

DISCHARGE REGIMES IN SLOVENIA

PRETOČNI REŽIMI V SLOVENIJI

Mauro Hrvatin



Tufa dams on the Krka River (photography Luka Pintar).
Lehnjakove pregrade na reki Krki (fotografija Luka Pintar).



Abstract

UDC: 556.536(497.4)

Discharge regimes in Slovenia

KEY WORDS: hydrogeography, discharge regime, river regime, cluster analysis, Slovenia

Exactly fifty years have passed since S. Ilešič, in the framework of a broader dissertation, first analyzed river regimes in Slovenia. In the following decades, the Hydrometeorological Institute of Slovenia gathered a multitude of new hydrological data, while at the same time, the development of computer statistics programs enabled its quick and objective processing. This paper statistically treats the monthly discharge coefficients that we calculated on the basis of data on average monthly discharges between 1961 and 1990. We took into consideration seventy water gauging stations on fifty-seven Slovene streams. The division into individual types of discharge regimes was made by cluster analysis, using Ward's method and Manhattan distances. The basic characteristics of the resulting eight types of discharge regimes are briefly presented.

Izveleček

UDK: 556.536(497.4)

Pretočni režimi v Sloveniji

KLJUČNE BESEDE: hidrogeografija, pretočni režim, rečni režim, razvrščanje v skupine, Slovenija

Letos mineva natanko petdeset let, od kar je Ilešič v okviru širše razprave prvič razčlenil rečne režime v Sloveniji. V kasnejših desetletjih so na Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije zbrali množico novih hidroloških podatkov, hkrati pa je razvoj računalniških statističnih programov omogočil njihovo hitro in objektivno obdelavo. V razpravi smo statistično obdelali mesečne pretočne količnike, ki smo jih izračunali na osnovi podatkov o povprečnih mesečnih pretokih v obdobju od 1961 do 1990. Upoštevali smo 70 vodomernih postaj na 57 slovenskih rekah. Členitev na posamezne tipe pretočnih režimov smo izvedli z razvrščanjem v skupine po Wardovi metodi ob upoštevanju razdalj Manhattan. Rezultat predstavlja 8 tipov pretočnih režimov, katerih osnovne značilnosti so na kratko predstavljene.

Address – Naslov

Mauro Hrvatin

Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU

Gosposka 13

1000 Ljubljana

Slovenija

Phone – telefon: +386 61 125 60 68

Fax – faks: +386 61 125 77 93

E-mail – e-pošta: mauro@alpha.zrc-sazu.si

Contetnt – Vsebina

1.	Introduction	63
2.	Previous research	63
3.	Methodology	65
4.	Results	67
4.1.	Mediterranean rain regime	69
4.2.	Dinaric rain-snow regime	70
4.3.	Dinaric-Alpine rain-snow regime	71
4.4.	Pannonian rain-snow regime	72
4.5.	Alpine rain-snow regime	72
4.6.	Alpine medium mountain snow-rain regime	73
4.7.	Alpine high mountain snow-rain regime	74
4.8.	Alpine snow regime	74
5.	Conclusion	80
6.	Bibliography	80
7.	Summary in Slovene – Povzetek	81

1. Introduction

The expression »discharge regime« denotes the average annual oscillation of the volume of water flow at a selected water gauging cross section. Climate, relief, the bedrock and soil, vegetation, and human activity rank among the factors that form a discharge regime. In Slovenia, the most important factor is the climate since the discharge regimes depend mainly on the annual distribution of precipitation and temperatures and the persistence of the snow blanket. The distribution of temperatures is of special importance because the time the snow blankets thaws and the intensity of evaporation during individual seasons of the year depend on them. The thawing of the snow blanket is of special importance as well. In winter, the discharges are smaller due to snow retention, while the discharges increase greatly during the spring thaw. In the vegetation period, the influence of transpiration must be taken into account. I. Smolej (1988) cites data showing that the annual loss of precipitation water ranges between 200 to 300 mm owing to tree transpiration. As an example of the influence of bedrock, we can point to the retention of water in karst massifs with limited discharge ability and in depressions filled with thick deposits of porous sediment where major quantities of groundwater are retained. Human activity increasingly interferes with discharge regimes directly (for example, by building dams) or indirectly (for example, by clearing forests).

In foreign (Beckinsale, 1969; Richards, 1995; Shaw, 1996) and domestic (Ilešič, 1948; Zveza vodnih skupnosti Slovenije, 1978; Kolbezen, 1998) geographic literature, the expressions »river regime« and »water regime« are more frequently used than »discharge regime.« The inadequacy of these terms was pointed out by D. Radinja (1979), who believes that the term »water regime« includes not only the oscillation of the water discharge but also the oscillation of other properties of the water: temperature, hardness, quantity of oxygen, pollution, etc. The same observation can be applied to the term »river regime.« It is true, however, that the use of »river regime« is extremely widespread. Conditionally, we can agree with the use of the term »river regime« in the narrow sense as a synonym for »discharge regime« and in the wider sense as a synonym for all the remaining regimes that we can establish for a specific stream.

Problems also appear with a second term frequently used in the analysis of discharge regimes. M. Pardé (1933) appropriately named the ratio between the average monthly discharge and the average annual discharge the »monthly discharge coefficient« (originally *coefficient mensuel de débit*). Later, a number of terms appeared for the same ratio that are less adequate (»monthly coefficient«) or even completely incorrect (»module coefficient«). Monthly discharge coefficients are of exceptional importance for studying discharge regimes since they enable the comparison of streams in spite of any major differences in their discharges.

The intensity of the oscillation of the average monthly discharges during the year is shown by the coefficient of annual variability of average monthly discharges. This is calculated from the ratio between the standard deviation and the arithmetic mean of average mid-monthly discharges and is expressed in percent. The same coefficient with the abbreviation Cv^* and a corresponding equation was mentioned by D. Srebrenović (1986), although he uses no descriptive name for it. He only mentions its similarity or affinity with the coefficient of variability. The latter tells us how much the monthly or annual discharges deviate year to year from the multiyear average. A lower value of the coefficient of variability indicates the greater reliability of the monthly or annual average.

2. Previous research

The first classification of river regimes in Slovenia was done by S. Ilešič (1948). His dissertation is set in a wider framework and deals with river regimes of the former Yugoslavia. His classification is based on data on average monthly water levels in a sixteen-year period between the two World Wars (1923–1938). For Primorska, the littoral region of Slovenia which then belonged to Italy, Ilešič used Austrian measurements from the beginning of the century (1898–1913). As a starting point, he took the classification of the river

regimes of the French hydrographer M. Pardé (1933), which was also the basis for the majority of later classifications in Slovenia.

According to Ilesič, the following river regimes exist in Slovenia (the streams most characteristic of individual types are in brackets):

1. mitigated nival regime (Drava),
2. transitional nival regime (Mura, upper course of the Soča as far as Kobarid),
3. a. Alpine variant of the nivo-pluvial regime (upper course of the Sava and the Savinja),
b. moderate Mediterranean variant of the nivo-pluvial regime (Tržiška Bistrica and Kamniška Bistrica),
4. a. transitional Central European or Sava catchment variant of the pluvio-nival regime (Sotla),
b. moderate Mediterranean variant of the pluvio-nival regime (Ljubljana, Sora), and
c. Mediterranean variant of the pluvio-nival regime (Idrija, Vipava).

In a publication that appeared on the 40th anniversary of the Hydrometeorological Institute of Slovenia (1987), A. Stele presented a map of river regimes in Slovenia on which twenty-five water gauging stations on twenty streams are shown with diagrams. The details of his analyses are not known because the map appears without commentary. The river regimes are united into eight groups:

1. pure nival regime (Drava),
2. transitional nival regime (Mura),
3. transitional nival regime with Mediterranean emphasis (upper course of the Soča, Sava Dolinka),
4. nivo-pluvial regime (Kamniška Bistrica, Sava Bohinjka),
5. pluvio-nival regime with moderate Mediterranean emphasis (lower course of the Sava, Savinja),
6. karst-influenced pluvio-nival regime with moderate Mediterranean emphasis (Kolpa, Krka),
7. pluvio-nival regime with moderate continental emphasis (Ledava, Sotla),
8. pluvial regime with Mediterranean emphasis (Rižana).

A simple division of Slovenia's river regimes was presented by I. Gams in a secondary school textbook (1996). It is evident from the denomination of individual groups that he wanted to emphasize particularly the major role played by evapotranspiration. Thus he distinguishes:

1. alpine evapotranspiration-snow regime,
2. continental evapotranspiration-rain regime, and
3. littoral evapotranspiration-rain regime.

The newest classification of river regimes was made on the basis of data about mean monthly discharges between 1961 and 1990 from the Hydrometeorological Institute of Slovenia. The division into groups using computer analysis was done by M. Bat and J. Uhan, and the classification was presented by M. Kolbezen (1998). According to discharge regime, Slovene streams are classified into the following groups:

1. snow regime (Mura),
2. snow-rain regime (upper course of the Sava, Savinja, Soča),
3. rain-snow regime (Krka, lower course of the Sava, Savinja),
a. continental variant of the rain-snow regime (Mirna, Pesnica, Sotla),
b. Mediterranean variant of the rain-snow regime (Idrija, Vipava), and
4. rain regime (Pivka, Reka, Rižana).

Along with dissertations dealing with river regimes in the territory of Slovenia as a whole, numerous regional dissertations have been published that as a rule cover individual river basins. B. Rus-Goljevšek (1962) and D. Plut (1987), for example, presented the river regimes in the Krka and Kolpa catchments in shorter contributions, while Radinja (1978) published an extensive dissertation on the runoff regimes in the Soča catchment.

3. Methodology

To divide discharge regimes, we chose cluster analysis based on a hierarchic method. This method is popular primarily for two reasons: it does not require that users define the final number of clusters of the classification sought in advance, and at the same time, the results of the gradual merging can be presented graphically in a very clear way with a tree diagram (Ferligoj, 1989). The advantage of the cluster analysis of discharge regimes is in the equal consideration of the data for all twelve months. With subjective judgments, it can happen that data on maximums and minimums has more weight, which is not in accordance with the definition of discharge regimes.

Cluster analysis includes the following steps (Ferligoj, 1989):

1. selection of the items for analysis,
2. determination of the set of variables,
3. Calculation of similarities among the items,
4. the use of appropriate methods for classification into clusters,
5. evaluation of the results acquired.

The selection of items included the choice of suitable water gauging stations. For the study, we included seventy water gauging stations on fifty-seven Slovene streams. Along with Slovene stations, we also included the Croatian Zamost water gauging station on the border Čabranka River. All the water gauging stations with more or less complete data on mean monthly discharges from 1961 to 1990 were taken into consideration. The set is substantially incomplete only for the Drava River, for which only data for the period from 1961 to 1976 was available. The majority of the data was taken from annual Yugoslav hydrological reports (*Hidrološki godišnjak* 1961–1986). Missing data was kindly supplied by the Sector for Hydrology at the Hydrometeorological Institute of Slovenia.

The set of variables included monthly discharge coefficients. We calculated these from the ratio between average monthly discharges and average annual discharges. Because all the variables used were of the same type, there was no need to standardize them.

