temperaturna vsota.

Tesnost zveze smo izrazili s korelacijskim koeficientom (r). Razlike med dolžino medfaznih obdobij in pripadajočimi temperaturnimi vsotami med obema krajema smo obravnavali z metodo parov.

REZULTATI

Nastopi vseh obravnavanih fenofaz (od A do E) na obeh lokacijah nihajo v posameznih letih (slika 1 in 2). Precejšnje so tudi razlike med ekstremnimi vrednostmi, ki so v Slapu blizu 30 dni, v Gornji Radgoni pa to vrednost celo presežejo (preglednica 1).

Velike razlike so tudi v trajanju medfaznih obdobij. V večini primerov je maksimalna dolžina medfaznih obdobij lahko dvakratna vrednost minimalne dolžine medfaznih obdobij (preglednica 2). Variabilnost (KV%) med posameznimi leti je za medfazna obdobja A - B, C - D in E - F med 23% in 30% (izstopa obdobje E - F v Gornji Radgoni, kjer je KV 37%). Nekoliko manjša je variabilnost v trajanju medfaznih obdobij A - C in D - E (7% do 18%). Iz tega lahko sklepamo, da le na osnovi trajanja medfaznih obdobij ni mogoče napovedati, koliko dni po nastopu ene fenofaze lahko pričakujemo naslednjo.

Preglednica 1. Povprečni datum nastopa fenofaz vinske trte (laški rizling) in ekstremne vrednosti v Slapu pri Vipavi in v Gornji Radgoni (obdobje 1972-90).

Postaja		A	B	C	D	E	F
Slap/Vipava	povp.	24/4	27/4	9/6	18/6	29/8	15/9
	min.	9/4	12/4	1/6	9/6	12/8	3/9
	maks.	4/5	9/5	24/6	3/7	16/9	30/9
G.Radgona	povp.	2/5	11/5	19/6	27/6	30/8	22/9
	min.	15/4	21/4	4/6	9/6	21/9	9/9
	maks.	17/5	28/5	30/6	14/7	25/9	20/10

Legenda: A - začetek rasti poganjkov D - konec cvetenja
 B - prvi listi E - začetek zorenja
 C - začetek cvetenja F - splošna dozorelost

Tudi vsote temperatur za medfazna obdobja nad izbranimi pragovi kažejo velike razlike med ekstremnimi vrednostmi in precejšno variabilnost med leti na obeh lokacijah (preglednica 3). Za obdobje od prvih poganjkov do prvih listov (A-B) nad pragom $T_{povp.} \geq 10$ °C, ter za obdobje cvetenja (C-D) in zorenja (E-F) nad pragoma $T_{maks.} \geq 15$ °C in $T_{maks.} \geq 20$ °C so koeficienti variabilnosti od 19% do 45%. Nekoliko manjše je nihanje temperaturnih vsot (KV% od 7% do 14%) v obdobjih od prvih poganjkov do začetka cvetenja (A-C) nad pragoma $T_{povp.} \geq 10$ °C in $T_{maks.} \geq 15$ °C in od konca cvetenja do začetka zorenja (D-E) nad pragom $T_{maks.} \geq 20$ °C.

Preglednica 2. Povprečna dolžina medfaznih obdobij v dneh za vinsko trto (laški rizling), ekstremne vrednosti in KV% na postajah Slap pri Vipavi in v Gornji Radgoni (obdobje 1971-90).

postaja	medf.obdobje	A-B	A-C	C-D	D-E	E-F
Slap/Vipava	povp.	5	46	9	72	20
	min.	3	32	6	62	10
	maks.	7	59	15	82	27
	KV%	25	17	28	7	29
G.Radgona	povp.	11	49	8	66	24
	min.	6	27	4	49	16
	maks.	16	68	13	90	41
	KV%	23	18	30	17	37

Legenda: A-B od prvih poganjkov do prvih listov
 A-C od prvih poganjkov do začetka cvetenja
 C-D od začetka do konec cvetenja
 D-E od konca cvetenja do začetka zorenja
 E-F od začetka do polne zrelosti

Rezultati kažejo, da je dolžina nekaterih medfaznih obdobij s pripadajočimi temperaturnimi vsotami nad obravnavanimi pragovi odvisna tudi od lokacije, ter parametrov povezanih z njo (npr. lega, nagib nadmorska višina...). Primerjava med krajema (testiranje z metodo parov z 99% verjetnostjo) je pokazalo statistično značilen vpliv lokacije na trajanje medfaznega obdobja in pripadajočih temperaturnih vsot za obdobja od prvih poganjkov do prvih listov (A-B) nad pragom $T_{povp.} \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}$, od prvih poganjkov do začetka cvetenja (A-C) nad pragoma $T_{povp.} \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}$ in $T_{maks.} \geq 15 \text{ } ^\circ\text{C}$, ter za obdobje od konca cvetenja do začetka zorenja (D-E) nad pragom $T_{maks.} \geq 20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Za obdobji cvetenja (C-D) in zorenja (E-F) nad pragoma $T_{maks.} \geq 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ in $T_{maks.} \geq 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ vpliv kraja ni statistično značilen.

Preglednica 3. Povprečne vsote temperatur (v $^\circ\text{C}$) nad obravnavanimi pragovi, ekstremne vrednosti in variabilnost (KV%) za medfazna obdobja vinske trte (laški rizling) v Slapu pri Vipavi in v Gornji Radgoni (obdobje 1971-1990).

Slap pri Vipavi								
prag	$T \geq 10 \text{ } ^\circ\text{C}$		$T_{maks.} \geq 15 \text{ } ^\circ\text{C}$			$T_{maks.} \geq 20 \text{ } ^\circ\text{C}$		
	A-B	A-C	A-C	C-D	E-F	C-D	D-E	E-F
povp.	54	687	932	207	412	193	1934	442
min.	32	562	757	148	718	138	1712	255
maks.	81	818	1073	308	663	264	2204	718
KV%	24	11	10	21	45	19	7	35
Gornja Radgona								
povp.	133	773	1002	199	481	183	1591	410
min.	66	542	740	77	173	77	1267	187
maks.	219	961	1188	288	854	258	2055	706
KV%	30	14	13	29	37	28	14	39

*Legenda je enaka kot pri preglednici št.2

Primerjava variabilnosti obravnavanih medfaznih obdobij z variabilnostjo pripadajočih temperaturnih vsot nad obravnavanimi pragovi ne kaže velikih razlik (preglednici 2 in 3), kar nakazuje možnost povezave med obema parametroma. Regresijska analiza (preglednica 4) je pokazala pozitivno linearno povezanost med dolžino medfaznih obdobij in pripadajočimi temperaturnimi vsotami nad vsemi obravnavanimi temperaturnimi pragovi ($r = 0.70$ do 0.97). Po tej plati se naši rezultati približajo ugotovitvam Cala (1972 a), ki je za obdobje od brstenja do cvetenja in vsoto temperatur nad pragom $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ugotovil linearno zvezo (r je 0.72 za pozne in r je 0.98 za zgodnje sorte vinske trte) (1).

Preglednica 4. Regresijske zveze med dolžino medfaznih obdobj in vsotami temperatur nad izbranimi pragovi za postaji Slap/Vipava in G. Radgona.

prag	SLAP		G.RADGONA		
	zveza	r	zveza	r	
A-B T _{povp.} ≥ 10 °C	y=0.06x+1.2	0.70	y=0.07x-0.12	0.93	
A-C T _{povp.} ≥ 10 °C	y=0.09x+20	0.93	y=0.08x-16	0.93	
T _{maks.} ≥ 15 °C	y=0.07x-18	0.83	y=0.06x-17	0.89	
C-D T _{maks.} ≥ 15 °C	y=0.05x-2	0.95	y=0.04x-0.8	0.96	
T _{maks.} ≥ 20 °C	y=0.04x-0.8	0.71	y=0.04x-0.2	0.84	
D-E T _{maks.} ≥ 20 °C	y=0.03x+15	0.75	y=0.05x+7.3	0.86	
E-F T _{maks.} ≥ 15 °C	y=0.04x+1.2	0.97	y=0.03x+6.8	0.84	
T _{maks.} ≥ 20 °C	y=0.03x+5.5	0.85	y=0.05x+4.9	0.85	

*Legenda ista kot pri preglednici št.2

Rezultati regresijske analize kažejo, da je dolžina medfaznih obdobj linearna funkcija temperaturne vsote. Čim večja je ta, tem daljše je medfazno obdobje. To je v nasprotju z našimi pričakovanji, da višja temperatura pospešuje razvoj trte v smislu skrajševanja medfaznih obdobj. Do takih predvidevanj so nas napeljala le praktična opažanja razvoja trte v zelo vročih vremenskih obdobjih. Rezultati dajejo slutiti, da bi bilo zato bolje temperaturo kako drugače opredeliti. Na primer natančneje izbrati temperaturne pragove, obravnavati število dni s temperaturo nad izbranimi pragovi ali pa obravnavati temperaturo skupaj z drugimi vremenskimi parametri (sončno obsevanje, padavine itd.).

Rezultati te naloge so le majhen del obsežnega področja, ki ga nudi agrometeorologija vinske trte. Kljub temu bodo gotovo uporabljivi pri nadaljnjih proučevanjih, predvsem pri načrtovanju modelov za določitev odvisnosti razvoja trte od meteoroloških parametrov v uporabne agrotehnične namene.

SKLEPI

Rezultati naloge so pokazali pozitivno linearno zvezo med dolžino medfaznih obdobj razvoja vinske trte in vsotami temperatur nad pragovi: povprečna dnevna temperatura zraka ≥ 10 °C (za medfazno obdobje od prvih poganjkov do prvih listov in od prvih

poganjkov do začetka cvetenja), maksimalna dnevna temperatura zraka ≥ 15 °C (za medfazna obdobja prvi poganjki - začetek cvetenja, cvetenje, in zorenje) in maksimalna dnevna temperatura zraka ≥ 20 °C (za medfazna obdobja cvetenje, konec cvetenja - začetek zorenja in zorenje).

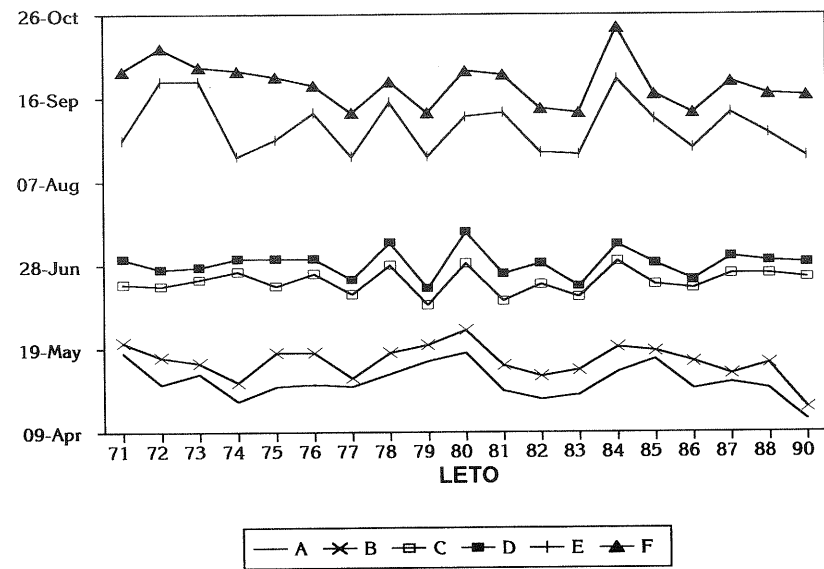
Predpostavka, da višje temperature krajšajo trajanje medfaznih obdobj razvoja vinske trte, se z metodo temperaturnih vsot nad obravnavanimi temperaturnimi pragovi ni potrdila.

Trajanje medfaznih obdobj razvoja vinske trte in pripadajočih temperaturnih vsot nad obravnavanimi temperaturnimi pragovi za medfazna obdobja od prvih poganjkov do prvih listov (T_{povp.} ≥ 10 °C), od prvih poganjkov do začetka cvetenja (T_{povp.} ≥ 10 °C in T_{maks.} ≥ 15 °C) in od konca cvetenja do začetka zorenja (T_{maks.} ≥ 20 °C) je odvisno tudi od lokacije. Za obdobji cvetenja in zorenja (T_{maks.} ≥ 15 °C in 20 °C) vpliv lokacije ni statistično značilen.