The similarity among items was calculated on the basis of the Manhattan distance, where the absolute differences in the values for all the variables are summed. The Manhattan distance is akin to the more frequently used Euclidean distance, where the differences between variables are squared before they are summed.

For the cluster analysis, we tried various methods but got the best results using Ward's method. In this method, the means for each variable within each cluster are first calculated. Then, for each case, the squared Euclidean distance to the cluster means is calculated. The distances are summed for all items and clusters. At each step, the two clusters with the smallest increase in the overall sum of squared within-cluster distances are merged. In general, Ward's method is considered very effective, although the formation of too small clusters is cited among its weaknesses.

The procedure of gradual merging of items into clusters was graphically illustrated with a tree diagram or dendrogram. The linkage distance is in proportion with the diversity between the clusters (Ferligoj, 1989).

The results acquired were verified by classifying the same data using the non-hierarchic k-means method. The non-hierarchic k-means method differs from the hierarchic method in the fact that the number of desired clusters must be set in advance.

TABLE 1: MONTHLY DISCHARGE COEFFICIENTS AND COEFFICIENTS OF ANNUAL VARIABILITY OF AVERAGE MONTHLY DISCHARGES (CV*).
 PREGLEDNICA 1: MESEČNI PRETOČNI KOLIČNIKI IN KOEFICIENTI LETNE SPREMENLJIVOSTI POVPREČNIH MESEČNIH PRETOKOV (CV*).

STREAM	GAUGING STATION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Cv*
Bača	Bača pri Modreju	1.03	0.95	1.09	1.38	1.15	0.99	0.62	0.51	0.72	1.01	1.39	1.16	27.29
Bistrica	Muta	0.86	0.60	0.71	1.16	1.33	1.22	1.26	1.08	1.05	0.97	0.90	0.86	22.27
Bistrica	Sodražica	0.93	0.96	1.49	1.52	1.06	0.99	0.61	0.50	0.79	0.91	1.12	1.12	30.36
Bolska	Dolenja vas II	0.93	1.03	1.30	1.41	0.91	0.94	0.75	0.63	0.67	0.95	1.33	1.15	25.44
Borovnišča	Borovnica	0.88	0.88	1.22	1.25	1.06	1.17	0.74	0.64	0.80	1.05	1.31	1.01	21.51
Cerknišča	Cerknica I	1.09	1.04	1.30	1.40	0.92	0.96	0.68	0.55	0.73	0.87	1.23	1.23	26.51
Čabranka	Zamost	0.99	0.91	1.26	1.45	0.80	0.73	0.46	0.49	0.79	1.32	1.54	1.25	36.37
Drava	Borl	0.55	0.53	0.68	1.08	1.38	1.61	1.40	1.18	1.10	0.87	0.92	0.69	35.14
Dravinja	Videm I	0.94	1.10	1.27	1.41	1.00	0.84	0.84	0.71	0.71	0.94	1.15	1.09	21.40
Dreta	Kraše	0.86	0.81	1.09	1.49	1.12	0.98	0.78	0.65	0.87	1.05	1.28	1.02	23.18
Hubelj	Ajdovščina I	0.91	0.95	1.21	1.62	1.06	0.89	0.50	0.43	0.72	1.18	1.38	1.16	34.39
Idrija	Hotešček	1.06	1.02	1.24	1.41	0.91	0.87	0.58	0.50	0.73	1.07	1.45	1.16	29.98
Idrija	Podroteja I	1.12	0.99	1.26	1.38	0.81	0.79	0.57	0.53	0.79	1.11	1.47	1.16	30.42
Jezernica	Mlino I	0.79	0.73	0.91	1.48	1.58	1.16	1.03	0.73	0.85	0.74	1.06	0.93	28.51
Kamniška Bistrica	Kamnik I	0.70	0.69	0.76	1.12	1.45	1.45	1.08	0.76	0.86	1.07	1.22	0.84	27.39
Kokra	Kokra I	0.79	0.66	0.80	1.37	1.36	1.20	0.93	0.73	0.84	1.04	1.28	0.98	24.95
Kolpa	Metlika	1.04	1.07	1.35	1.50	0.95	0.70	0.43	0.44	0.70	1.05	1.42	1.34	36.70
Kolpa	Petrina	1.05	1.02	1.21	1.54	0.99	0.67	0.40	0.41	0.73	1.11	1.53	1.34	38.49
Koritnica	Kal	0.58	0.55	0.63	1.17	1.65	1.50	1.12	0.80	0.95	1.03	1.22	0.79	35.38
Krka	Podbočje	0.88	1.02	1.39	1.47	0.95	0.89	0.71	0.56	0.74	0.97	1.26	1.18	27.84
Krka	Podbukovje	0.92	1.05	1.40	1.39	0.90	0.86	0.75	0.59	0.74	0.99	1.26	1.15	25.95
Lahinja	Gradac	1.02	1.19	1.59	1.42	0.91	0.62	0.44	0.41	0.63	0.99	1.40	1.37	40.47
Ledava	Polana I	0.99	1.40	1.72	1.12	0.84	0.76	0.86	0.73	0.57	0.78	1.21	1.04	32.33
Lipnica	Ovsiše I	0.72	0.69	0.98	1.81	1.24	0.91	0.62	0.66	0.90	1.12	1.44	0.90	35.57
Ljubija	Verd I	1.10	1.03	1.15	1.37	1.02	0.90	0.66	0.50	0.71	0.98	1.30	1.29	26.95
Ljubljana	Ljubljana Moste	1.08	1.14	1.26	1.41	0.95	0.89	0.63	0.51	0.72	0.90	1.25	1.27	28.39
Ljubljana	Vrhnika II	1.09	1.03	1.19	1.46	0.96	0.84	0.54	0.45	0.69	1.01	1.40	1.34	32.69
Meža	Otiški Vrh I	0.66	0.72	1.05	1.53	1.19	1.10	1.01	0.78	0.93	1.00	1.17	0.86	23.85
Mirna	Gabrje I	0.97	1.10	1.33	1.24	0.98	1.03	0.77	0.66	0.71	0.92	1.13	1.14	20.72
Mostnica	Stara Fužina II	0.53	0.48	0.75	1.50	1.80	1.32	0.77	0.73	1.00	1.04	1.38	0.69	41.68
Mura	Petanjci	0.70	0.73	0.91	1.14	1.37	1.34	1.23	1.13	0.97	0.87	0.84	0.76	23.64
Nevljica	Nevlje I	0.96	0.94	1.13	1.24	1.02	1.10	0.91	0.67	0.80	0.94	1.28	1.01	17.27
Paka	Šoštanj	0.85	0.92	1.19	1.35	0.97	0.98	0.96	0.72	0.83	0.98	1.23	1.01	17.97
Pesnica	Zamušani I	0.94	1.31	1.71	1.33	0.77	0.74	0.68	0.65	0.61	0.90	1.29	1.06	34.68
Pivka	Postojnska jama	1.41	1.07	1.30	1.47	0.81	0.64	0.29	0.21	0.50	1.17	1.60	1.52	49.36
Poljanska Sora	Zminec	0.98	0.90	1.27	1.36	1.00	0.90	0.81	0.51	0.77	1.06	1.33	1.11	24.74
Prečna	Prečna	1.02	1.10	1.36	1.26	0.91	0.87	0.77	0.67	0.77	0.92	1.17	1.18	21.61
Pšata	Moste	1.06	0.99	1.25	1.21	0.95	0.89	0.84	0.58	0.82	1.00	1.22	1.19	20.01
Radovna	Podhom	0.51	0.43	0.60	1.35	1.81	1.43	1.01	0.81	1.03	1.11	1.18	0.74	40.58
Radulja	Škocjan	0.97	1.10	1.50	1.35	0.90	0.90	0.71	0.62	0.68	0.87	1.22	1.18	27.55
Reka	Cerkvenikov mlin	1.34	1.34	1.29	1.34	0.82	0.66	0.26	0.27	0.53	1.08	1.64	1.44	47.61
Rižana	Kubed II	1.36	1.34	1.33	1.36	0.83	0.75	0.26	0.32	0.59	0.94	1.52	1.40	44.55
Sava	Čatež I	0.91	0.93	1.09	1.36	1.12	1.02	0.79	0.64	0.79	1.01	1.25	1.09	20.35
Sava	Litija I	0.91	0.87	1.04	1.33	1.20	1.07	0.78	0.64	0.81	1.02	1.27	1.06	20.68
Sava	Radeče	0.89	0.88	1.08	1.36	1.18	1.07	0.81	0.65	0.81	0.94	1.27	1.06	20.76
Sava	Radovljica I	0.60	0.55	0.70	1.30	1.66	1.37	0.98	0.80	0.96	1.08	1.20	0.81	33.54
Sava	Šentjakob	0.78	0.75	0.91	1.33	1.36	1.16	0.86	0.73	0.89	1.06	1.23	0.94	22.29
Sava Bohinjka	Soteska	0.53	0.47	0.70	1.39	1.94	1.40	0.82	0.70	0.95	1.09	1.27	0.73	43.43
Sava Dolinka	Jesenice	0.65	0.58	0.64	1.03	1.40	1.45	1.20	0.97	1.02	1.06	1.13	0.87	28.10
Savinja	Laško I	0.85	0.87	1.14	1.38	1.11	1.04	0.84	0.67	0.79	1.04	1.24	1.03	20.27
Savinja	Nazarje	0.72	0.70	0.96	1.50	1.41	1.17	0.85	0.66	0.84	1.03	1.25	0.92	27.79
Savinja	Šolčava I	0.58	0.62	0.70	1.36	1.49	1.32	1.07	0.76	0.83	1.15	1.28	0.85	31.59
Selška Sora	Škofja Loka	0.94	0.91	1.20	1.57	1.10	0.89	0.61	0.43	0.69	1.14	1.39	1.13	32.46
Soča	Kobarid I	0.58	0.52	0.66	1.21	1.68	1.47	0.98	0.75	0.99	1.09	1.28	0.78	36.46
Soča	Kršovec	0.47	0.42	0.53	1.13	1.94	1.73	1.06	0.75	0.97	1.08	1.24	0.68	47.71

STREAM	GAUGING STATION	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	Cv*
Soča	Solkan I	0.81	0.73	0.95	1.31	1.38	1.18	0.77	0.61	0.84	1.07	1.36	1.00	26.05
Sora	Suha I	0.99	0.96	1.26	1.44	0.96	0.91	0.61	0.53	0.78	1.07	1.40	1.09	28.10
Sotla	Rakovec I	1.02	1.30	1.46	1.27	0.82	0.82	0.72	0.51	0.61	0.94	1.29	1.23	30.78
Ščavnica	Pristava I	1.09	1.51	1.73	1.28	0.78	0.71	0.60	0.56	0.52	0.80	1.28	1.16	39.74
Šujica	Razori	1.03	1.06	1.33	1.28	0.86	0.92	0.64	0.62	0.82	1.01	1.30	1.13	23.83
Temenica	Rožni Vrh	1.02	1.00	1.22	1.19	0.96	0.96	0.86	0.70	0.85	0.90	1.20	1.12	16.07
Tolminka	Tolmin	0.58	0.52	0.66	1.14	1.84	1.60	0.89	0.64	0.90	1.13	1.33	0.77	41.87
Trebušnica	Dolenja Trebuša	1.08	0.97	1.18	1.38	1.02	0.88	0.59	0.55	0.73	1.09	1.35	1.16	26.84
Tržiška Bistrica	Preska	0.77	0.73	0.83	1.25	1.27	1.11	0.95	0.90	1.05	1.03	1.17	0.93	17.87
Učēja	Žaga	0.71	0.65	0.96	1.56	1.47	1.03	0.64	0.62	0.93	1.08	1.47	0.89	33.80
Unica	Hasberk	1.18	1.07	1.13	1.50	1.05	0.85	0.52	0.38	0.61	0.95	1.37	1.38	35.38
Veliki Obrh	Pudob	0.91	0.99	1.31	1.62	0.85	0.89	0.51	0.47	0.70	1.08	1.45	1.21	35.60
Vipava	Miren	1.22	1.12	1.20	1.38	0.87	0.85	0.47	0.42	0.61	1.08	1.44	1.32	35.22
Vipava	Vipava I	1.01	1.02	1.26	1.49	0.98	0.91	0.55	0.53	0.71	1.01	1.34	1.18	29.76
Vogljajna	Celje II	0.99	0.98	1.41	1.30	0.89	0.94	0.86	0.64	0.73	1.02	1.14	1.11	22.07

4. Results

On the basis of hierarchic classification into clusters according to Ward's method and taking the Manhattan distances into consideration, we established eight types of discharge regimes in Slovenia. We named them according to the regional unit for which they are characteristic and according to the sources of water that replenish the streams. In so doing, we maintained the established terminology as far as possible. Because two varieties of the snow-rain regime occur in the Alpine region, we specifically used denominations related to the relief units in this case: »medium mountain« and »high mountain« regimes.

In Slovenia, we distinguish the following discharge regimes:

1. Mediterranean rain regime,
2. Dinaric rain-snow regime,
3. Dinaric-Alpine rain-snow regime,
4. Pannonian rain-snow regime,
5. Alpine rain-snow regime,
6. Alpine medium mountain snow-rain regime,
7. Alpine high mountain snow-rain regime, and
8. Alpine snow regime.

It is evident already on the basis of these names that the individual types of discharge regimes can be combined into wider groupings relative to the source of supply of the streams. Their basic characteristics are as follows:

1. rain regime:
 - one maximum and one minimum (simple type of regime),
 - maximum in late autumn (November); the amount of water does not then drop substantially until the end of April,
 - minimum in summer (July, August),
 - snow retention insignificant;
2. rain-snow regime:
 - two maximums and two minimums (mixed type of regime),
 - primary maximum in early spring (March, April), secondary maximum in late autumn (November),
 - primary minimum always in summer (August, September), secondary in winter (January, February); summer minimum in all cases distinctively surpasses the winter minimum,
 - snow retention from one to three months;

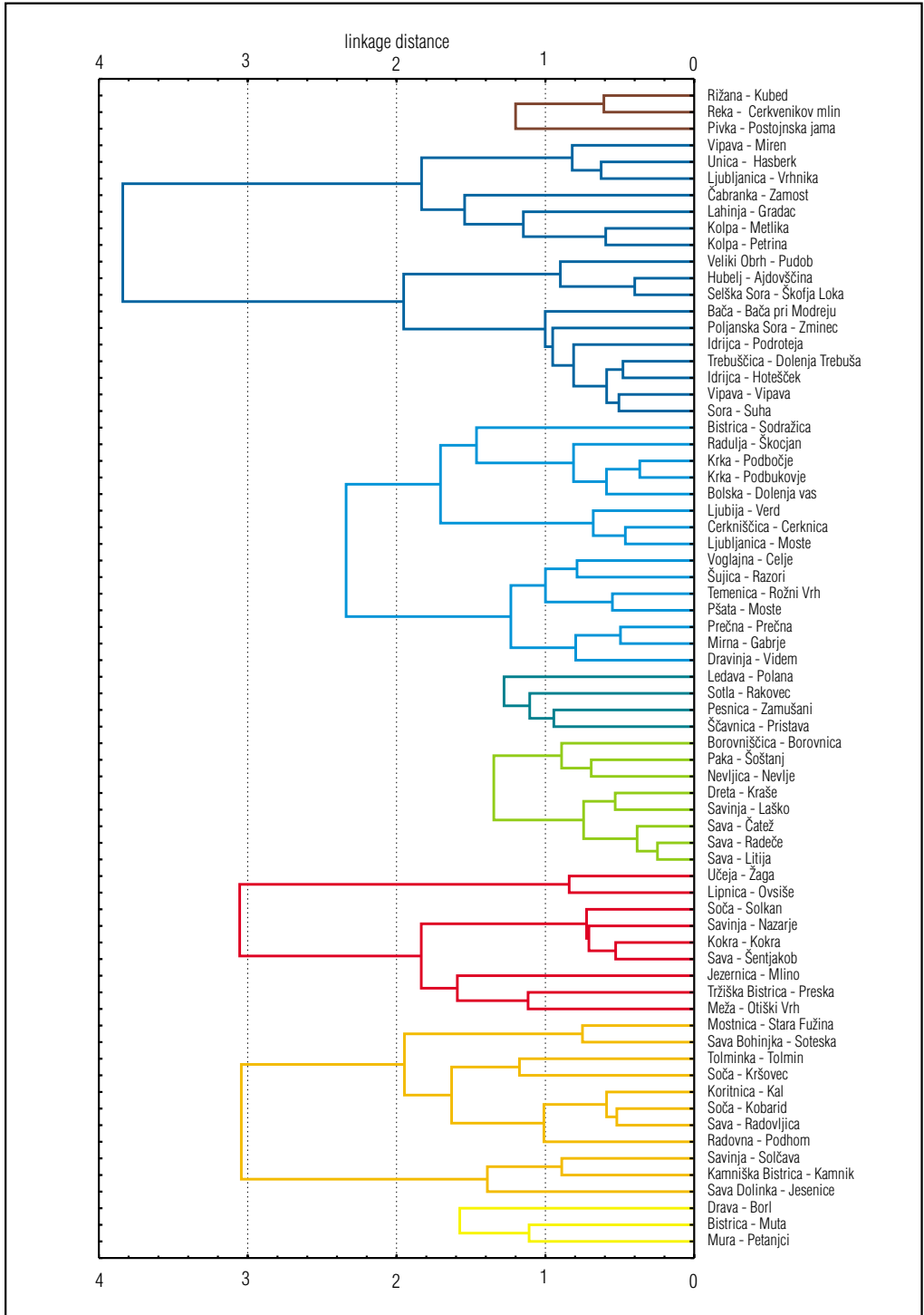


Figure 1: Tree diagram of river clusters according to discharge regime.
Slika 1: Drevesni diagram združevanja rek glede na pretočni režim.

3. snow-rain regime:

- two maximums and two minimums (mixed type of regime),
- primary maximum in late spring (April, May), secondary maximum in late autumn (November),
- primary minimum as a rule in winter (January, February), secondary minimum in summer (August); in a few cases, the secondary winter minimum does not differ substantially from the summer primary minimum,
- snow retention from four to five months;

4. snow regime:

- one maximum and one minimum (simple type of regime),
- maximum at transition from spring to summer (May, June),
- minimum in winter (January, February),
- snow retention for five or more months.

Short descriptions of each type of discharge regime are presented below with graphs from typical water gauging stations. The descriptions of individual types include a list of the appertaining streams and a note of the regional unit and the climatic type in which they occur. Climatic types are described according to D. Ogrin (1996). Next, we list the maximums and minimums with the corresponding monthly discharge coefficients, and finally the coefficients of annual variability of average monthly discharges.

On the graphs, the columns present the values of average monthly discharges for the 1961–1990 period. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

4.1. Mediterranean rain regime

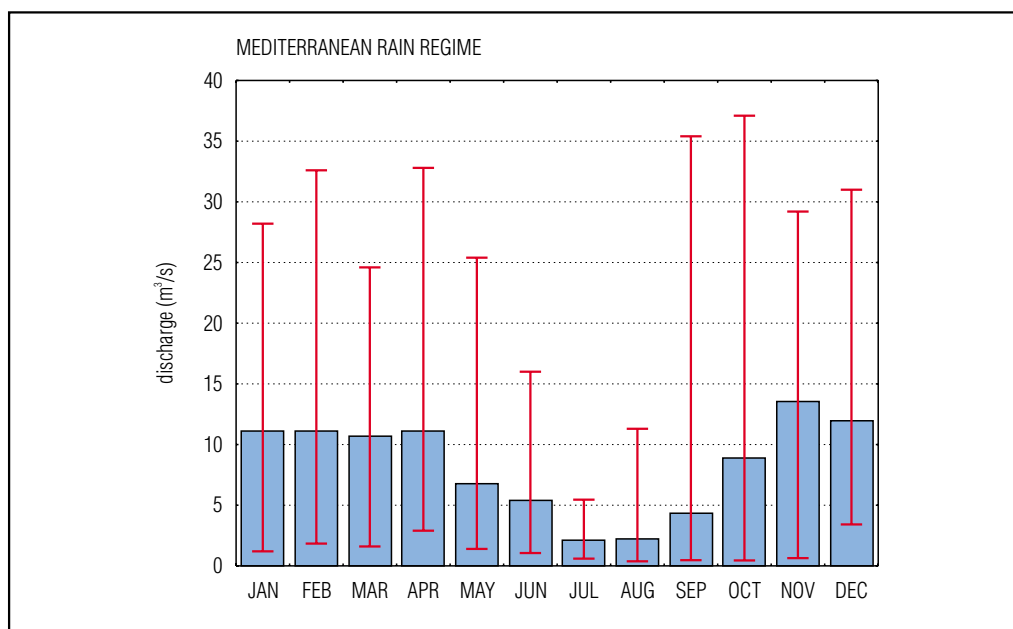


Figure 2: Average monthly discharges of the Reka River at Cerkevnikov mlin water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 2: Povprečni mesečni pretoki Reke na vodomerni postaji Cerkevnikov mlin v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

The Pivka, the Reka, and the Rižana fall in the group of streams with a Mediterranean rain regime. This regime is characteristic of the southern, Mediterranean region of Slovenia where a submediterranean climate prevails due to the proximity of the Adriatic Sea. The primary discharge maximum occurs in November when the values of the monthly discharge coefficients range from 1.52 on the Rižana to 1.64 on the Reka. The quantity of water does not drop substantially in the following months, and the second maximum is therefore hardly noticeable. It is slightly more evident only on the Pivka, where it occurs in February. The least water is in July and August when the monthly discharge coefficients drop to values from 0.21 on the Pivka to 0.26 on the Reka and the Rižana. Above average quantities of water usually occur between October and April, and below-average quantities between May and September. Due to the great differences between winter and summer discharges, the coefficients of annual variability of average monthly discharges in this regime are by far the highest, ranging from 45% on the Rižana to 49% on the Pivka. The group of streams with the Mediterranean rain regime is among the smallest and at the same time the most homogenous.