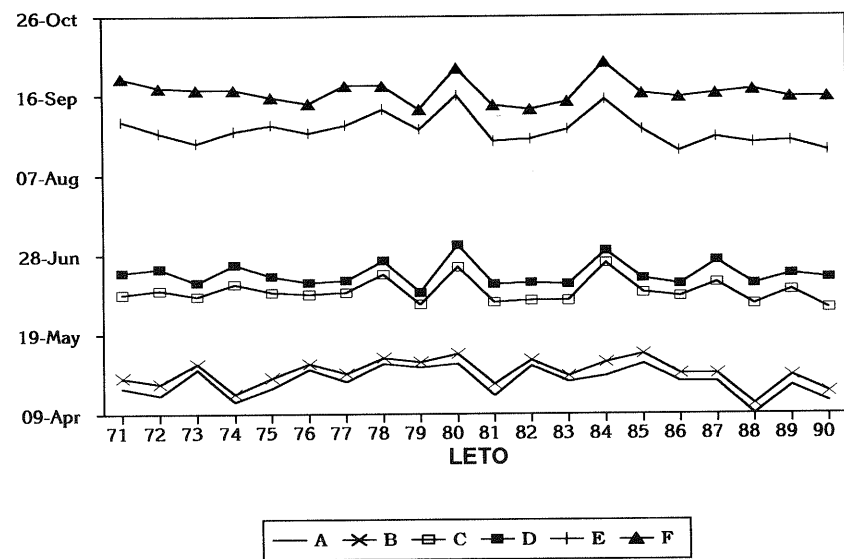
Klimatološki in fenološki podatki so iz arhiva Hidrometeorološkega zavoda republike Slovenije

LITERATURA

1. Carbonneau A., Riou C., Guyon D., Riou J., Schneider C., Agrometeorologie de la Vigne en France, 1992: 7-111
2. Peyer E., Koblet W., 1966. Der Einfluss der Temperatur und der sonnenstunden auf den Blutenzeitpunkt der Reben. Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau, 1966: 250- 255
3. Perry K.B., Blankenship S.M., Unrath C.R., 1986. Predicting harvest date of "Delicious" and "Golden Delicious" apples using heat unit accumulations. Agricultural and Forest Meteorology, 1987: 81-88
4. Dobršek T., Vinogradništvo Dzs 1978: 59-65
5. Sušnik A., 1990. Fenološki razvoj štirih sort jablan glede na temperaturni prag v Sloveniji. Diplomsko delo 1990: 42-80



Slika 1. Fenofaze vinske trte (laški rizling) v letih od 1971 - 90 (Gornja Radgona)



Slika 2. Fenofaze vinske trte (laški rizling) v letih 1971 - 90 (Slap pri Vipavi)

**ZNAČILNOSTI CVETENJA NEKATERIH VRST RASTLIN IN NJIHOVA
UPORABNOST V AGROMETEOROLOGIJI**

**BLOSSOMING PHAENOPHASES OF SOME PLANTS AND THEIR
USE IN AGROMETEOROLOGY**

Ciril ZRNEC

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana

SUMMARY

The present paper discusses the phenological blossom characteristics of autochthonic plant species widespread in Slovenia, namely (*Prunus domestica*, *Sambucus nigra*, *Taraxacum officinale*). The first blossom phase depends on the height above sea level of the plants. The relation between the phenophase of blossoming of the autochthonic plant species and blossom the phenophase of cultivated fruit trees can save as a tool in agrometeorological prognosis.

POVZETEK

Prispevek obravnava fenološke značilnosti cvetenja dveh samoniklih vrst rastlin (črnega bezga in regrata), ki sta v Sloveniji splošno razširjeni ter fenološke značilnosti cvetenja domače češplje (*Prunus domestica*). Ugotovljena je tesna povezanost med datumom pojava prvih cvetov izbranih vrst in nadmorsko višino ter povezanost pri časovnih nastopih fenofaz cvetenja pri samoniklih rastlinah in pri gojenem sadnem drevju. Rezultati analize bodo lahko uporabljeni kot vhodni parameter za agrometeorološke napovedi in vrednotenja.

1. UVOD

Rastlina, kot dinamičen živ organizem, je med vsem svojim razvojnim ciklusom tesno odvisna od številnih faktorjev okolja. Ti nanjo delujejo kompleksno, zato so prav odnosi rastline okolje zelo zapleteni in pogostokrat težko razložljivi.

Vsekakor je rastlina najbolj odvisna od vremenskih dejavnikov (temperatura, vlaga, svetloba,...), ker ti direktno odločajo o vseh osnovnih življenjskih procesih in aktivnostih /3,4/. Le ob pogoju, da so ti faktorji primerni - ugodni, tečeta razvoj in rast normalno. Rastlina doseže vse tiste razvojne stopnje fenološke faze razvoja, ki so genetsko določene in vrstno značilne (npr.: brstenje, olistanje, vznik, cvetenje, razvoj plodov, semen, itd.).

Zaradi stalnih sprememb vremenskih faktorjev med letom se ritem razvoja rastline spreminja, zato rastlina doseže določeno fenološko fazo prej ali pozneje. Bioritmika rastline je poleg genetskih danosti, dejanski odraz vremenskih vplivov.

HMZ ima bogat arhiv fenoloških podatkov. Že desetletni niz f. podatkov, v članku je obravnavano obdobje 1981 - 1990, nam nudi dober vpogled v zakonitosti fenološkega razvoja rastlin v slovenskem prostoru.

V prispevku želimo:

- predstaviti časovne in prostorske značilnosti fenološke faze začetka cvetenja dveh splošno razširjenih avtohtonih vrst, regrata in črnega bezga, ter fazo cvetenja pri domači češplji, in
- poiskati, kakšne so medsebojne zveze za faze cvetenja med samoniklima vrstama (črni bezeg, regrad) in kmetijsko rastlino (domačo češpljo) /7/.

Z upoštevanjem korelacij med posameznimi fenološkimi fazami različnih rastlinskih vrst je možno uporabiti fenološke podatke razširjene vrste za prognozo (korelacijsko sorodne) fenološke faze druge rastlinske vrste. Prav tako bi bilo možno tak fenološki podatek negojene vrste zaradi korelativnih povezav uporabiti kot nadomestilo manjkajočega podatka primerjalne vrste.

2. FENOLOŠKE ZNAČILNOSTI CVETENJA REGRATA, ČRNEGA BEZGA IN DOMAČE ČEŠPLJE

Za vrednotenje značilnosti fenoloških faz cvetenja črnega bezga, regrata in domače češplje za obdobje 1981-90 v Sloveniji so bili upoštevani v največji možni meri vsi fenološki podatki z vseh postaj, ki so značilne za širše območje in so imele sklenjen niz opazovanj. Ti številni in kvalitetni fenološki podatki so bili uporabljeni pri statističnih obdelavah.

REG RAT: je splošno razširjena zelnata rastlina, pogosta v nižinah kakor tudi na znatnih nadmorskih višinah. Zato so podatki za pojav prvih cvetov številni in kvalitetni, saj je določitev, kdaj faza nastopi, zelo enostavna /7,8/. Prav zaradi teh lastnosti je bil regrad izbran za ugotavljanje fenološke značilnosti faze cvetenja.

V desetletnem povprečju je regrad začel cveteti na 56 (od skupaj 67) postajah v mesecu aprilu (na 13 postajah v 1. dekad, 26 postajah v 2. dekad in 17 postajah v 3. dekad aprila). Na Primorskem in v njenem zaledju so se prvi cvetovi pojavili že v 3. dekad marca, v notranjosti Slovenije pa le na postaji Vinomer v Beli Krajini. Na višjeležečih postajah (Jezerko, Planica) regrad zacveti v prvih dneh maja. Najkasneje je zacvetel regrad na Koprivniku nad Bohinjem, 11.5.

ČRNI BEZEG: je značilen lesnati predstavnik grmov, reden spremljevalec človeških bivališč, z izrednimi farmakološkimi lastnostmi. Številni podatki (črni bezeg je opazovalo kar 66 fenoloških postaj), so kljub zahtevnosti določitve faze prvih cvetov zelo kvalitetni. Pri statističnih obdelavah se je zato izkazalo, da je bil črni bezeg izbran kot primeren objekt za vrednotenje fenološke faze začetka cvetenja.

V desetletnem obdobju začne črni bezeg cveteti kar na 57 postajah med 11.5. in 10.6. Le v Primorju (Portorož, Nova Gorica) je črni bezeg začel cveteti pred tem obdobjem (3.5. oz. 8.5.). Na fenoloških postajah, ki so nad 700 m nadmorske višine, se ta fenološka faza pojavi šele v sredini junija. Najkasneje zacveti nad 900 m (Planina nad Golico) 20.6.

DOMAČA ČEŠPLJA: je na Slovenskem splošno razširjena sadna vrsta. Prav zaradi njene razširjenosti (podatke imamo za 53 fenoloških postaj) je izbrana za primer vrednotenja fenološke faze prvih cvetov. Ugotovitev nastopa te fenološke faze je dokaj enostavna, zato so tudi napake pri opazovanjih redke. Domača češplja začne cveteti na večini fenoloških postaj med 11.4. in 10.5.

Najpogosteje zacveti domača češplja med 20. in 30. aprilom. Iz tega okvira izstopajo podatki za Primorje, kjer češplja zacveti na začetku aprila (2.4. Portorož in Rižana 9.4.) Kasneje začne cveteti češplja, to je šele v 2. dekad maja na postajah, ki so nad 900 m nadmorske višine.

3. ODVISNOST FENOLOŠKE FAZE ZAČETKA CVETENJA REGRATA, ČRNEGA BEZGA IN DOMAČE ČEŠPLJE OD NADMORSKE VIŠINE

Slovenski prostor je izredno geomorfološko razgiban in reliefno raznolik, zato je nadmorska višina glavni faktor, ki vpliva na ritem razvoja rastlin /2,4/. Od nadmorske višine je namreč odvisna vertikalna spremenljivost klimatskih elementov. Temperatura, ki ima na bioritmiko rastline največji vpliv, z nadmorsko višino pada, zaradi tega pa fenološka faza kasni.

Da bi ugotovili, ali obstajajo povezave med nadmorsko višino in časom nastopa fenološke faze prvih cvetov, smo uporabili regresijsko analizo, ki je pokazala /5,6/:

Tabela 1.: poprečni (julijanski) dan nastopa fenološke faze prvih cvetov pri regratu ter začetka cvetenja črnega bezga in domače češplje na nekaterih f.postajah v Sloveniji v obdobju 1981-1990, s podatkom o nadmorski višini /1/.

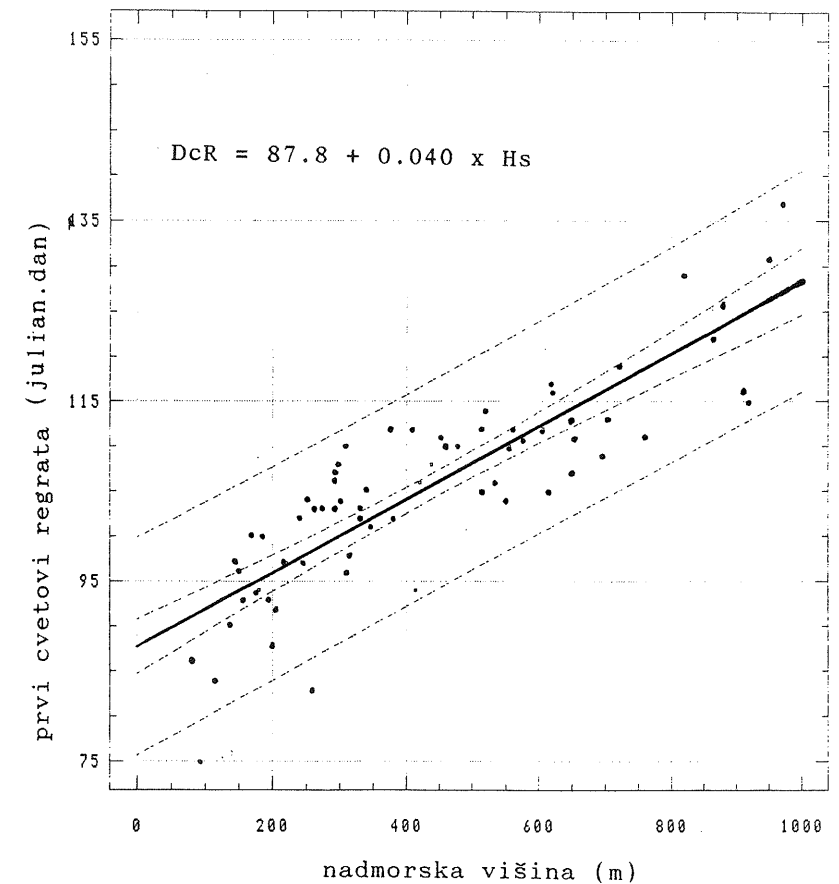
Table 1.: average date of the begining of phenological phase: blossoming for elder tree, dandelion and the begining of blossoming of domestic plums (1981- 1990)

POSTAJA	N.v. (m)	REGRAT	Č BEZEG (zaporedni dan v letu)	ČEŠPLJA
AMBROŽ	920	115	171	131
BIZELJSKO	170	100	141	106
BOH. ČEŠNJICA	620	117	154	
BROD	147	97	140	107
CELJE	380	102	141	112
CERKNICA	576	111	157	125
ČEPOVAN	607	112	161	122
ČRNOMELJ	156	93	139	
GOMILSKO	294	107	144	114
G. RADGONA	205	92	143	110
G. LENART	150	96	143	109
GRAD-CERKLJE	438	108	149	116
GRM-RADOHOVA V.	330	103	149	114
HOČKO POHORJE	650	113	153	
ILIR. BISTRICA	414	94	145	113
JAVORJE	695	109	154	122
JEZERSKO	879	126	167	
KADRENCI	316	98	140	110
KOBARID	263	103	146	
KOPRIVNIK	971	137		
KRN	910	116	169	129
LENDAVA	195	93	136	103
LESCE	515	112	155	122
LIG	615	105	149	114
LIVOLD	461	110	150	118
LJUBLJANA	299	108	142	
LUČE	520	114	157	119
MARIBOR	275	103	140	109
MOKRONOG	251	104	146	
MOZIRJE	347	101	145	112
MURSKA SOBOTA	184	100	140	110
NOVA GORICA	113	84	128	
NOVAKI	650	107	151	118
NOVA VAS-BLOKE	722	119	166	127
NOVO MESTO	220	97	136	110
PLANINA-GOLICA	950	131	171	130
PLANINA-SEVNICA	560	112	150	118
PODLEHNIK	230			106
PODLIPJE	760	111	159	130
PORTOROŽ	92	75	123	
POSTOJNA	533	106	154	117
PREŽGANJE	656	111	154	119
RADEČE	300	104	149	111
RATEČE-PLANICA	864	122	167	134
RAVNE	410	112	149	
RIZANA	80	86	137	99
ROVTE	705	113	159	127
SEVNO NA DOL.	515	105	154	114
SLAP-VIPAVA	137	90	137	102
SL. KONJICE	332	102	140	113
SORICA	820	129	168	135
STARŠE	240	102	144	107
SVEČINA	293	103	147	116
ŠMARTJE-SEŽANA	311	96	139	111
ŠMARTNO SL. GR.	452	111	152	120
TOLMIN	180	94	143	
TRENTA	622	116	161	
VAČE	550	104	145	113
VEDRIJAN	258	83	133	102
VELENJE	420	106	146	113
V. DOLENCI	308	110	142	
VINOMER	200	88	136	105
VITANJE	478	110	153	122
VRHNIKA	293	106	143	
VRATJI VRH	340	105	142	111
ZG. BITNJE	378	112	153	117
ZIBIKA	245	97	141	109
ZELIMLJE	555	110	153	118

- regrat: fenološka faza prvih cvetov kaže tesno povezanost z nadmorsko višino. Korelacijski koeficient je 0.86. Zanimiv je tudi determinacijski koeficient (73.28%), kar pomeni, da je 73.28% vseh variabilnosti fenološke faze cvetenja pripisano nadmorski višini;

Sl. 1: Regresijska zveza med fenološko fazo prvi cvetovi regrata in nadmorsko višino

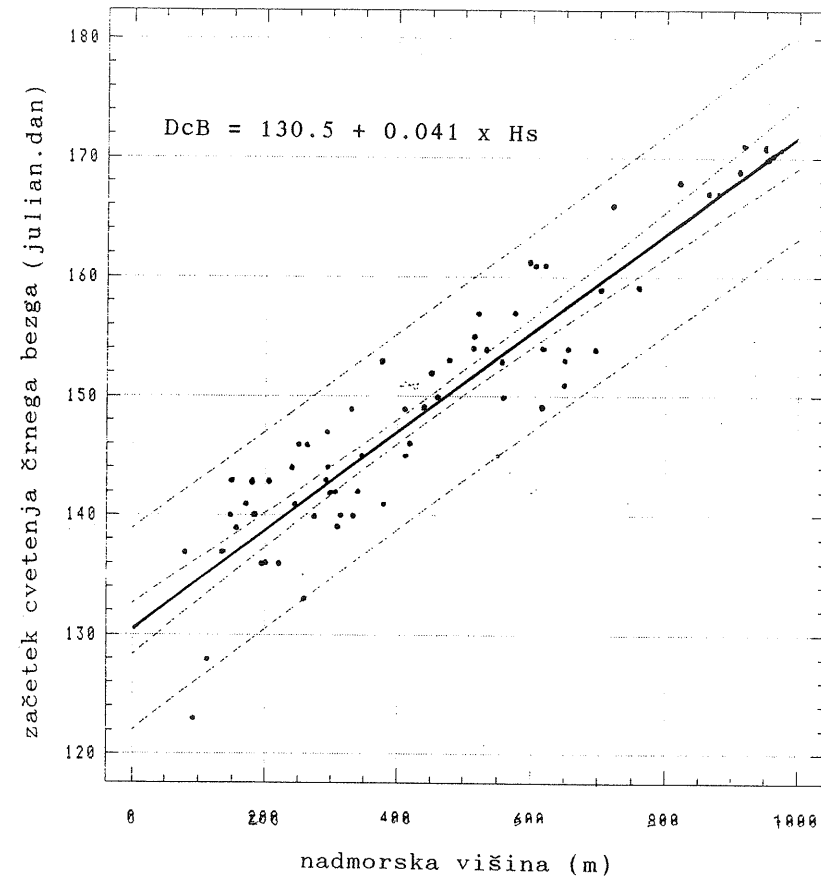
Fig 1: Regression line of phenological phase: first blossoms of dandelion and height (above m.s.l.)



- črni bezeg: korelacijski koeficient je zelo visok: 0.92, kar kaže na izredno odvisnost te fenološke faze od nadmorske višine. Determinacijski koeficient je 84.58%, kar pomeni, da je 84.58% vseh variabilnosti te fenološke faze pripisati nadmorski višini;

Sl. 2: Regresijska zveza med fenološko fazo začetek cvetenja črnega bezga in nadmorsko višino

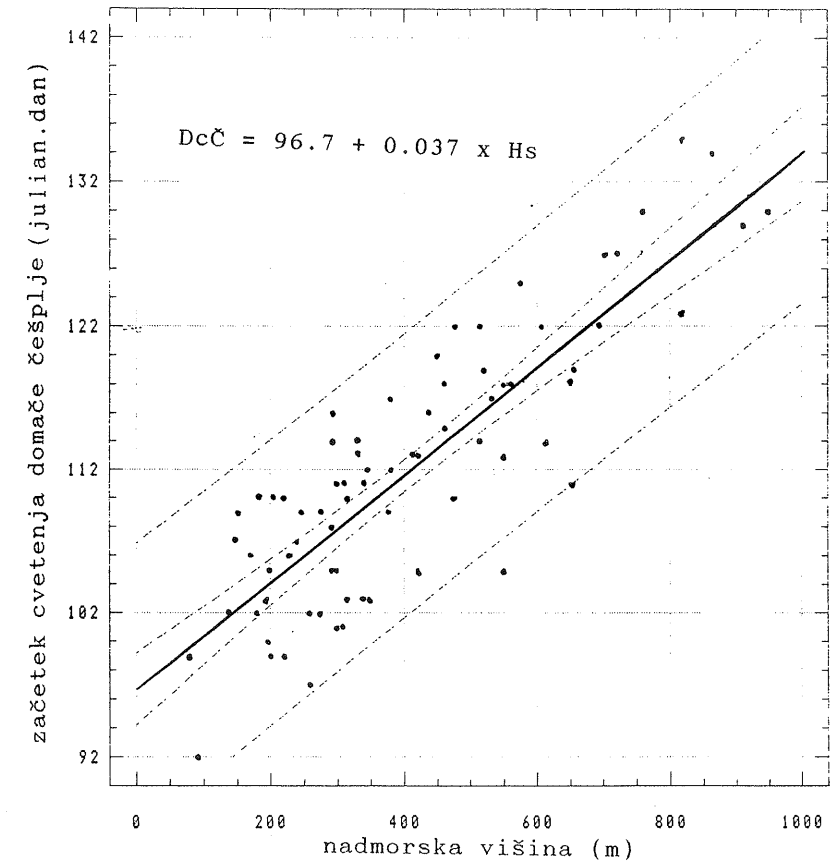
Fig 2: Regression line of phenological phase: first blossoms of elder tree and height (above m.s.l.)



- domača češplja: korelacijski koeficient je 0.85, ki tudi kaže na odvisnost te fenološke faze od nadmorske višine. Determinacijski koeficient (R^2) = 72.49%.

Sl. 3: Regresijska zveza med fenološko fazo začetek cvetenja domače češplje in nadmorsko višino

Fig 3: Regression line of phenological phase first blossoms of domestic plum tree and height (above m.s.l.)



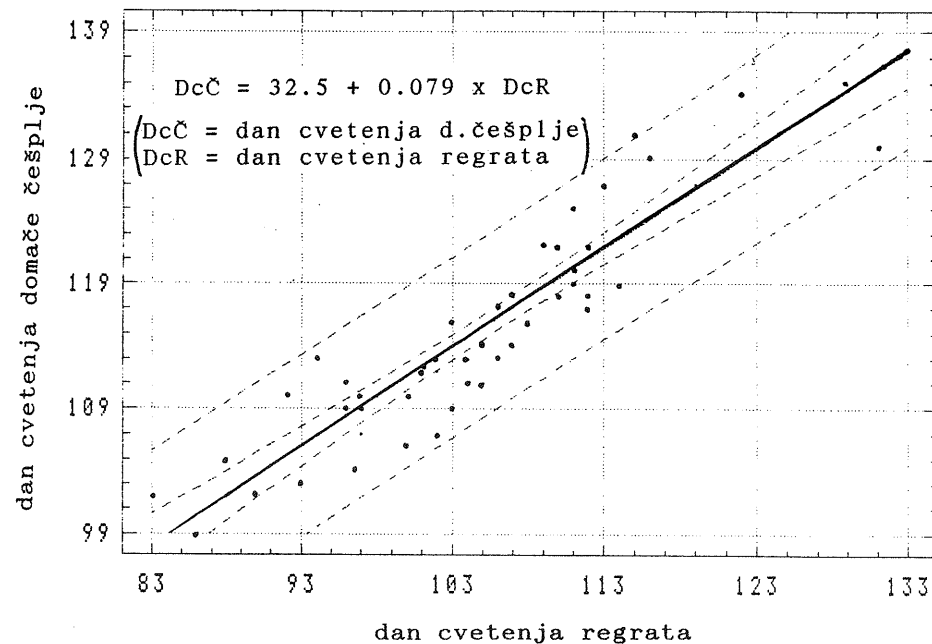
4. SOODVISNOST FENOLOŠKIH FAZ CVETENJA REGRATA, ČRNEGA BEZGA TER DOMAČE ČEŠPLJE

Na osnovi linearne regresije je ugotovljena zveza med fenološkima fazama cvetenja regrata in domače češplje ter zveza med fenološkima fazama cvetenja črnega bezga in domače češplje. Za statistično obdelavo so prišle v poštev le tiste postaje, ki so imele v obravnavem 10-letnem obdobju po vse tri objekte. Takih postaj je bilo 52.

Pri analizi zveze cvetenja regrata in pojava cvetenja domače češplje smo ugotovili visoko korelacijo (korelacijski koeficient 0.91), pri fenoloških fazah cvetenja črnega bezga in cvetenja domače češplje pa je korelacijski koeficient 0.94.

Sl. 4: Regresijska zveza med dnevom cvetenja regrata in dnevom cvetenja domače češplje.