4.2. Dinaric rain-snow regime

The group of streams with the Dinaric rain-snow regime includes the Bača, the Čabranka, the Hubelj, the Idrija, the Kolpa, the Lahinja, the Ljubljana near Vrhnika, the Poljanska Sora, the Selška Sora, the Sora, the Trebuščica, the Unica, the Veliki Obrh, and the Vipava. This regime is characteristic of Slovenia's western and southern Dinaric region, where a temperate continental climate prevails. The spring and autumn maximums are quite similar, and some of the streams therefore have their primary maximum in April and secondary maximum in November, and the others exhibit the opposite pattern. During the primary discharge maximum, the values of monthly discharge coefficients range from 1.36 on the Poljanska Sora to 1.62 on the Veliki Obrh and the Hubelj, and during the secondary maximum, from 1.33 on the Poljanska Sora to 1.53 on the Kolpa near Petrina. The least water is in August when the monthly discharge coefficients drop to values ranging from 0.38 on the Unica to 0.55 on the Trebuščica. During the January

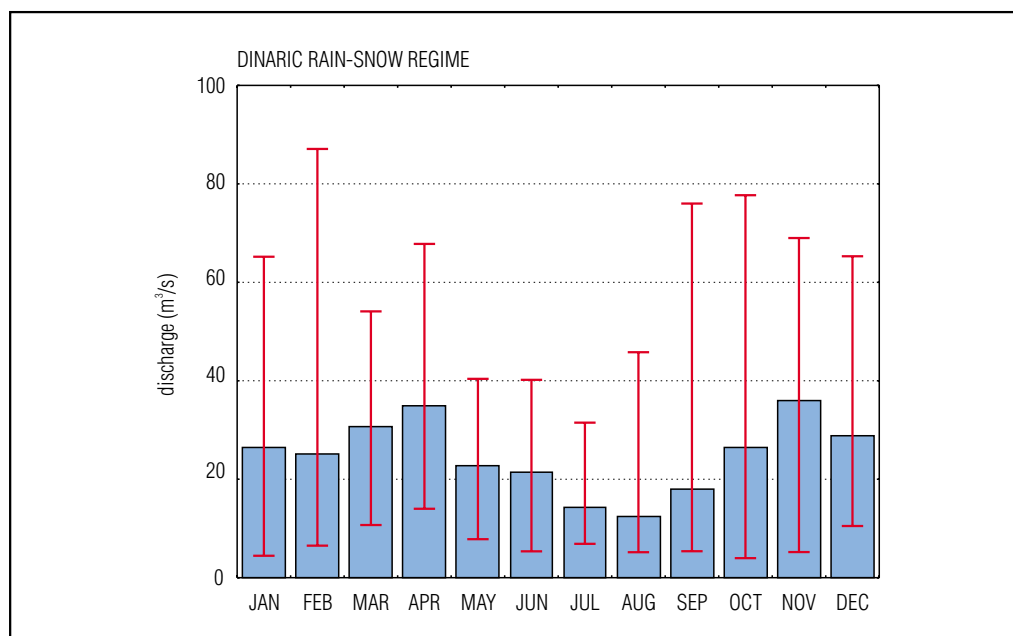


Figure 3: Average monthly discharges of the Idrija River at Hotešček water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 3: Povprečni mesečni pretoki Idrijce na vodomerni postaji Hotešček v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

or February secondary minimum, the discharges are close to the average, and the monthly discharge coefficients range from 0.90 on the Poljanska Sora to 1.12 on the Vipava near Miren. Above-average quantities of water usually occur between October and December and in March and April; below-average quantities, between June and September. In January, February, and May, the discharges approach the annual average. The coefficients of annual variability of the average monthly discharges range between 25% on the Poljanska Sora to 40% on the Lahinja. In contrast with the previous group, the group of streams from the Dinaric rain-snow regime is the largest and at the same the most heterogeneous.

4.3. Dinaric-Alpine rain-snow regime

The group of streams with the Dinaric-Alpine rain-snow regime includes the »Sodražica« Bistrica, the Bolska, the Cerknjščica, the Dravinja, the Krka, the Ljubija, the Ljubljana near Ljubljana, the Mirna, the Prečna, the Pšata, the Radulja, the Šujica, the Temenica, and the Voglajna. This regime is characteristic of the contact between the Dinaric and Alpine regions where the temperate continental climate of central Slovenia prevails. The primary discharge maximum occurs in March or April when the values of the monthly discharge coefficients range from 1.22 on the Temenica to 1.52 on the »Sodražica« Bistrica. The secondary maximum occurs in November or December with monthly discharge coefficients from 1.12 on the »Sodražica« Bistrica to 1.33 on the Bolska. The least water is in August when the monthly discharge coefficients drop to values from 0.50 on the »Sodražica« Bistrica and the Ljubija to 0.71 on the Dravinja. During the secondary minimum in January or February, there is considerably more water, and the coefficient closely approaches the annual average. The monthly discharge coefficients range from 0.88 on the Krka near Podbočje to 1.08 on the Ljubljana near Ljubljana. Above-average quantities of water usually occur between February and April and in November and December; below-average quantities, between May and October. In January, the discharges approach the annual average. The coefficients of annual variability of the average monthly discharges range between 16% on the Temenica and 30% on the »Sodražica« Bistrica.

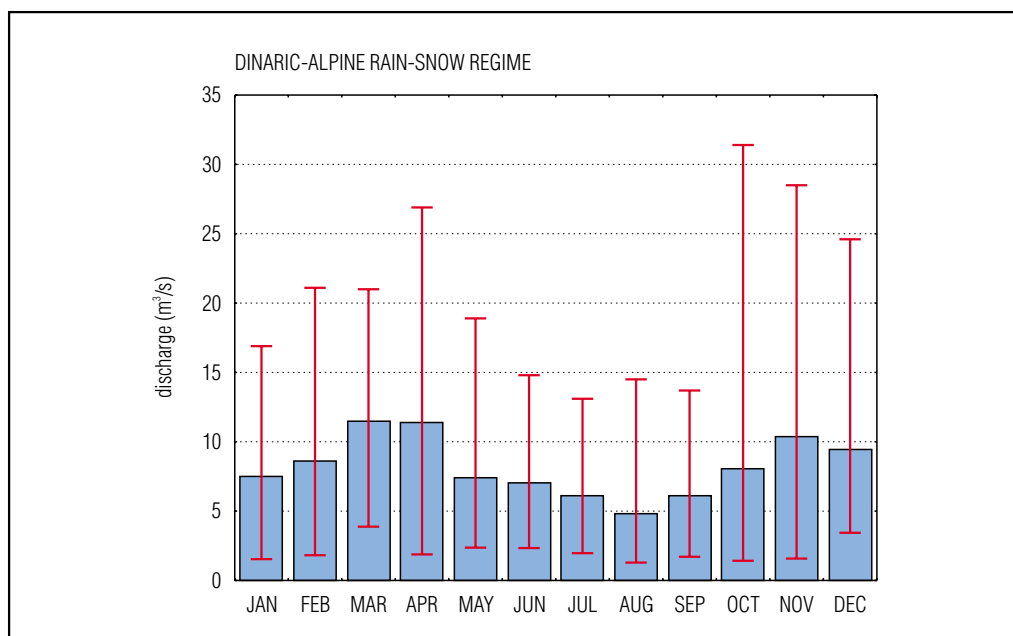


Figure 4: Average monthly discharges of the Krka River at Podbukovje water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 4: Povprečni mesečni pretoki Krke na vodomerni postaji Podbukovje v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

4.4. Pannonian rain-snow regime

The group of streams with the Pannonian rain-snow regime includes the Ledava, the Pesnica, the Sotla, and the Ščavnica. This regime is characteristic of the Pannonian region where the subpannonian or temperate continental climate of eastern Slovenia prevails. The primary discharge maximum occurs in March when the values of the monthly discharge coefficients range from 1.46 on the Sotla to 1.73 on the Ščavnica. The secondary maximum occurs in November with monthly discharge coefficients between 1.21 on the Ledava and 1.29 on the Pesnica and the Sotla. The least water is in August and even more frequently in September when the monthly discharge coefficients drop to values from 0.51 on the Sotla to 0.61 on the Pesnica. During the secondary minimum in January, there is considerably more water, and the coefficient closely approaches the annual average. The monthly discharge coefficients range from 0.94 on the Pesnica to 1.09 on the Ščavnica. Above-average quantities of water usually occur between February and April and in November and December; below-average, between May and October. In January, the discharges approach the annual average. The coefficients of annual variability of the average monthly discharges range from 31% on the Sotla to 40% on the Ščavnica.

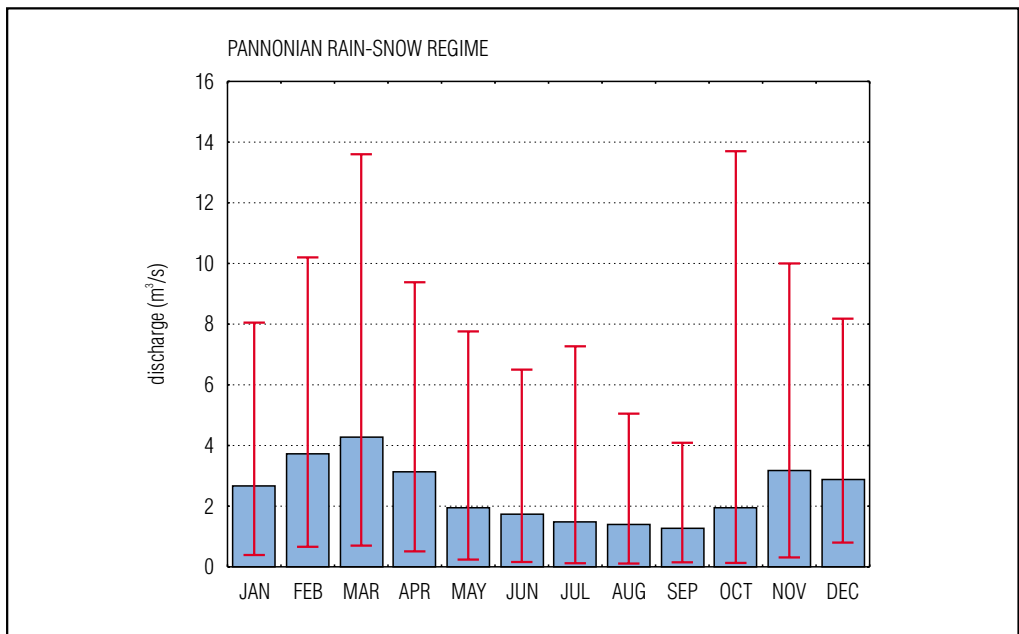


Figure 5: Average monthly discharges of the Ščavnica River at Pristava water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 5: Povprečni mesečni pretoki Ščavnice na vodomerni postaji Pristava v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