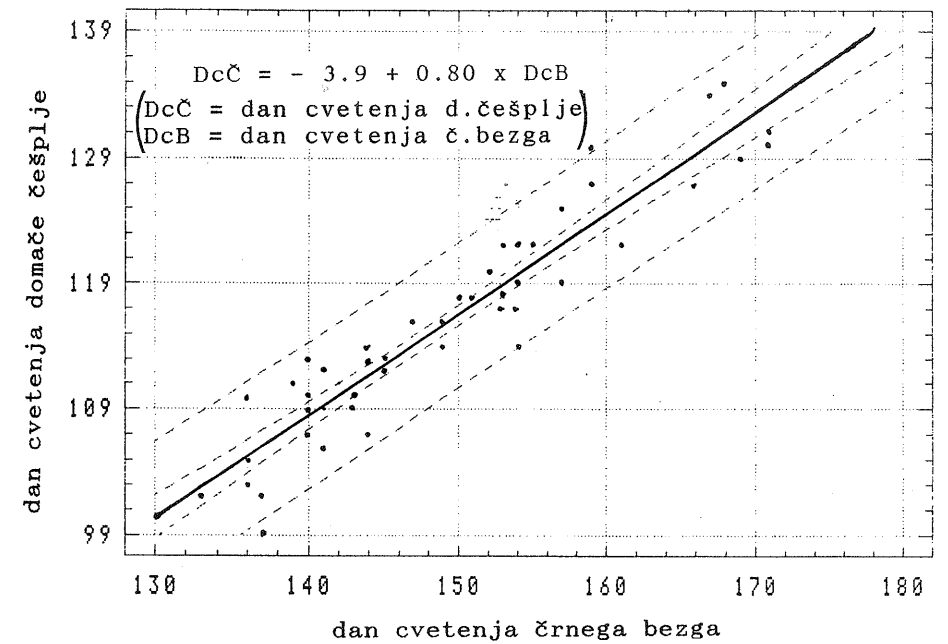
Fig 4: Regression line of the day of dandelion blossoming and blossoming of domestic plum tree.



Če poznamo datum za prve cvetove regrata, lahko predvidimo - ocenimo nastop cvetenja domači češplji. Torej lahko prognoziramo na osnovi poznane faze ene rastline fazo druge rastline. Pri primerjavi faze cvetenja črnega bezga in domače češplje lahko ugotovimo, ali je bila fenološka faza cvetenja domače češplje ustrezna (pravilno določena) glede na fenološko fazo začetka cvetenja črnega bezga.

Sl. 5: Regresijska zveza med dnevom cvetenja bezga in dnevom cvetenja domače češplje

Fig 5: Regression line of the day of elder tree blossoming and blossoming of domestic plum tree



6. SKLEPI

Zaradi izredne razširjenosti regrata, črnega bezga in domače češplje, ki pa so tudi sicer značilne za Slovenijo, smo na podlagi analiz fenoloških (desetletni niz) podatkov ugotovili:

1. Fenološke faze cvetenja pri vseh treh objektih so se pojavljale bolj ali manj v razmiku 30 dni in le na toplejših postajah v Primorju ter na višjih legah so se faze pojavljale izven tega časovnega obdobja. Regrat je cvetel kar na 74% vseh postaj v mesecu aprilu (med 91. in 120. dnem v letu), črni bezeg med 131. in 161. dnem, to je med 11.5. in 10.6. na 56 postajah ali 86% vseh postaj, domača češplja pa je cvetela med 101. in 130. dnem (to je med 11.4. in 10.5.) na 49 od skupnih 53 postaj.

2. Regresijska analiza je pokazala močno odvisnost fenoloških faz cvetenja vseh treh obravnavanih vrst od nadmorske višine. Z višino fenološka faza kasni. Korelacijski koeficient med fenološko fazo in nadmorsko višino je največji pri črnem bezgu 0.92, pri regratu = 0.86, ter pri domači češplji = 0.85, in je statistično visoko signifikanten.

3. Pojavi fenoloških faz cvetenj regrata, črnega bezga ter domače češplje so med seboj tesno povezani. Korelacijski koeficient za odnos regrat-domača češplja je 0.91, za odnos domača češplja-črni bezeg pa je 0.94. Te zveze lahko koristimo za prognozo cvetenja domače češplje. Hkrati lahko to zakonitost izkoristimo za kontrolo podatkov za fenološke faze ene oziroma druge rastline.

VIRI

1. Arhiv fenoloških podatkov HMZ R Slovenije, Ljubljana
2. Gams I.: Temperaturni obrat in navpični gradienti v Slovenje graški kotlini, Geografski vestnik, str.29-49 Ljubljana, 1982
3. Otorepec S.: Agrometeorologija, Nolit, Beograd, 1980
4. Otorepec S.: Agroklimatski atlas SFRJ, I. poljoprivredni deo. Prilog proučavanja agroklimatskih uslova razvoja poljoprivrednih kultura, krmno bilje SHMZ Beograd 1975
5. Pfau R.: Varrianz - und korelationsanalytische Untersuchungen an phänologischen Phasen. Meteorol. Rdsch, 17 Jahrg. Heft 4. 1964, str.113-121
6. Petz B.: Osnove statističke metode, str. 43-53 ;Zagreb, 1974
7. Schnelle F.: Pflanzan phänologie, Leipzig, 1955
8. Seyfert F.: Phänologie, str.65-89 ; Lutherstadt, 1960
9. Zrnec C., Povše M., Bernot F., Mesec J.: Vključevanje meteoroloških osnov v bonitiranje proizvodne sposobnosti zemljišč. Elaborat HMZ, str.6-57, Ljubljana 1980.

VISOKOVODNI VALOVI V ODVISNOSTI OD PADAVIN, VEGETACIJE IN PREDHODNE NAMOČENOSTI ZA REKO SAVINJO

Bogdan LALIĆ

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana

SUMMARY

Flood - discharge hydrographs, as well as the relevant precipitation charts of a large number of flood situations on the river Savinja were processed for the gauging stations at Laško and Nazarje. The basic hydrological characteristics of each flood wave (peak discharge (Q), surface runoff volume, mean amount of precipitation (which was the cause of the flood wave), and the antecedent precipitation index (API)) were determined.

The most frequent range of the average surface runoff coefficient C , being one of the characteristic indicators for the type of drainage basin, was determined on the basis of the processed data. The vital factors influencing the average range of the direct surface runoff coefficient were accounted for. It became evident that for this basin the antecedent precipitation index was not the best indicator for the initial hydrological condition (state of wetness of the soil at the start of rainfall). A selective demonstration showing the influence of the former state of wetness, as to the season, was thus not possible. The best results (good correlation between the total storm rain and the flow increase DQ) were obtained on considering the initial flow (Q_i).

The good correlation between the flow increase (DQ) and net storm rain served for the determination of the range values, which are of great value to the experienced hydrologist for forecasting the peak discharge on the basis of the forecasted precipitation.

POVZETEK

Za večje število visokovodnih situacij na reki Savinji, smo za v.p. Laško in Nazarje obdelali hidrograme visokih vod s pripadajočimi padavinskimi situacijami. Za vsak val smo določili osnovne hidrološke karakteristike (konica visoke vode (Q_{vk}), volumen vala direktnega (hitrega) odtoka, povprečno količino padavin (ki so na povodju povzročile visokovodni val), indeks predhodnih padavin (IPP)).

Na podlagi obdelanih podatkov smo ugotovili najpogostejši razpon povprečnega koeficienta direktnega odtoka C , ki je eden karakterističnih pokazateljev tipa povodja. Prikazali smo glavne dejavnike, ki vplivajo na velikost povprečnega koef. dir. odtoka. Pri tem se je pokazalo, da na obravnavanem povodju indeks predhodnih padavin (IPP) ni najboljši kazalec začetnega hidrološkega stanja (vpliv predhodne namočenosti). Predviden

selektiven prikaz vpliva predhodne namočenosti glede na letni čas tako ni bil možen. Najboljše rezultate (dobra korelacija med bruto padavinami in porastom pretoka DQ) smo dobili z upoštevanjem začetnega pretoka (Qz).

Na podlagi ugotovljene dobre korelativne povezave med porastom pretoka DQ in neto padavinami, smo dobili okvirne vrednosti, ki so izkušenemu hidrologu v precejšnjo pomoč pri izdelavi prognoze porasta visoke vode na podlagi prognoziranih padavin.

1. UVOD

Osnovni namen prispevka je prikazati čim večje število obdelanih podatkov, ki se (HMZ RS) zbirajo in hranijo že vrsto let. V dosedanjih hidroloških analizah so se namreč v glavnem delale obdelave, pri katerih je vhodni podatek srednja dnevna vrednost, oziroma mesečni ekstrem.

Kompleksnejši hidrološki modeli, katerih vhodni podatki so urne vrednosti, se navadno umerjajo na manjšem številu primerov. Naša želja pa je bila obdelati čim večje število visokovodnih situacij, ter jih sortirati glede na vegetacijsko in nevegetacijsko obdobje (vpliv retenzije in evapotranspiracije) in predhodno namočenost (deficit vlage v zemljišču). Iz tako sortiranih podatkov smo želeli analizirati vpliv posameznih komponent, in rezultate, kolikor se bodo pokazali uporabni, uporabiti v vsakodnevni hidrološki prognostični službi. Ker se je indeks predhodnih padavin (IPP) na našem povodju izkazal kot nezanesljiv kazalec začetnega hidrološkega stanja (vpliv predhodne namočenosti), analiza vpliva predhodne namočenosti glede na letni čas ni bila možna.

Pri izbranem načinu obdelave visokovodnih situacij smo se izognili problemu poznavanja drugih parametrov, ki vplivajo na režim odtoka (geologija in pedologija povodja, topografske in agrokulturne karakteristike).

Povodje reke Savinje smo izbrali iz več razlogov:

- Kot najmočnejši pritok reke Save lahko Savinja ob nastopu visokih vod (nižje od pritoka reke Savinje) prispeva tudi prek 40% pretoka k visokovodni konici, ki nastopi na v.p. v Radečah. V analizi katastrofalne povodnji leta 1990, smo ugotovili, da je imela reka Savinja nadpovprečno visok koeficient direktnega (hitrega) odtoka.
- izredno hudourniški značaj vodotoka. Porast od zelo nizke vode (v spodnjem toku) na ekstremno visok pretok lahko nastopi v manj kot 12. urah.

2. IZBIRA IN PRIPRAVA PODATKOV

Pri analizi smo se omejili na relativno kratek niz 1977 - 1990, ker so podatki o padavinah računalniško zbrani le za to obdobje. Ker so večino maksimalnih visokovodnih porastov povzročile manj kot 24-urne padavine, smo se omejili na take hidrološke situacije. Primere, kjer je porast visoke vode povzročilo dolgotrajnejše deževje (val je naraščal počasneje in s presledki), smo izločili. Enako velja za primere, kjer so zabeležene enodnevnne padavine povzročile sestavljen val (kvantitativna razdelitev take padavine je na enostaven način nezanesljiva, saj na celotnem povodju obstajata le dve ombrogrfski postaji). Prav tako smo izločili situacije, kjer je prišlo do tajanja snežne odeje, oziroma so padavine, ki so povzročile obravnavani porast visoke vode, prešle v sneg. Obdržali pa smo valove, kjer je bila časovna prekinitev padavin malo daljša (nastop več zaporednih valov hkrati) in se je dalo ugotoviti, da so enodnevnne zabeležene padavine vplivale le na posamezen val. V takih primerih je možno val z zadovoljivo natančnostjo razdeliti na dve ločeni enoti (glej primer na sliki 2). Bistvenega pomena je torej možnost določitve padavin, ki vplivajo na posamezen val.

Osnovna zahteva je bila torej obdelava čim bolj homogenih podatkov. Z razdelitvijo sestavljenih valov na posamezne, smo prišli do med seboj precej podobnih valov, ki so po zunanjem videzu podobni hidrogramom, ki bi jih dobili pri uporabi teorije hidrograma enote (Sherman, 1932), pri katerem je časovna enota en dan. Ker smo primere z izredno spremenljivo intenziteto padavin (sestavljen val zaradi 24 urnih padavin) izločili, smo dosegli dobro kvalitativno podobnost. (Dobra kvantitativna podobnost bi pa bila dosežena šele z uporabo bistveno krajše časovne enote (npr. ena ura), saj mora po teoriji hidrograma enote pasti v časovni enoti enakomerna padavina z izbrano intenziteto enotnega naliva (npr. 10 mm).)

3. IZBIRA PROGNOŠTIČNEGA MODELA IN IZRAČUN GLAVNIH KARAKTERISTIK VISOKOVODNIH VALOV

Za prognozo odtoka z določenega povodja je potrebno izbrati obliko modela z optimalnim številom glavnih parametrov, ki vplivajo na odtok. Enaka količina padlih padavin lahko namreč povzroči povsem drugačne odtočne situacije. Zato je osnovni problem določiti izgubo bruto padavin. Le-ta se lahko določa na različne načine (deficit vlage zemljine, infiltracija zemljišča, indeks predhodne vlažnosti zemljišča, indeks predhodnih padavin ...). Pri tem je določitev začetnega hidrološkega stanja, to je stanja, ko so se začele intenzivnejše padavine, ki so povzročile močnejši porast vod na nekem povodju, ključni problem.

Enostavnejši prognostični modeli skušajo določiti neto (efektivne) padavine (to je

volumen direktnega odtoka) s štirimi parametri (Wilson, 1983; Jovanović, 1975). Za tak model velja, da so neto padavine odvisne od naslednjih štirih parametrov: bruto padavine (Pbruto), indeks predhodnih padavin (IPP), čas trajanja dežja (Td), letni čas (Ns) (vpliv stanja vegetacije na povodju in klimatskih karakteristik področja), kar lahko na kratko zapišemo:

$$P_{neto} = f(P_{bruto}, IPP, T_d, N_s)$$

Ker funkcijska odvisnost ni linearna, je v praksi pogosta uporaba grafičnega prikaza medsebojne povezanosti med zgoraj opisanimi parametri.

Zaradi že omenjenega dejstva, da so večino maksimalnih visokovodnih porastov povzročile manj kot 24-urne padavine, smo parameter časa trajanja dežja (Td) vzeli kot konstanto in redke primere, kjer je bil ta čas daljši od 24 ur, kot že omenjeno, izločili.

Z obdelavo podatkov v istem letnem času (Ns=konst.) se model zelo poenostavi, saj ostanejo neto padavine odvisne le še od dveh parametrov: $P_{neto} = f(P_{bruto}, IPP)$

To zelo poenostavi možnost grafičnega prikaza medsebojne (trodimenzionalne) povezanosti.

3.1 RAČUN SREDNJE KOLIČINE BRUTO PADAVIN NA POVODJU

Zaradi obdelave velikega števila padavinskih situacij, smo za izračun srednje količine padlih padavin na povodju uporabili metodo Thiessenovih poligonov (Thiessen, 1911), ki je pri takih obdelavah najbolj razširjena metoda. Če je število dežemernih postaj na povodju dovolj veliko (v našem primeru je), metoda ne daje bistveno slabših rezultatov od točnejše metode konstruiranih izohiet. Glavna pomanjkljivost uporabljene metode je, da v našem primeru v višjih legah ni dežemernih postaj, metoda sama pa ne upošteva topografije.

Vse čase trajanja padavin smo preverili s pregledom ombrografskih podatkov, in primere, ki so odstopali od sprejete zahteve, izločili. (Ponavadi se že iz hidrograma vidi, ali je porast vode povzročila več kot 24-urna padavina.)

3.2 RAČUN SREDNJE KOLIČINE NETO PADAVIN NA POVODJU

Neto padavine smo preračunali iz hidrogramov direktnega odtoka. Hidrogram celotnega odtoka smo razdelili na dva dela: hidrogram direktnega (hitrega) odtoka (površinski odtok + hitri podpovršinski odtok) in hidrogram baznega odtoka (podzemni odtok + zakasneli podpovršinski odtok). Čas konca visokovodnega vala (To (glej sliko 1) je čas, ki je potreben, da preneha direktni odtok.) smo določili z grafom s semilogaritmično razdelbo (Wilson, 1983).

Pri določitvi upadajočega dela hidrograma direktnega odtoka je bilo potrebno izločiti sekundarni val, ki so ga povzročile naknadne padavine na že upadajoči del primarnega

visokovodnega vala (slika 2). Pri tej določitvi je ključni problem določitev pretoka (Q_{kon}) na koncu visokovodnega vala, to je baznega pretoka, ki bi nastopil, če po 24-urnih padavinah, ki so povzročile porast visoke vode, ne bi prišlo do dodatnih padavin (dokler ne preneha površinski odtok). Vse te pretoke (Q_{kon}) smo določili z diagramom (porast bazičnega odtoka v odvisnosti od konice vala Q_{vk}), ki smo ga dobili z upoštevanjem tistih visokovodnih valov, pri katerih v času T_u pred porastom vala in po njem ni bilo nobenih padavin (slika 1).

Na osnovi podanega smo izračunali povprečni odtočni koeficient direktnega odtoka (C), ki je razmerje med volumnom vode hidrograma direktnega odtoka (neto padavine) in bruto padavinami. Odtočni koef. direktnega odtoka se med celim letom spreminja. Predvsem se intenzivno spreminja v času porasta visokovodnega vala. Zato govorimo o njegovi povprečni vrednosti, ki jo izračunamo za vsak posamezen val posebej. Na hitrejši dvig C-ja bistveno vpliva močna predhodna namočenost terena (oziroma predhodne padavine) in letni čas, ko sta retenzija vegetacije in evapotranspiracija čim manjša.

3.3 RAČUN INDEKSA PREDHODNIH PADAVIN (IPP)

Indeks predhodnih padavin (IPP) se določi na osnovi padavin, ki so padle v zadnjih 30 - 45 dneh pred padavinami, ki so povzročile obravnavani porast odtoka visoke vode (Wilson, 1983; Jovanović, 1975).

Za izračun IPP se najpogosteje uporablja naslednja enačba:

$$IPP = \sum_{t=1}^N K^t P_t$$

kjer pomeni P_t srednjo 24-urno količino bruto padavin, ki so na povodje padle v t dneh pred padavinami, ki so povzročile obravnavani porast visoke vode. Vrednost K^t je funkcija časa t. Pri tem je konstanta K funkcija fizičnogeografskih, klimatskih in drugih karakteristik povodja. Pri tem je potrebno ugotoviti optimalno vrednost konstante K, ki se navadno išče v območju med 0.85 in 0.98. Pri tem se vpliv letnega časa (evapotranspiracija) lahko upošteva, pri čemer se konstanto K med letom spreminja (Wilson, 1983). V našem primeru spreminjanje konstante K ni bilo smiselno, saj se je kljub sortiranim visokovodnim situacijam po letnih časih izkazalo, da za povodje Savinje IPP ni preveč dober kazalec začetnega hidrološkega stanja.

4. OPIS REZULTATOV IN NJIH UPORABNOST

Kako pomembno je določiti začetno hidrološko stanje (predhodna namočenost terena v določenem letnem času), je razvidno iz slike 4, kjer vidimo, da lahko enaka količina bruto

padavin povzroči tudi prek 4-kratno razliko v porastu pretoka DQ. Povdariti moramo, da je tu poleg začetnega hidrološkega stanja skrit tudi vpliv različne časovne razporeditve intenzitete obravnavanih 24-urnih padavin, ki ga nismo analizirali. Da je vpliv intenzitete nasproti vplivu začetnega hidrološkega stanja sekundarnega značaja, je razvidno iz slike 5, kjer je začetno stanje vsebovano v izvrednotenih neto padavinah. Prikazana medsebojna soodvisnost je precej močnejša. Ob pravilni prognozi neto padavin je tako maksimalno odstopanje le še do 25%, v povprečju pa 14%. Ob predpostavki, da so podatki točni, lahko to odstopanje pripišemo različno razporejeni intenziteti obravnavanih 24-urnih padavin, katere posledica je različna hitrost porasta visoke vode in tudi različen vpliv koincidence konic valov rečnih pritokov ob vodi navzgor.

Iz korelacije med porastom pretoka DQ in neto padavinami za v.p. Laško (slika 5), se lahko sklepa, da se pri pretoku Savinje nad 800 m³/s začnejo večja razlivanja na delu njenega gornjega toka. Na račun povečevanja poplavnih območij preide linearna korelacija med neto padavinami in porastom pretoka DQ v parabolo (sploščitev konice vala). Iz diagrama odčitamo, da je ob ujmi iz leta 90 to pomenilo ca. 200 m³/s nižjo konico vala oziroma v takrat poplavljenem Laškem več kot 3/4 m nižjo gladino vode.

V nadaljnjem postopku smo vse situacije zajetih visokovodnih valov prikazali v odvisnosti med bruto in neto padavinami ob upoštevanju velikosti IPP (slika 6). Že na prvi pogled je razvidno, da je povezava med bruto in neto padavinami v odvisnosti od IPP slabo izražena. Glede na to smo isti postopek uporabili v prikazu odvisnosti med bruto in neto padavinami v odvisnosti od začetnega pretoka Qz (slika 7). V tem primeru se pokaže trdnejša medsebojna povezanost, na osnovi katere smo lahko celotno območje točk visokovodnih valov razdelili na 5 sektorjev. Pri tem je sektor št.1 območje, kamor padejo točke visokovodnih valov z zelo majhno predhodno namočenostjo (minimalna ovojnica velja za situacije, ko je bila pred nastopom porasta pretoka DQ suša oz. zelo majhen Qz). Sektor št.5 je območje, izredne predhodne namočenosti. Zunanja meja sektorja in hkrati celotnega območja je premica, ko je odtočni koef. dir. odtoka C=1.0. Glavnina obdelanih valov se nahaja v prvih treh sektorjih. V 4. sektorju se v glavnem nahajajo sestavljeni valovi in to sekundarni valovi, ki so v kratkem (ena- do dvo- dnevem) časovnem zamiku nastopili na še vedno visok upadajoči del direktnega odtoka visokega primarnega visokovodnega vala (2 primera sta prikazana na sliki 2).

Na podlagi zgoraj opisane analize lahko zaključimo, da nam IPP, ki se kot eden od indikatorjev začetnega hidrološkega stanja uporablja tudi v bolj zahtevnih matematičnih (računalniških) modelih, ne daje zadovoljivih rezultatov v primerjavi z upoštevanjem uporabe začetnega pretoka. Ker je samo IPP preslab indikator začetnega hidrološkega stanja, nam tudi sortiranje obdelanih visokovodnih valov glede na letni čas, katerega smo izdelali, da bi ločeno prikazali vpliv vegetacije, ni dalo željenih rezultatov.

V nadaljnjem smo dobljene rezultate skušali uporabiti za hitro prognozo visokih vod reke Savinje. V ta namen smo uporabili zakonitosti iz slik 5 in 7 in prikazali medsebojno odvisnost med bruto padavinami in porastom pretoka DQ v odvisnosti od začetnega pretoka Qz (slika 8).

Za testiranje uporabnosti smo prognozirali konico vala za nekaj visokovodnih valov, ki jih v obdelavi nismo zajeli. Pri tem smo dobili vrednosti, ki so povsem zadovoljive (tabela 1), saj je povprečno odstopanje med dejansko (Qvk) in prognozirano konico visoke vode (Qvkp) za v.p. Laško 11%, za v.p. Nazarje pa 13%.

5. ZAKLJUČEK

Prispevek zajema obdelavo večjega števila visokovodnih valov reke Savinje na v.p. Laško in Nazarje in prikazuje medsebojno odvisnost med 24-urnimi bruto in neto padavinami ter porastom visokovodnega vala DQ. Pri tem se je pokazalo, da je za opis začetnega hidrološkega stanja (samo z enim parametrom) namesto IPP mnogo boljša uporaba začetnega pretoka Qz. Določitev začetnega hidrološkega stanja je pomembna tudi za katerikoli kompleksnejši model prognoze visokih vod. V bližnji prihodnosti se bo izdelovala prognoza samo še s takimi modeli, ki pa za zdaj v naši vsakodnevni hidrološki praksi ne morejo najti pravega pomena, saj jih zaradi pomanjkanja potrebnih trenutnih podatkov (osnovni vhodni podatek so vsako uro izmerjene enourne padavine; za izdelavo časovno daljnosežnejše prognoze visoke vode pa se lahko doda še kratkoročno vremensko prognozo (upr. 6-urna.) lahko uporabljamo predvsem za analizo preteklih situacij.

Rezultate, do katerih smo prišli z opisanim pristopom, smo stestirali na nekaj primerih in pri tem ugotovili, da jih lahko uporabimo v vsakodnevni prognozi. Izkušen hidrolog - prognostik precej dobro ve, kakšno je trenutno (začetno) hidrološko stanje. S poznavanjem začetnega pretoka Qz lahko izbere pravi segment v diagramu DQ-bruto padavine (slika 8) in tako prognozira porast visoke vode.