4.5. Alpine rain-snow regime

The group of streams with the Alpine rain-snow regime includes the Borovniščica, the Dreta, the Nevljica, the Paka, the Sava from Litija downstream, and the Savinja near Laško. This regime is characteristic of the lower parts of the Alpine region where the temperate continental climate of central Slovenia prevails. The primary discharge maximum occurs in April when the values of the monthly discharge coefficients range from 1.24 on the Nevljica to 1.49 on the Dreta. The secondary maximum occurs in November with monthly discharge coefficients from 1.23 on the Paka to 1.31 on the Borovniščica. The least water is in

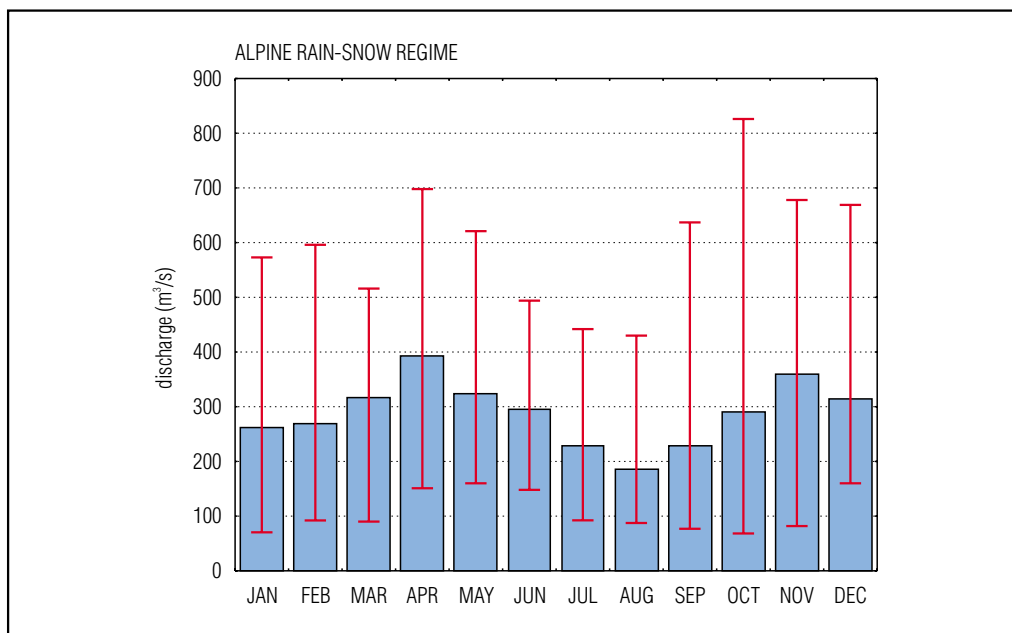


Figure 6: Average monthly discharges of the Sava River at Čatež water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 6: Povprečni mesečni pretoki Save na vodomerni postaji Čatež v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

August when the monthly discharge coefficients drop to values from 0.64 on the Borovniščica and the Sava near Litija and Čatež to 0.72 on the Paka. During the secondary minimum in January or February, the monthly discharge coefficients range from 0.81 on the Dreta to 0.94 on the Nevljica. Above-average quantities of water usually occur between March and June and in November and December; below-average, between July and September. In October, the discharges approach the annual average. The coefficients of the annual variability of monthly discharges are the smallest in this group and range from 17% on the Nevljica to 23% on the Dreta.

4.6. Alpine medium mountain snow-rain regime

The group of streams with the Alpine medium mountain snow-rain regime includes the Jezernica, the Kokra, the Lipnica, the Meža, the Sava near Šentjakob, the Savinja near Nazarje, the Soča near Solkan, the Tržiška Bistrica, and the Učja. This regime is characteristic of the medium mountain Alpine region where the climate of Slovenia's lower mountain regions prevails. The primary discharge maximum occurs in April or occasionally in May when the values of the monthly discharge coefficients range from 1.27 on the Tržiška Bistrica to 1.81 on the Lipnica. The secondary maximum occurs in November with monthly discharge coefficients from 1.06 on the Jezernica to 1.47 on the Učja. The winter and summer minimums are similar. In January and February, the monthly discharge coefficients drop to values from 0.66 on the Meža and the Kokra to 0.75 on the Sava near Šentjakob. During the August minimum, the monthly coefficients range from 0.61 on the Soča near Solkan to 0.90 on the Tržiška Bistrica. Above-average quantities of water usually occur between April and June and in November; below-average, between July and September and from December to March. The discharges approach the annual average in October. The coefficients of annual variability of average monthly discharges range from 18% on the Tržiška Bistrica to 36% on the Lipnica.

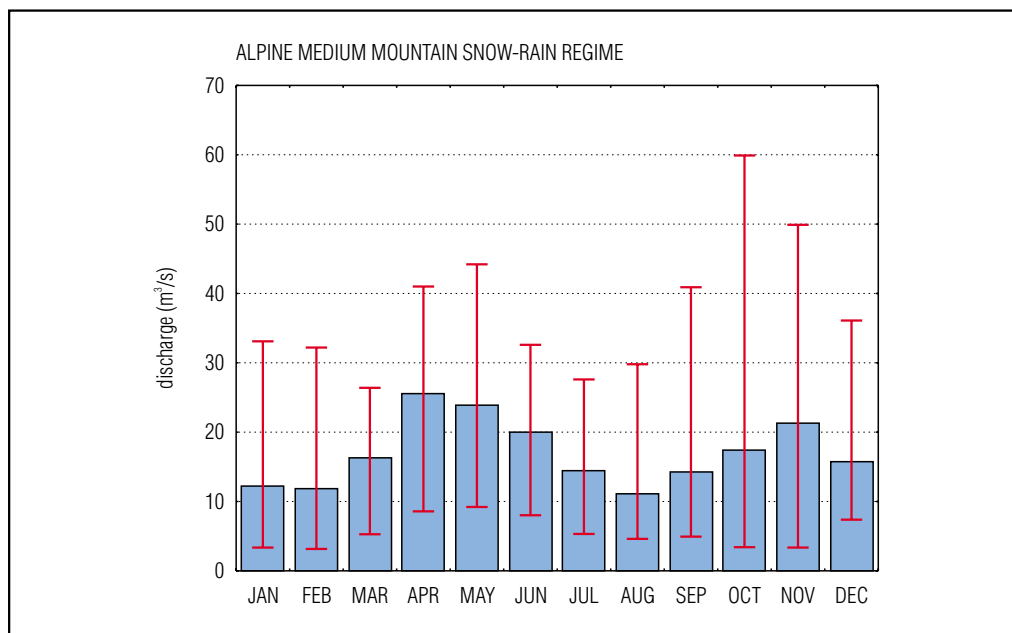


Figure 7: Average monthly discharges of the Savinja River at Nazarje water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 7: Povprečni mesečni pretoki Savinje na vodomerni postaji Nazarje v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

4.7. Alpine high mountain snow-rain regime

The group of streams with the Alpine high mountain snow-rain regime includes the Kamniška Bistrica, the Koritnica, the Mostnica, the Radovna, the Sava near Radovljica, the Sava Bohinjka, the Sava Dolinka, the Savinja near Solčava, the Soča as far as Kobarid, and the Tolminka. This regime is characteristic of the high mountain Alpine region where the climate of Slovenia's higher mountain regions prevails. The primary discharge maximum occurs in May or even in June when the values of the monthly discharge coefficients range from 1.45 on the Kamniška Bistrica and the Sava Dolinka to 1.94 on the Soča near Kršovec. The secondary maximum occurs in November with monthly discharge coefficients between 1.13 on the Sava Dolinka and 1.38 on the Mostnica. The least water is in January or more frequently in February when the monthly discharge coefficients drop to values from 0.42 on the Soča near Kršovec to 0.69 on the Kamniška Bistrica. During the secondary minimum in August, the monthly discharge coefficients range from 0.70 on the Sava Bohinjka to 0.97 on the Sava Dolinka. Above-average quantities of water usually occur between April and June and in October and November; below-average, from December to March. In July and September, the discharges of the majority of the streams approach the annual average. The coefficients of annual variability of the average monthly discharges range from 27% on the Kamniška Bistrica to 48% on the Soča near Kršovec.

4.8. Alpine snow regime

The group of streams with the Alpine snow regime includes the »Muta« Bistrica, the Drava, and the Mura. This regime is characteristic of streams that enter Slovenia from neighbouring Austria. Their catchment areas are in the high Alps where the high mountain climate prevails. The single discharge maximum occurs in May or June when the values of the monthly discharge coefficients range between 1.33 on the »Muta«

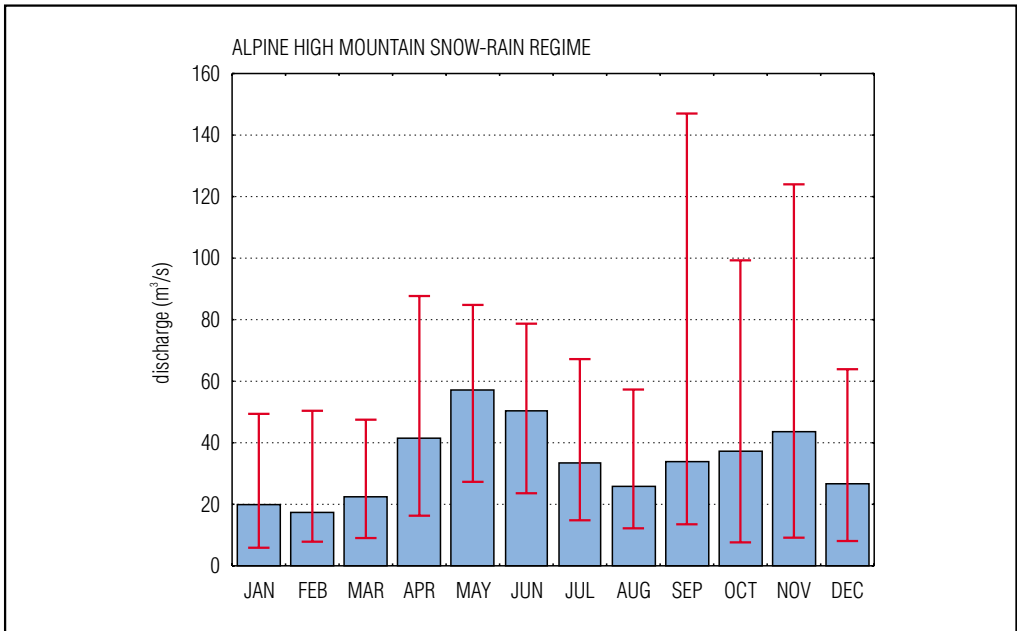


Figure 8: Average monthly discharges of the Soča River at Kobarid water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 8: Povprečni mesečni pretoki Soče na vodometri postaji Kobarid v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