6. LITERATURA

- E. M. Wilson: Engineering Hydrology; third edition 1983
- Dr. S. Jovanović: Parametarska hidrologija; Beograd 1975
- D. Srebrenović: Primijenjena hidrologija; Zagreb 1986
- A.H. Thiessen: Precipitation for large areas. Mounthly Weather Rev. vol.39, 1911

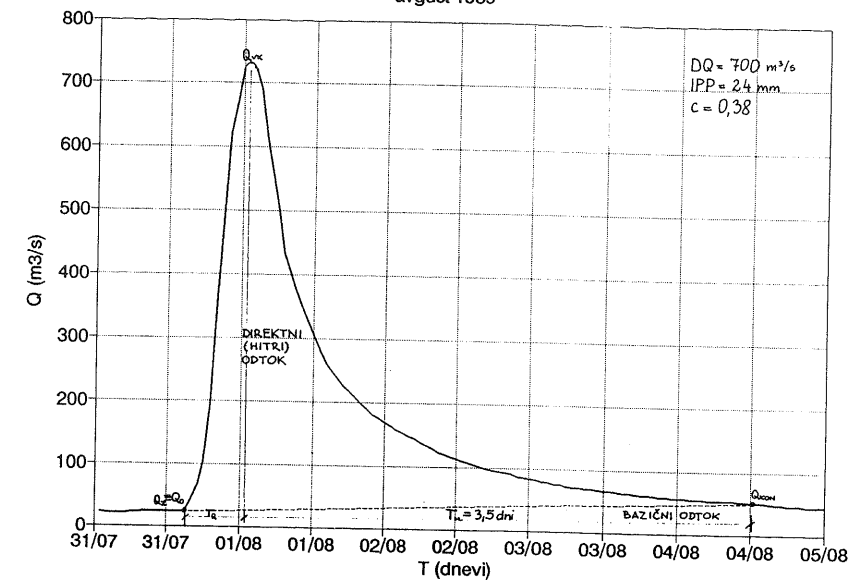
TABELA 1: primerjava rezultatov med dejanskim (DQ) in prognoziranim porastom pretoka (DQp) v Laškem na Savinji

datum	Qvk	Qz	Pbruto	DQ	DQp	Qvkp	napaka
DD.MM.LL	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(mm)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
16.05.61	395	18	58	377	280	298	25
29.07.61	530	25	66	505	400	425	20
05.07.65	533	25	68	508	440	465	13
30.11.65	573	100	51	473	470	570	1
23.06.73	488	12	70	476	380	392	20
17.10.73	600	47	63	553	520	567	5
07.11.73	442	23	70	419	450	473	7
30.06.74	600	17	79	583	550	567	5
25.09.74	395	62	43	333	310	372	6
05.10.74	800	56	80	744	770	826	3

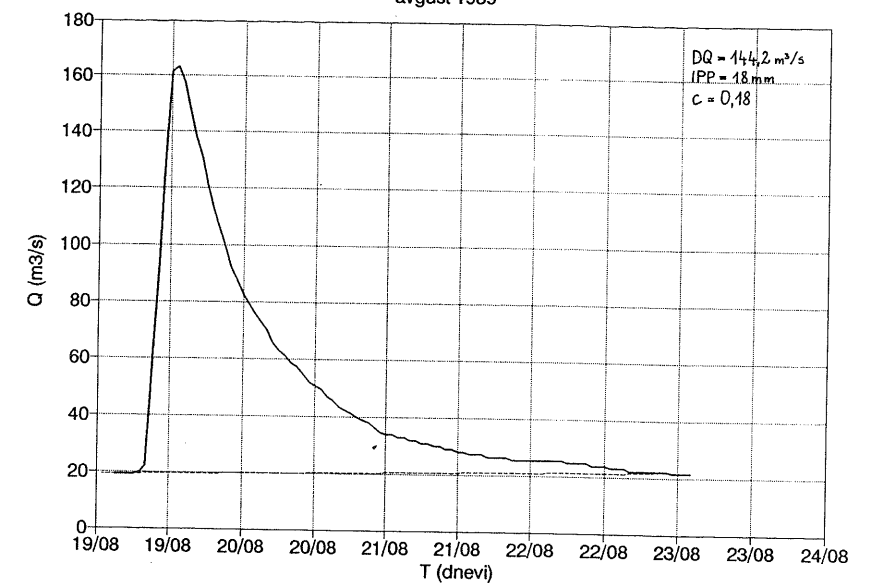
Legenda:

- (1) Datum nastopa visokovodne konice vala (Qvk)
- (2) Konica vala - največji pretok
- (3) Začetni najnižji pretok visokovodnega vala, preden je le-ta začel naraščati
- (4) Bruto padavine: srednje dnevne 24-urne padavine na povodju
- (5) Porast pretoka, povzročen od zadnjih 24-urnih padavin:
 $DQ = Qvk - Qz$
- (6) Prognoziran porast pretoka (uporaba diagrama - slika 8)
- (7) Prognozirana konica vala: $Qvkp = DQp + Qz$
- (8) procent odstopanja: $abs(1 - Qvkp/Qvk)$

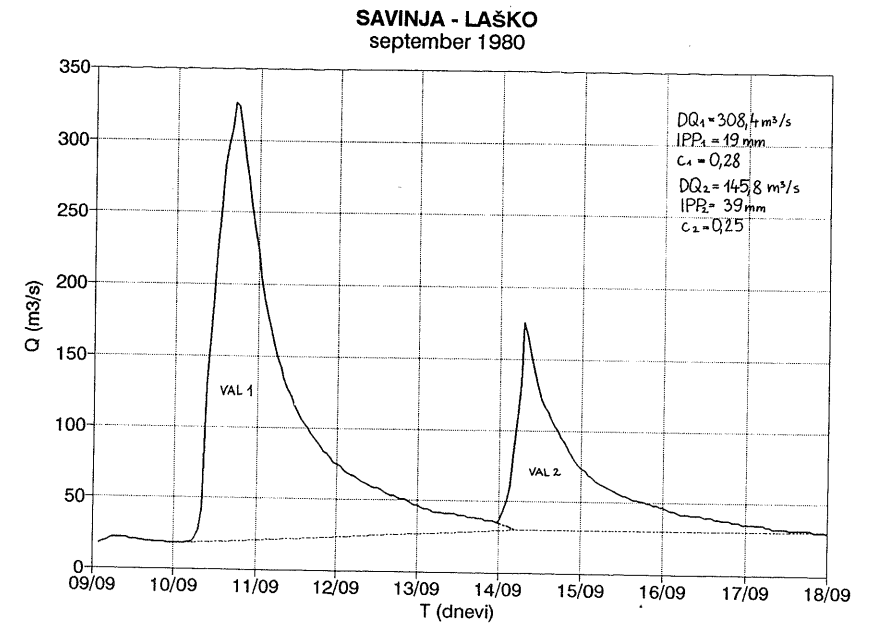
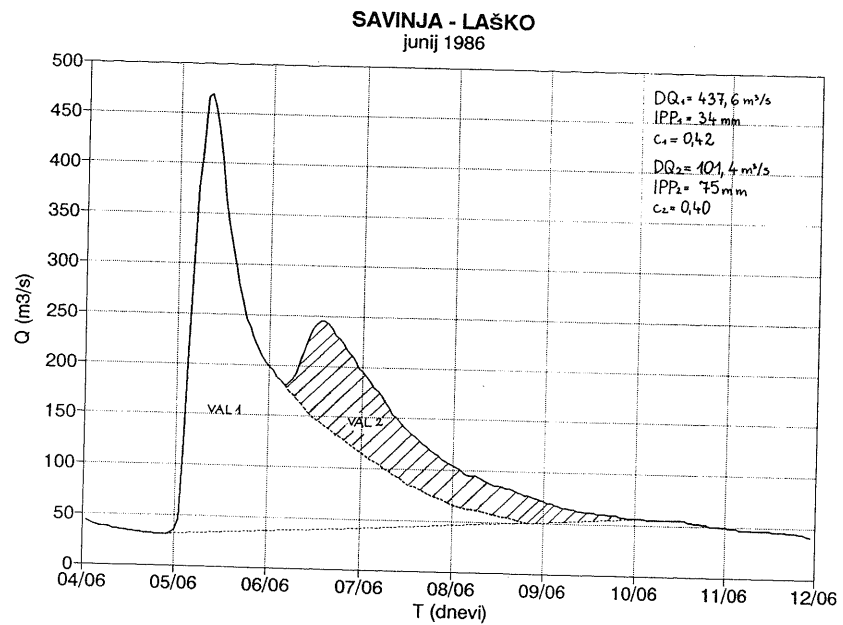
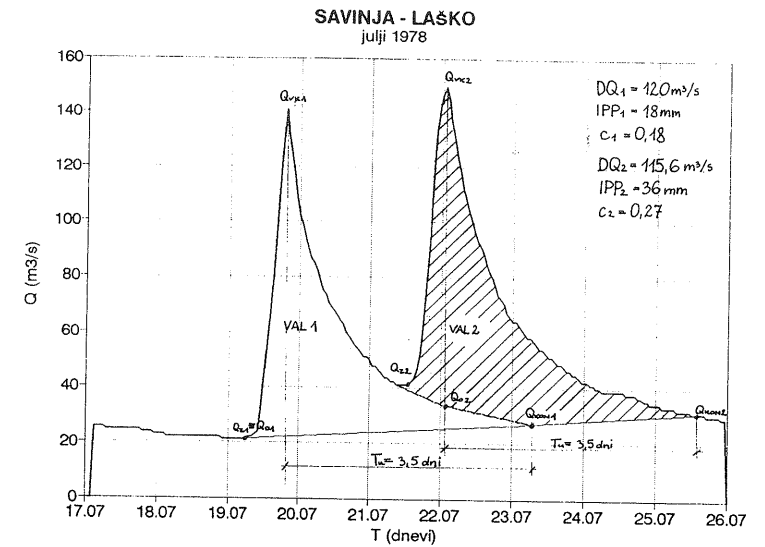
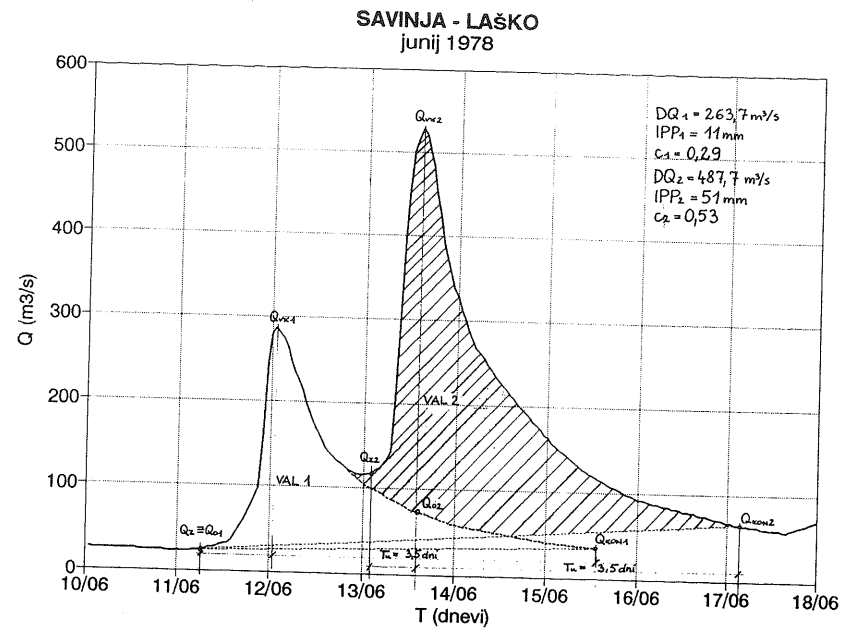
SAVINJA - LAŠKO
avgust 1989