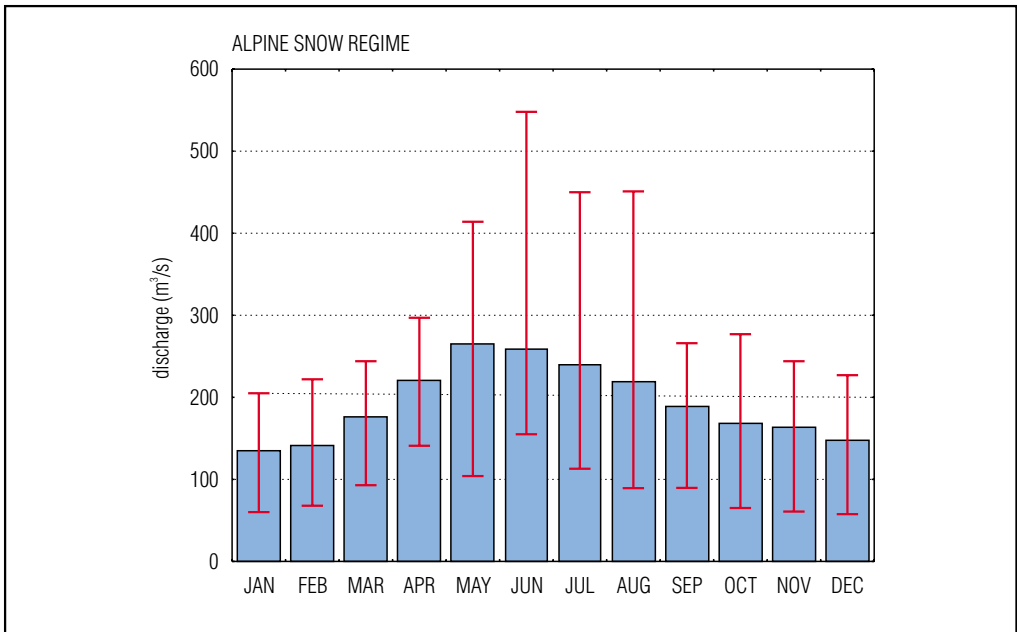
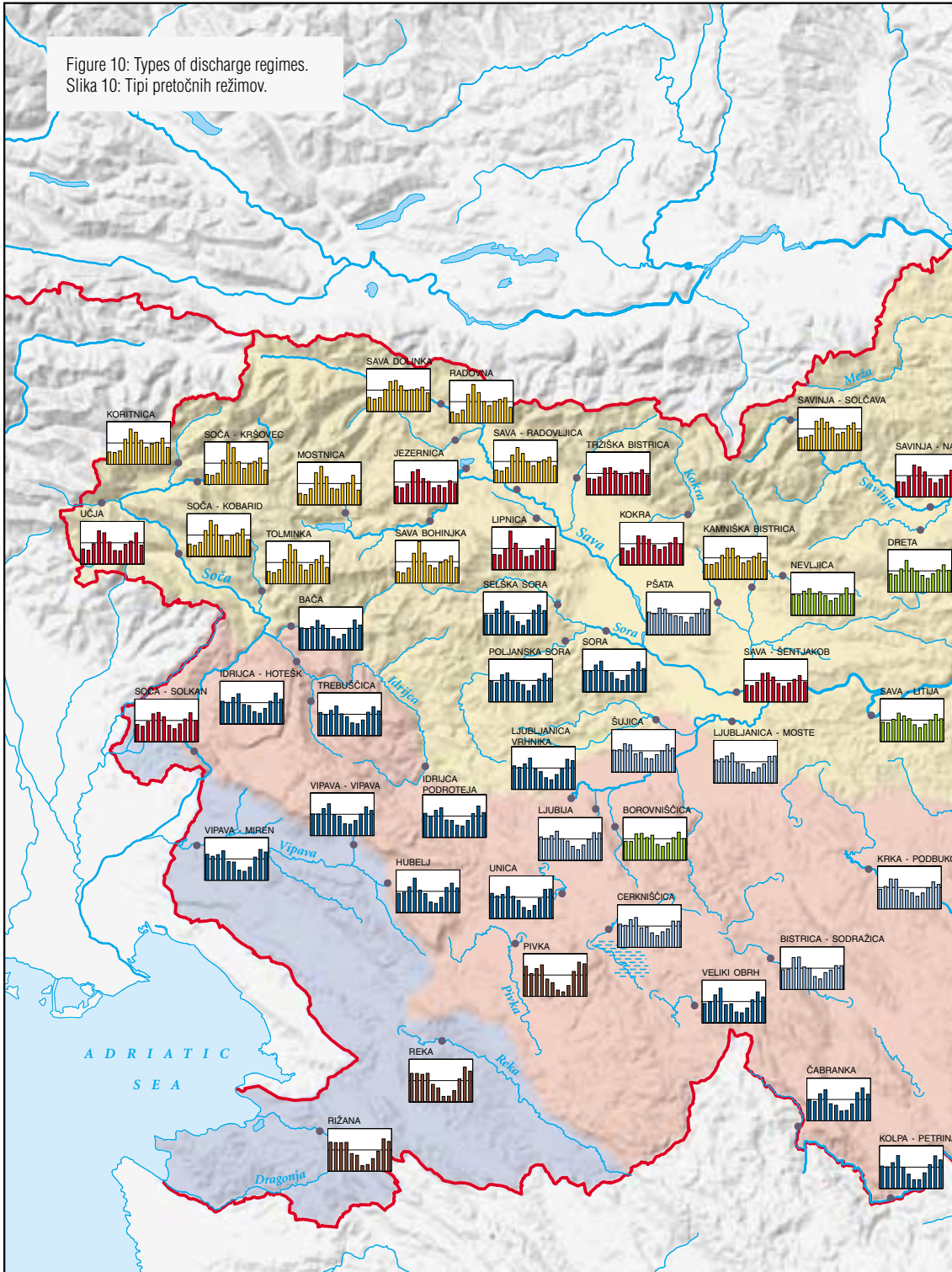


Figure 9: Average monthly discharges of the Mura River at Petanjci water gauging station from 1961 to 1990. The straight lines in the columns indicate the spread between the average smallest and largest monthly discharges in the treated period.

Slika 9: Povprečni mesečni pretoki Mure na vodometri postaji Petanjci v obdobju od 1961 do 1990. Daljice kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

Figure 10: Types of discharge regimes.
Slika 10: Tipi pretočnih režimov.



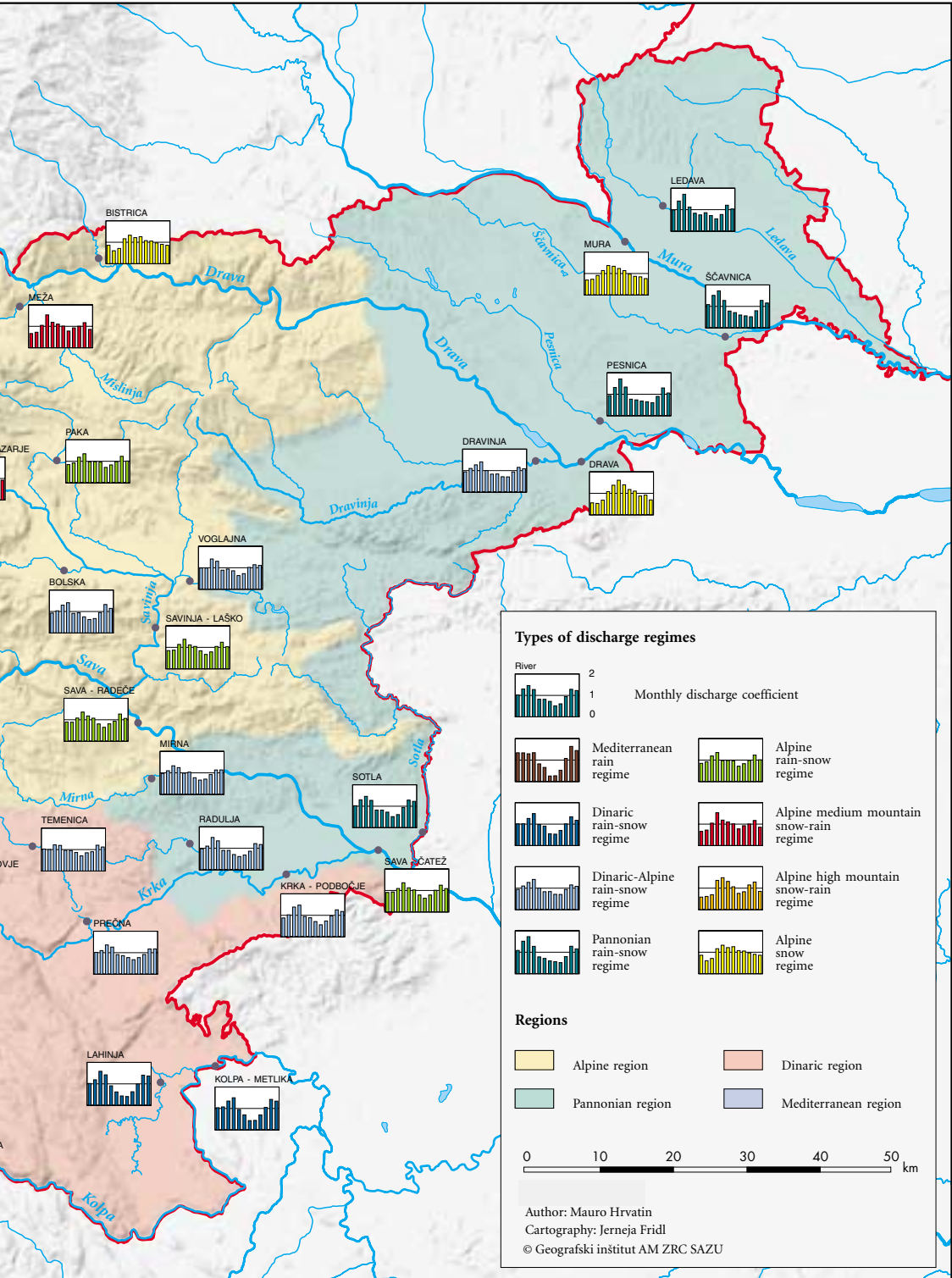
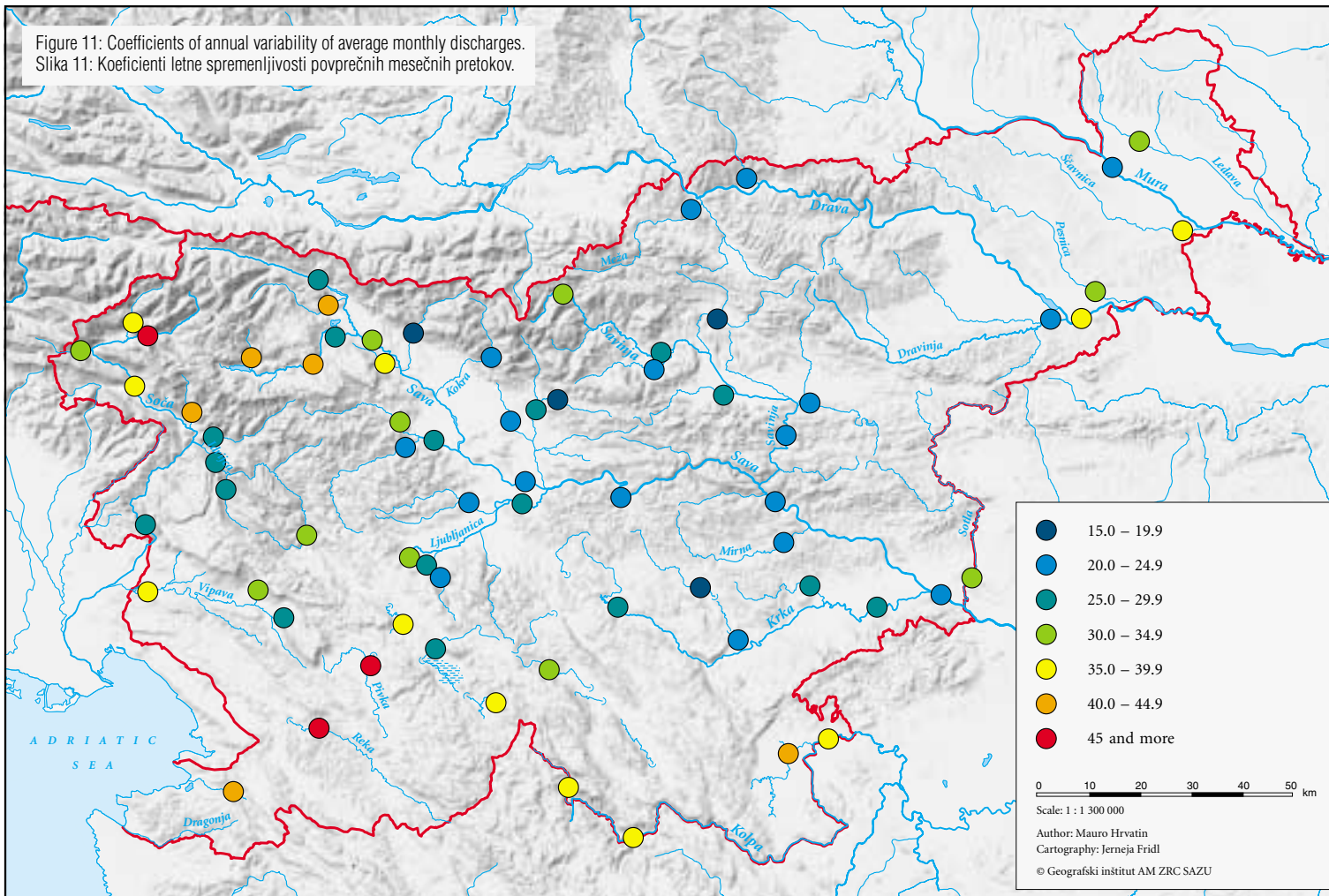


Figure 11: Coefficients of annual variability of average monthly discharges.
 Slika 11: Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov.



Bistrica to 1.61 on the Drava. The least water is in January and February when the monthly discharge coefficients drop to values from 0.53 on the Drava to 0.70 on the Mura. Above-average quantities of water usually occur between April and August; below-average, between October and March. In September, the discharges approach the annual average. The coefficients of the annual variability of monthly discharges range from 22% on the »Muta« Bistrica to 35% on the Drava.

Verifying the results using the non-hierarchic k-means method showed a satisfactory similarity. The only important difference was that in the non-hierarchic classification into eight groups, the k-means method divided the streams of the Dinaric rain-snow regime (the most homogeneous group according to Ward's method) into two groups, while the streams of the Pannonian rain-snow regime and the Dinaric-Alpine rain-snow regime remained combined. These two groups separated when we performed the non-hierarchic classification using nine groups.

In processing the data, we also calculated monthly and annually coefficients of the variability of discharges. We found the distribution of the stations according to the months with the largest and the smallest coefficients of variability more interesting than their values. The distribution is very similar for the majority of water gauging stations regardless of the type of discharge regime, climate, or any other factor. The smallest coefficients of variability are characteristic of the spring months, while the largest coefficients occur in September and October. The only difference is evident in the smallest values of coefficients: they are characteristic for early spring (March, April) on streams with an accentuated rain component (rain and rain-snow regimes) and for late spring (May) on streams with an accentuated snow component (snow-rain and snow regimes).

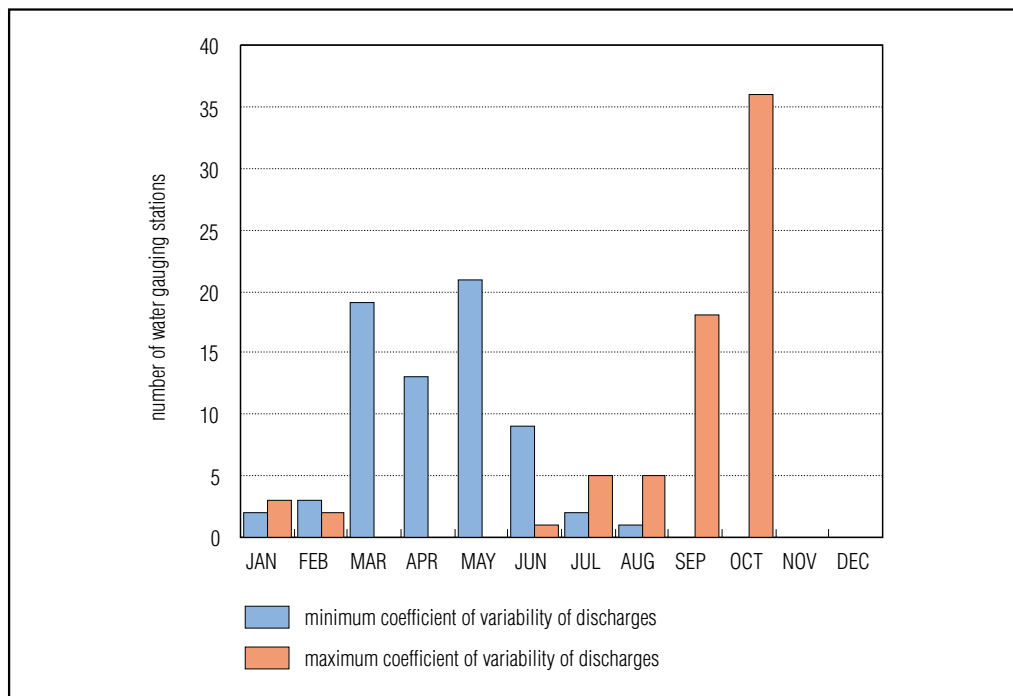


Figure 12: Distribution of minimum and maximum coefficients of variability of discharges at water gauging stations by month.
Slika 12: Razporeditev minimalnega in maksimalnega koeficienta spremenljivosti pretoka na vodomernih postajah po mesecih.

5. Conclusion

This paper presents the classification of discharge regimes in Slovenia on the basis of monthly discharge coefficients that we calculated from the average monthly discharges in the 1961–1990 period. We considered seventy water gauging stations and arranged them into groups on the basis of Manhattan distances and Ward's hierarchic method.

The result of the statistical classification is eight types of discharge regimes:

1. Mediterranean rain regime,
2. Dinaric rain-snow regime,
3. Dinaric-Alpine rain-snow regime,
4. Pannonian rain-snow regime,
5. Alpine rain-snow regime,
6. Alpine medium mountain snow-rain regime,
7. Alpine high mountain snow-rain regime and
8. Alpine snow regime.

Each discharge regime is presented with a short text and a characteristic graph. The territorial divisions are evident from the included map.

Because the comparison between the types of discharge regimes and the types of climate indicates an extremely high degree of correlation, we can characterize the discharge regimes as a direct reflection of climatic conditions. The influence of other factors (bedrock and soil, relief, vegetation, human activity) is insignificant compared with the influence of climate.

6. Bibliography

- Beckinsale, R. P., 1969: River regimes. *Water, earth and man* (ed. R. J. Chorley), str. 455–471. London and New York.
- Ferligoj, A., 1989: Razvrščanje v skupine. *Metodološki zvezki*, št. 4. Ljubljana.
- Gams, I., 1996: *Geografske značilnosti Slovenije*. Učbenik za srednje šole. Ljubljana.
- Hidrološki godišnjak 1961–1986. Beograd.
- Ilešič, S., 1948: Rečni režimi v Jugoslaviji. *Geografski vestnik* 19 (1947), str. 71–110. Ljubljana.
- Kolbezen, M., 1998: Rečni režimi. *Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije*, str. 26–29. Ljubljana.
- Ogrin, D., 1996: Podnebni tipi v Sloveniji. *Geografski vestnik* 68, str. 39–53. Ljubljana.
- Pardé, M., 1933: *Fleuves et rivieres*. Paris.
- Plut, D., 1987: Nekateri potezi odtočnih rečnih režimov v zgornjem Pokolpju. *Zbornik 12. kongresa geografa Jugoslavije*, str. 128–130. Novi Sad.
- Radinja, D., 1978: Rečni režimi v Zgornjem in Srednjem Posočju. *Zgornje Posočje*, zbornik 10. zborovanja slovenskih geografov, str. 101–125. Ljubljana.
- Radinja, D., 1979: Pomembna, a tudi sporna publikacija našega vodarstva. *Geografski vestnik* 51, str. 109–119. Ljubljana.
- Richards, K. S., 1995: Regime. *The encyclopedic dictionary of physical geography* (ed. A. Goudie), str. 421. Oxford.
- Rus Goljevšček, B., 1962: Vodni režim Krke. *Dolenjska zemlja in ljudje*, str. 111–115. Novo mesto.
- Shaw, E. M., 1996: *Hydrology in Practice*. London.
- Smolej, I., 1988: *Gozdna hidrologija*. Ljubljana.
- Srebrenović, D., 1986: *Primijenjena hidrologija*. Zagreb.
- Stele, A., 1987: Rečni režimi v Sloveniji (zemljevid). *Hidrometeorološki zavod SR Slovenije*, publikacija ob 40-letnici zavoda. Ljubljana.
- Zveza vodnih skupnosti Slovenije, 1978: *Vodnogospodarske osnove Slovenije*. Ljubljana.

7. Summary in Slovene – Povzetek

Pretočni režimi v Sloveniji

Mauro Hrvatin

1. Uvod

Izraz pretočni režim označuje povprečno vsakoletno kolebanje vodnega pretoka v izbranem vodomer- nem prerezu. Med dejavnike, ki oblikujejo pretočni režim, uvrščamo podnebje, relief, kamninsko pod- lago s prstjo, rastlinstvo in človeka. Pri nas je najpomembnejši dejavnik podnebje, saj so pretočni režimi v prvi vrsti odvisni od letne razporeditve padavin in temperatur ter od trajanja snežne odeje. Posebej ka- že izpostavi razporeditev temperatur, saj je od njih odvisen čas taljenja snežne odeje in intenzivnost izh- lapevanja v posameznem delu leta. Izredno pomembno je tudi trajanje snežne odeje. Pozimi so pretoki zaradi snežnega zadržka ali retinence manjši, ob spomladanskem kopnenju snega pa močno narastejo. V vegetacijski dobi je zlasti v gozdnatih pokrajinah potrebno upoštevati vpliv transpiracije. Smolej (1988) navaja podatek, da se letne izgube padavinske vode zaradi drevesne transpiracije gibljejo od 200 do 300 mm. Kot primer vpliva kamninske podlage lahko navedemo zadrževanje vode v kraških masivih z omejeno pre- točno zmogljivostjo ter v kotlinah, ki so zapolnjene z debelimi nanosi poroznih usedlin, v katerih se za- držujejo večje količine talne vode. V pretočne režime vse bolj posega tudi človek in sicer neposredno (npr. z gradnjo jezov) ali posredno (npr. s krčenjem gozda).