SAVINJA - LAŠKO
avgust 1989

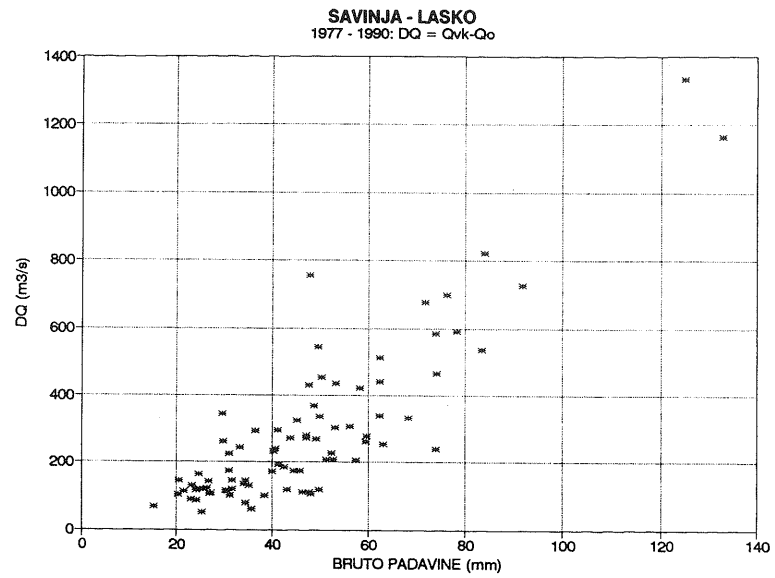


Slika 1: hidrogram visokovodnega vala z nizko in visoko konico

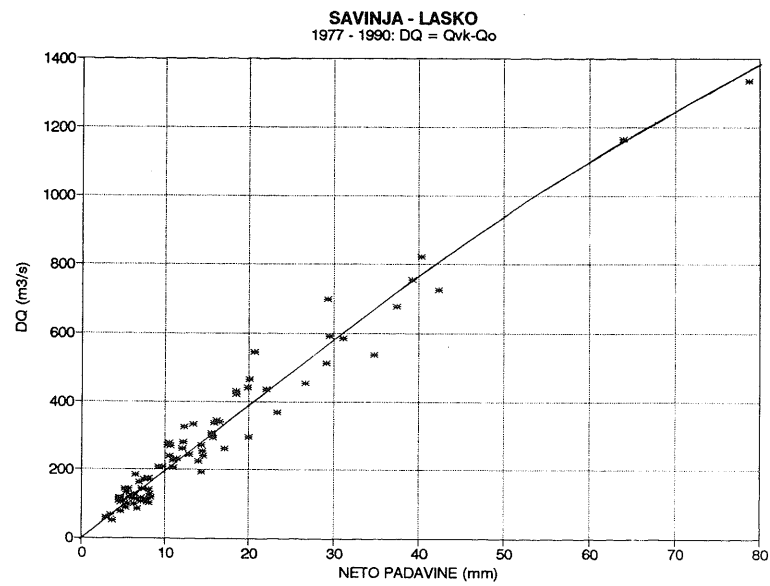


Slika 2: hidrogram dvojnega vala, kjer je sekundarni val bistveno večji (manjši) od primarnega

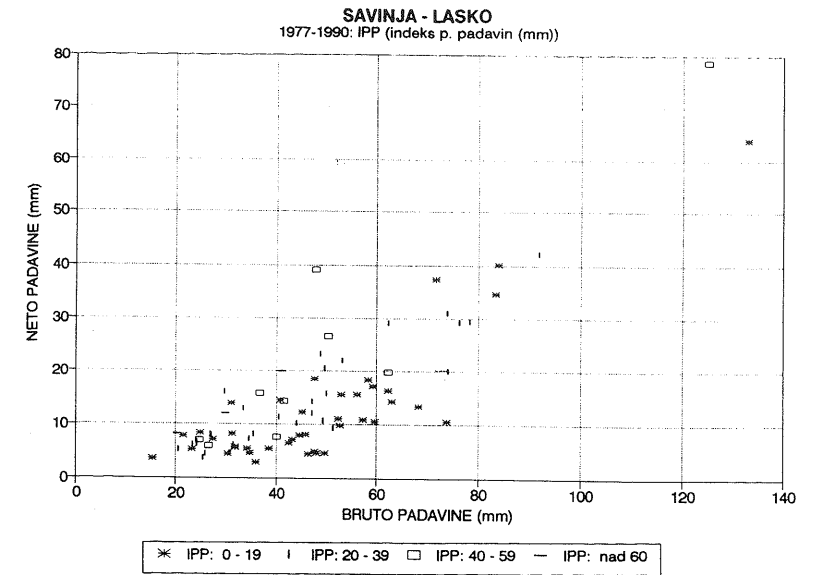
Slika 3: hidrogram dvojnega vala (med primarnim in sekundarnim je potekel kratek (daljši) čas



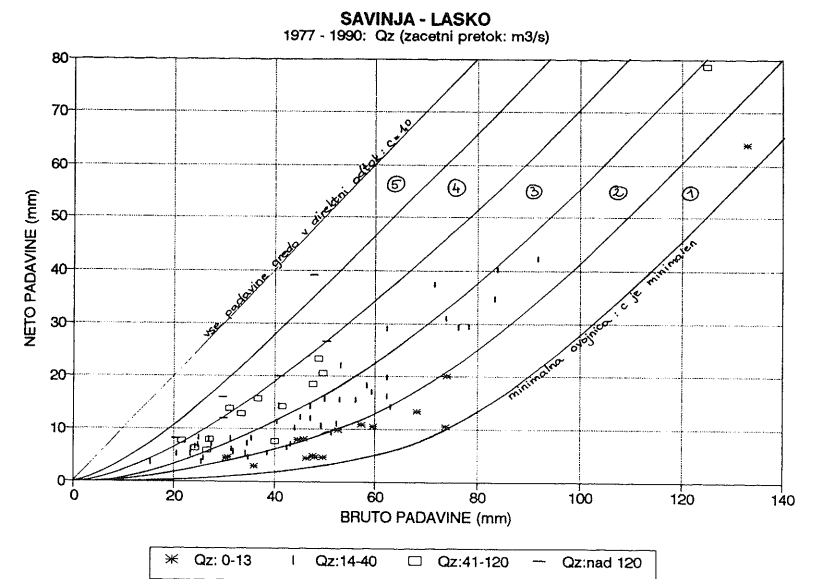
Slika 4: prikaz korelacije med porastom pretoka DQ in bruto padavinami



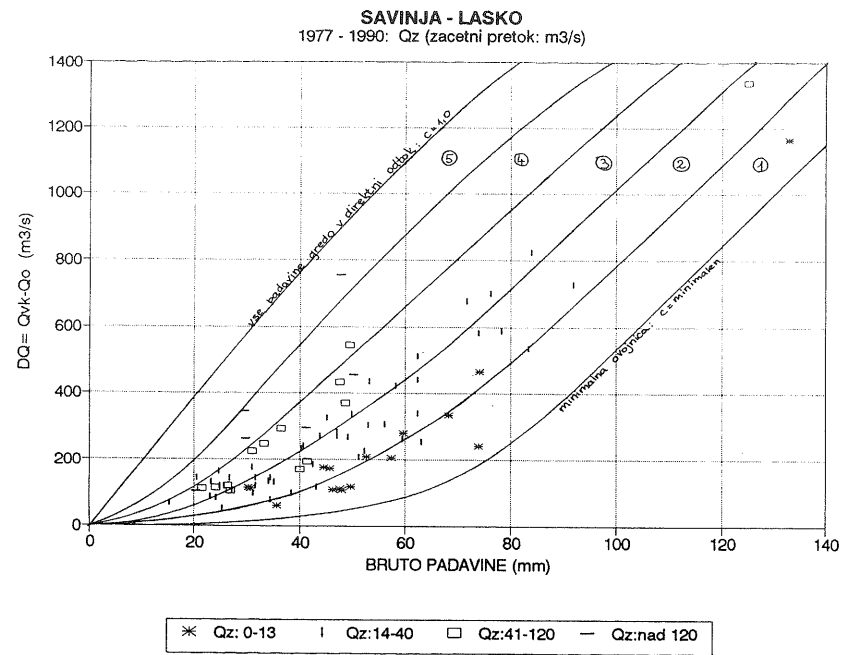
Slika 5: prikaz korelacije med porastom pretoka DQ in neto padavinami



Slika 6: prikaz korelacije med bruto in neto padavinami v odvisnosti od indeksa predhodnih padavin IPP



Slika 7: prikaz korelacije med bruto in neto padavinami v odvisnosti od začetnega pretoka (Qz)



Slika 8: prikaz korelacije med porastom pretoka DQ in bruto padavinami v odvisnosti od Qz

**AVTOMATIZACIJA METEOROLOŠKIH MERITEV NA LETALIŠČU
LJUBLJANA-**

**AUTOMATION OF METEOROLOGICAL MEASUREMENTS AT LJUBLJANA-
BRNIK AIRPORT**

Silvo ŽLEBIR

Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana

SUMMARY

A plan for modernisation and automation of meteorological measurements at Slovenian airports has been drawn up in 1992. In accordance with this plan, a new automatic meteorological measuring system was installed at Ljubljana-Brnik airport in spring 1993. The requirements and configuration of the system were defined by the Hydrometeorological Institute of Slovenia. The AMES company from Ljubljana, Slovenia, and the Vaisala company from Finland were chosen as the suppliers of components and measuring subsystems for the whole automatic system. The full system consists of a Vaisala Mitras, measuring subsystem for meteorological visibility and runway visual range a Vaisala CT12K ceilometer for measurement of cloud base height, a AMES UAM 118 electronic anemometer, Setra 370 precision electronic barometer, an AMES META789 automatic weather station with full range of sensors and computers for transmission of measuring data and reports, presentation and archiving of data and automatic generation of meteorological reports. The system fulfils all the requirements of WMO and ICAO.

POVZETEK

V skladu s planom modernizacije meteorološke opreme na slovenskih letališčih je bil na letališču Ljubljana Brnik v letu 1993 instaliran nov avtomatski meteorološki merilni sistem. Zahtevnik za sistem je bil definiran na Hidrometeorološkem zavodu Slovenije. Kot dobavitelja posameznih enot sistema sta bili izbrani domača firma AMES in finska firma Vaisala. Celoten sistem se sestoji iz podsistema za merjenje območja vidnosti na vzletno pristajalni stezi, merilca višine baze oblakov, elektronskega anemometra, preciznega elektronskega barometra, avtomatske postaje z naborom meteoroloških senzorjev in računalnikov za prenos, prezentacijo in arhiviranje merjenih podatkov in avtomatsko generacijo meteoroloških sporočil. Sistem ustreza vsem zahtevam ICAO in WMO.

1. UVOD

Ob prehodu meteoroloških služb na slovenskih letališčih pod okrilje Hidrometeorološkega zavoda RS v letu po osamosvojitvi Slovenije se je izkazalo, da je stanje meteorološke merilne tehnike na letališčih relativno slabo. Sodobne elektronske merilne opreme na letališčih praktično ni bilo, razen merilca višine baze oblakov in merilnika obmoja vidnosti (RVR merilnik) na vzletno pristajalni stezi na letališču Ljubljana-, ki pa sta bila oba že močno dotrajana in praktično nista več ustrezala sodobnim zahtevam glede varnosti letalskega prometa, posebno ne zahtevi glede ustreznosti opreme za najvišjo kategorijo letališča. V skladu s to situacijo je bil na Hidrometeorološkem zavodu RS izdelan plan postopne modernizacije meteorološke opreme na letališčih. V letu 1992 je bil tako koncipiran, v letu 1993 pa instaliran na letališču Ljubljana- nov avtomatski meteorološki merilni sistem, ki je v celoti nadomestil prejšnjo meteorološko merilno opremo letališča.

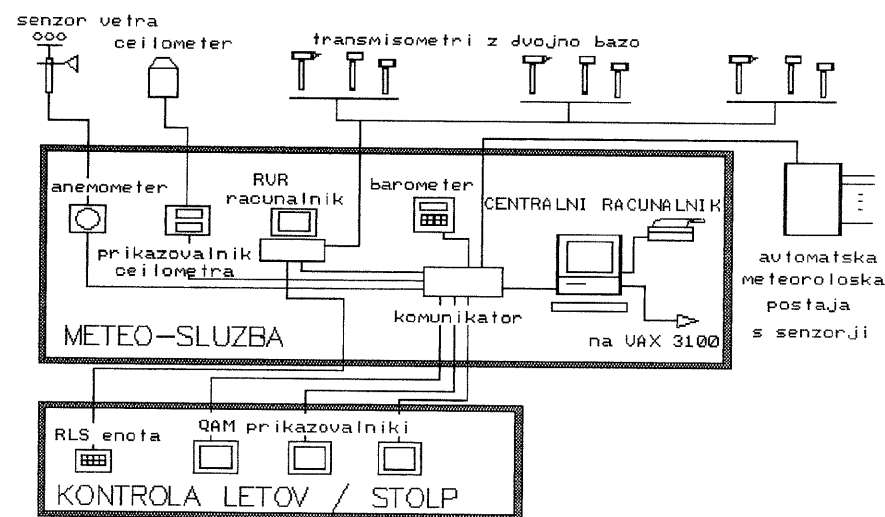
Sodoben avtomatski merilni sistem je nastal v sodelovanju Hidrometeorološkega zavoda RS, ki je pripravil zahtevnik za sistem, definiral konfiguracijo sistema in sistem tudi instaliral, ter firm AMES (Tehnološki park Instituta Jožef Stefan v Ljubljani) in Vaisala (Finska), ki sta obe specializirani proizvajalki meteorološke merilne opreme in sta prispevali posamezne enote sistema. Firma AMES je izdelala tudi software za centralni PC računalnik merilnega sistema. Avtomatski merilni sistem združuje meteorološke merilne podsisteme za merjenje meteoroloških parametrov na letališču, komunikacijski računalnik, centralni PC računalnik za obdelavo, prikaz in lokalno arhiviranje vseh merjenih podatkov ter avtomatsko generiranje standardnih meteoroloških sporočil - depeš ter PC računalnike, ki služijo izključno kot on-line prikazovalniki vseh trenutno merjenih podatkov v letalski in doletni kontroli letališča. Osnovno vodilo pri načrtovanju tega avtomatskega merilnega sistema na Hidrometeorološkem zavodu RS so bile zahteve in priporočila Mednarodne organizacije za civilni letalski promet (ICAO) ter Svetovne meteorološke organizacije (WMO). Vse te zahteve izpolnjuje sistem v celoti tako v smislu točnosti oz. merilne negotovosti posameznih meritev kot tudi v načinu vzorčenja merilnih parametrov ter njihove obdelave in posredovanja oziroma prikazovanja. RVR sistem z dvojno bazo pa omogoča prehod letališča Ljubljana- v najvišjo kategorijo CatIII po klasifikaciji ICAO.

Merilni sistem s to stopnjo avtomatizacije tudi bistveno lajša delo meteorologov in meteoroloških opazovalcev na letališču Ljubljana-.

2. OPIS SISTEMA

Konfiguracija avtomatskega meteorološkega merilnega sistema s povezavami posameznih merilnih enot in računalnikov je shematično prikazana na sliki 1.

Meteorološki senzorji in merilniki so na ustreznih lokacijah ob vzletno-pristajalni stezi letališča. Senzor smeri in hitrosti vetra je v bližini vzletno pristajalne steze, v predpisani razdalji od točke, kjer letala dosegajo stik s stezo. Ceilometer oziroma merilec višine baze oblakov je na skrajni jugovzhodni točki letališča, v smeri, od koder letala priletajo. vzdolž pristajalne steze so trije sistemi za merjenje vidnosti (transmisometri) z dvojno merilno bazo. Avtomatska meteorološka postaja s pripadajočimi senzorji je na opazovalnem prostoru. Navedeni merilniki so modemsko povezani s pripadajočimi prikazovalnimi enotami in RVR računalnikom, ki so v prostorih meteorološke službe na letališču. Tam je instaliran tudi elektronski barometer. Vsi trenutno merjeni podatki z merilnikov oz. ustreznih prikazovalnikov in RVR računalnika se preko front-end komunikacijskega računalnika ves čas zbirajo na centralnem PC računalniku sistema. Delo tega PC računalnika je večopravilno (multi-tasking) pod programom DesqView. PC trenutne in povprečne podatke kontrolira ter arhivira v ustrezni bazi.



Slika 1

Z izbiro na ustreznem menu-ju so možni različni načini prikazov merjenih podatkov, tudi grafični prikazi časovnega poteka za posamezne merjene parametre. Osnovni je t.i. QAM prikaz (slika 2), na katerem se v skladu z zahtevami ICAO prikazujejo in redno obnavljajo trenutni podatki o vetru, območju vidnosti na stezi (RVR) na treh omenjenih lokacijah vzletno pristajalne steze, višini baze oblakov, temperaturi, rosišču ter zračnem tlaku (QNH in QFE). V ta prikaz meteorološki opazovalec po potrebi vnese še podatke, ki niso merjeni avtomatsko: stanje vremena, oblačnost in tipi oblakov, posebna opozorila. Vsi podatki s QAM prikaza se prek komunikatorja redno prenašajo na PC računalnike v

kontrolnem stolpu letališča, kjer je QAM prikaz v isti obliki ves čas prisoten na zaslonih. Te podatke kontrolorji leta uporabljajo pri operativnem delu v letališki in doletni kontroli. Isključna funkcija PC računalnikov v stolpu je prikaz QAM. V letu 1994 je bil takšen QAM prikazovalnik na bazi PC-ja instaliran tudi v novi področni kontroli letenja v Ljubljani, s tem da za povezavo s centralnim računalnikom sistema na letališču služi najeta telefonska linija.

Na centralnem PC računalniku je po potrebi možen izpis na pripadajočem barvnem grafičnem tiskalniku. Dodatna funkcija tega računalnika je avtomatična tvorba standardnih meteoroloških sporočil v rednih časovnih intervalih (SYNOP sporočilo vsako uro, METAR sporočilo vsake pol ure). Ta sporočila oziroma depeše nastajajo na osnovi avtomatsko merjenih podatkov oz. podatkov, ki so vneseni ročno v QAM prikaz. Centralni PC računalnik sistema je povezan tudi z računalnikom μ VAX 3100 meteorološke službe na letališču, prek katerega se omenjena sporočila dajejo v mednarodno in drugo izmenjavo.

Q A M			
Date:	11/5/1993	UTC Time:	15:41:17
			A/D LJLJ
SURFACE WIND	RWY 31 280 / 04KT JR 280 / 280 MX 06KT	RWY 13	KT JR / MX KT
RVR	RWY 31 2000	MID 2000	RWY 13 2000
VIS	cauok		L INT 100
WEATHER			
CLOUDS hshS	RWY 31 13000	RWY 13	
TEMPERATURE / DEW POINT	12.2 / 10.4		
QNH	1020.6 hPa	765.5 mm Hg	30.14 inch Hg
QFE	977.1 hPa	732.9 mm Hg	28.85 inch Hg
WARNING TREND	nosig		
Press F9 to METAR report, F10 to Main menu!			

Slika 2

Pri načrtovanju sistema je bila posebna pozornost posvečena zanesljivosti. Tudi v software sistema so vključeni določeni algoritmi, ki to zanesljivost povečujejo. Sistem je električno napajen z enoto za neprekinjeno napajanje.

3. MERILNE ENOTE IN PODSISTEMI

Vsi merilniki oz. merilni podsistemi, ki so vključeni v celotni sistem, so računalniško

krmiljeni z možnostjo vsaj serijske (RS232) komunikacije, ki se uporablja za povezavo v sistem. Ob eventualnem izpadu centralne enote sistema ali določenih povezav pa lahko vsak merilnik še vedno deluje kot popolnoma avtonomen instrument z lastnim prikazom podatkov, kar je spet pomembno z vidika zanesljivosti.

Osnovne karakteristike merilnih podsistemov so naslednje:

RVR sistem Vaisala Mitras je verjetno trenutno najsodobnejši sistem za merjenje območja vidnosti na vzletno-pristajalni stezi (Runway Visual Range), ki v vseh ozirih ustreza kriterijem ICAO. Meteorološka vidnost se meri prek meritve optične transmitance v ozračju s tremi transmisometri z dvojno merilno bazo (optični oddajnik s sprejemnikoma na razdaljah 15 m in 75 m). Krajša merilna baza omogoča zanesljivo in dovolj natančno meritev pri najslabših pogojih vidnosti. Območje vidnosti na vzletno-pristajalni stezi se izračuna na RVR računalniku iz merjenih podatkov o meteorološki vidnosti, osvetljenosti ozadja (senzor instaliran na enem od transmisometrov) in iz podatkov o karakteristikah vzletno-pristajalnih luči na stezi ter podatka o stopnji nastavitve teh luči. Ta zadnji podatek je posredovan iz kontrolnega stolpa prek RLS enote (runway light setting unit), ki je prav tako povezana z RVR računalnikom. Na RVR računalniku je možna diagnostika sistema in analiza delovanja, simulacija meritev itd. Sami transmisometri imajo prav tako vgrajene nekatere zanimive in koristne opcije, npr. avtomatsko kompenzacijo onesnaženja stekel, ki pokrivajo merilno optiko itd.

Ceilometer Vaisala CT12K meri višino baz oblakov z meritvijo odboja laserskega impulza. Območje meritve s ceilometrom je do 12000 ft. Če spodnja baza oblakov ni pregosta in predebela, da je možen prehod laserske svetlobe, je mogoče meriti do dve bazi oblakov, ob ustreznih pogojih pa je mogoče izmeriti tudi njuno debelino. V vremenski situaciji z nedefinirano bazo oblakov izmeri merilnik vertikalno vidnost, kar je prav tako lahko zelo koristen podatek za varen letalski promet.

Elektronski barometer Setra 370 meri zračni pritisk ob ustreznem vzdrževanju in rednih kalibracijah točneje od 0.15 hPa. Sama merilna celica barometra je kapacitivna, pri čemer predstavlja eno ploščo kondenzatorja, na katerem se meri kapacitivnost, membrana merilne celice. Merilna celica je dodatno kompenzirana na temperaturne vplive ter je predhodno časovno stabilizirana.

Univerzalni anemometer UAM 118 je razvit in izdelan v firmi AMES. Omogoča digitalen prikaz hitrosti vetra in analogen prikaz smeri vetra na LCD zaslonu, ki je bil načrtovan posebej za ta anemometer. Zaradi številnih funkcij, ki jih omogoča vgrajen mikrokontroler, je merilnik posebno primeren za uporabo na letališčih. Omogoča prikaz merjenih vrednosti v različnih enotah, izračunava vektorske in skalarne povprečne vrednosti vetra v določenih intervalih, prikazuje in beleži ekstremne vrednosti vetra,

merjene vrednosti pa se lahko izpisujejo tudi na analognem pisalniku ali tiskalniku. Možna je tudi modemska povezava več indikatorjev smeri in hitrosti vetra IVP120 na osnovno enoto UAM118. V avtomatskem sistemu letališča Ljubljana- anemometer UAM118 poleg stalnega prikaza trenutnih vrednosti daje merjene podatke o vetru na centralno enoto sistema v dvominutnih intervalih.

Avtomatska meteorološka postaja META789 je prav tako izdelana v AMES-u in je identična več novim postajam, ki so bile v zadnjih treh letih instalirane v avtomatski merilni mreži Hidrometeorološkega zavoda. Temperatura zraka na treh višinah (5 cm, 50 cm in 200 cm) ter temperatura tal na treh globinah v tleh (5 cm, 10 cm in 30 cm) se meri s termistorji. Zračna vlaga se meri s posebnim kapacitivnim senzorjem specializiranega švicarskega proizvajalca Rotronic. Vlaga se meri prek meritve kapacitivnosti na kondenzatorju, pri katerem predstavlja dielektrik polimerni material z izrazito odvisnostjo dielektričnosti od zračne vlage. Senzorja globalnega in difuznega sončnega sevanja tipa Kipp-Zonen CM11 delujeta na bazi termočlenov, ki so počrnjeni in izpostavljeni vpadli svetlobi. Senzor padavin z merilno površino 500 cm² je standarden in deluje na principu prekucnih posodic. Vgrajen grelec s termostatom skrbi za taljenje v primeru snežnih padavin. Na postajo je priključen tudi senzor zračnega tlaka Setra 270, ki služi kot rezerva v primeru izpada elektronskega barometra. V pripravi je tudi senzor za meritev temperature vzletno-pristajalne steze ter senzor za indikacijo poledenitve steze.

Avtomatska postaja poleg meritev trenutnih vrednosti (vsako minuto), ki so posredovane v sistem, izračunava polurna povprečja ter jih v obliki polurnih datotek prek sistema pošilja v centralni računalnik Hidrometeorološkega zavoda. Tu so sveži podatki v uporabi tako, kot podatki z drugih avtomatskih postaj v mreži zavoda. Uporabljajo se v službi prognoze ter v agrometeoroloških in klimatoloških analizah.

LITERATURA

(1) Meteorological Service for International Air Navigation - Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation; International Civil Aviation Organization, 11th edition, July 1992

(2) Guide on Meteorological Observation and Information Distribution Systems at Aerodromes; World Meteorological Organization - No.731

(3) Runway Visual Range Observing and Reporting Practices; ICAO Circular 113 - AN/85

(4) D.J. Griggs et al.: The First WMO Intercomparison of Visibility Measurements, Final Report. Instruments and Observing Methods Report No. 41 (WMO/TD-No. 41), WMO 1990