V tuji (Beckinsale 1969, Richards 1995, Shaw 1996) in domači geografski literaturi (Ilešič 1948, Zveza vod- nih skupnosti Slovenije 1978, Kolbezen 1998) se namesto izraza pretočni režim pogosteje uporabljata ter- mina rečni in vodni režim. Na slabost tovrstnega poimenovanja je opozoril Radinja (1979), ki meni, da z izrazom vodni režim ne razumemo le kolebanja vodnega pretoka, temveč tudi kolebanje drugih last- nosti vode: temperature, trdote, količine kisika, onesnaženosti, itd. Isti komentar lahko pripišemo tudi izrazu rečni režim. Res pa je, da je uporaba izraza rečni režim izredno razširjena. Pogojno se lahko stri- njamo z uporabo izraza rečni režim v ožjem smislu (kot sinonim za pretočni režim) in širšem smislu (kot sinonim za vse preostale režime, ki jih lahko ugotavljamo na določenem vodotoku).

Težave nastopajo tudi z drugim izrazom, ki se pogosto uporablja pri členitvah pretočnih režimov. Raz- merje med povprečnim mesečnim pretokom in povprečnim letnim pretokom je že Pardé (1933) ustre- zno poimenoval mesečni pretočni količnik (v originalu *coefficient mensuel de débit*). Kasneje se je za isto razmerje pojavila vrsta izrazov, ki so manj ustrezni (mesečni koeficient) ali celo povsem nepravilni (mo- dularni koeficient). Mesečni pretočni količniki so pri proučevanju pretočnih režimov izjemnega pomena, saj omogočajo medsebojno primerjavo rek ne glede na morebitne velike razlike v pretokih.

Intenziteto kolebanja povprečnih mesečnih pretokov med letom smo prikazali s koeficientom letne spre- menljivosti povprečnih mesečnih pretokov. Izračunamo ga iz razmerja med standardnim odklonom in aritmetično sredino povprečnih srednjih mesečnih pretokov ter ga izrazimo v odstotkih. Isti koeficient s kratico Cv^* in ustrezno enačbo navaja že Srebenović (1986), vendar zanj ne uporablja nikakršnega opi- snega imena. Omenja le podobnost oziroma sorodnost s koeficientom spremenljivosti. Slednji nam pove, koliko od leta do leta odstopajo srednji mesečni ali letni pretoki od večletnega povprečja. Nižja vrednost koeficienta spremenljivosti kaže na večjo zanesljivost mesečnega ali letnega povprečja.

2. Dosedanje raziskave

Prvo razvrstitev rečnih režimov na območju Slovenije je opravil Ilešič (1948). Razprava je sicer zastavljena širše in obravnava rečne režime tedanje Jugoslavije. Razvrstitev temelji na podatkih o povprečnih me-

sečnih vodostajih v šestnajstletnem obdobju med obema vojnama (1923–1938). Za primorski del Slovenije, ki je v tem obdobju spadal k Italiji, je avtor upošteval avstrijske meritve iz začetka stoletja (1898–1913). Ilesiču je kot izhodišče služila razvrstitev rečnih režimov francoskega hidrogeografa Pardéja (1933), ki je bila osnova tudi večjemu delu kasnejših členitev pri nas.

Po Ilesiču so v Sloveniji prisotni naslednji rečni režimi (v oklepajih so navedene reke, ki so za posamezen tip najbolj značilne):

1. omiljeni nivalni režim (Drava),
2. prehodni nivalni režim (Mura, zgornji tok Soče do Kobarida),
3. a. alpska varianta nivo-pluvialnega režima (zgornji tok Save in Savinje),
b. zmerne mediteranske varianta nivo-pluvialnega režima (Tržiška in Kamniška Bistrica),
4. a. prehodna srednjeevropska ali posavska varianta pluvio-nivalnega režima (Sotla),
b. zmerne mediteranske varianta pluvio-nivalnega režima (Ljubljaničica, Sora) in
c. mediteranska varianta pluvio-nivalnega režima (Idrija, Vipava).

V publikaciji, ki je izšla ob 40. obletnici delovanja Hidrometeorološkega zavoda Slovenije (1987), je Stelletova objavila zemljevid rečnih režimov Slovenije, na katerem je z diagrami predstavljenih 25 vodomer-
nih postaj na 20 rekah. Podrobnosti členitve niso znane, ker je zemljevid objavljen brez komentarja. Rečni režimi so združeni v osmih skupinah:

1. čisti nivalni režim (Drava),
2. prehodni nivalni režim (Mura),
3. prehodni nivalni režim z mediteranskim poudarkom (zgornji tok Soče, Sava Dolinka),
4. nivo-pluvialni režim (Kamniška Bistrica, Sava Bohinjka),
5. pluvio-nivalni režim z zmerno mediteranskim poudarkom (spodnji tok Save in Savinje),
6. kraško obarvan pluvio-nivalni režim z zmerno mediteranskim poudarkom (Kolpa, Krka),
7. pluvio-nivalni režim z zmerno kontinentalnim poudarkom (Ledava, Sotla),
8. pluvialni režim z mediteranskim poudarkom (Rižana).

V učbeniku za srednje šole je preprosto členitev rečnih režimov predstavil Gams (1996). Kot je razvidno iz poimenovanja posameznih skupin, je želel posebej izpostaviti veliko vlogo evapotranspiracije. Loči:

1. alpski evapotranspiracijsko-snežni režim,
2. celinski evapotranspiracijsko-dežni režim in
3. primorski evapotranspiracijsko-dežni režim.

Najnovejšo razvrstitev rečnih režimov so opravili na temelju podatkov o srednjih mesečnih pretokih v obdobju 1961–1990 na Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije. Računalniško členitev v skupine sta opravila Bat in Uhan, razvrstitev pa je predstavil Kolbezen (1998). Slovenske reke so glede na pretočni režim uvrstili v naslednje skupine:

1. snežni režim (Mura),
2. snežno-dežni režim (zgornji tok Save, Savinje in Soče)
3. dežno-snežni režim (Krka, spodnji tok Save in Savinje),
a. kontinentalna varianta dežno-snežnega režima (Mirna, Pesnica, Sotla),
b. mediteranska varianta dežno-snežnega režima (Idrija, Vipava) in
4. dežni režim (Pivka, Reka, Rižana).

Vzporedno z razpravami, ki obravnavajo rečne režime na ozemlju celotne Slovenije, so izšle tudi številne regionalne razprave, ki praviloma obsegajo posamezna porečja. Rus Goljevšček (1962) in Plut (1987) sta na primer v krajših prispevkih predstavila rečne režime v porečjih Krke in Kolpe, medtem ko je Radinja (1978) objavil obsežno razpravo o odtočnih režimih v Posočju.

3. Metodologija

Za členitev pretočnih režimov smo izbrali statistično razvrščanje v skupine na osnovi hierarhične metode. Ta je priljubljena predvsem iz dveh razlogov: od uporabnika ne zahteva, da vnaprej opredeli končno število skupin iskane razvrstitve, hkrati pa je rezultat postopnega združevanja možno zelo nazorno grafično predstaviti z drevesom združevanja (Ferligoj, 1989). Prednost statističnega razvrščanja pretočnih režimov je v enakovrednem upoštevanju podatkov za vseh 12 mesecev. Pri subjektivnem presojanju se namreč dogaja, da imajo večjo težo podatki o viških in nižkih, kar ni v skladu z definicijo pretočnega režima.

Statistično razvrščanje v skupine vključuje naslednje korake (Ferligoj, 1989):

1. izbira objektov,
2. določitev množice spremenljivk,
3. računanje podobnosti med objekti,
4. uporaba ustrezne metode razvrščanja v skupine,
5. ocena dobljene rešitve.

Izbira objektov je obsegala izbor ustreznih vodomernih postaj. V raziskavo smo vključili 70 vodomernih postaj, ki so postavljene na 57 slovenskih rekah. Poleg slovenskih je upoštevana še hrvaška vodomerna postaja Zamost na mejni reki Čabranci. Upoštewane so vse vodomerne postaje, ki imajo bolj ali manj sklenjene podatke o srednjih mesečnih pretokih v obdobju od 1961 do 1990. Niz je bistveno okrnjen le pri Dravi, za katero so bili na voljo le podatki za obdobje 1961–1976. Večino podatkov smo izpisali iz jugoslovanskih hidroloških letopisov (Hidrološki godišnjak 1961–1986). Manjkajoče podatke so nam prijazno posredovali na Sektorju za hidrologijo pri Hidrometeorološkem zavodu Republike Slovenije.

Množica spremenljivk je obsegala mesečne pretočne količnike. Te smo izračunali iz razmerja med povprečnimi mesečnimi pretoki in povprečnimi letnimi pretoki. Ker so bile vse upoštewane spremenljivke istovrstne, jih ni bilo potrebno standardizirati.

Podobnost med objekti smo računali na osnovi razdalje Manhattan, pri kateri se seštevajo absolutne razlike v vrednostih vseh spremenljivk. Razdalja Manhattan je sorodna pogosteje uporabljeni evklidski razdalji, pri kateri se razlike med spremenljivkami pred seštevanjem še kvadrirajo.

Pri razvrščanju v skupine smo poskusili z različnimi metodami (minimalna, maksimalna, povprečna, Wardova), najboljši rezultat pa smo dosegli ob uporabi Wardove metode. Na splošno velja Wardova metoda za zelo učinkovito, med slabostmi pa ji največkrat očitajo oblikovanje premajhnih skupin.

Potek postopnega združevanja objektov v skupine smo grafično ponazorili z drevesom združevanja ali dendrogramom. Višina točke, ki jo imenujemo nivo združevanja, je sorazmerna meri različnosti med skupinama (Ferligoj, 1989).

Dobljene rezultate smo preverili z razvrščanjem istih podatkov z nehierarhično k-means metodo. Nehierarhična k-means metoda se od hierarhičnih razlikuje po tem, da je potrebno vnaprej določiti število želenih skupin.

4. Rezultati

Na osnovi hierarhičnega razvrščanja v skupine po Wardovi metodi in ob upoštevanju razdalj Manhattan smo v Sloveniji ugotovili osem tipov pretočnih režimov. Poimenovali smo jih glede na pokrajinsko enoto, za katero so značilni ter glede na vodni vir, s katerim se reke napajajo. Pri tem smo se, kolikor se je le dalo, držali že ustaljenega izrazoslovja. Ker se v alpskem svetu pojavljata dve različici snežno-dežnega režima, smo v tem primeru izjemoma uporabili še poimenovanje po reliefnih enotah (sredogorje, visokogorje).

V Sloveniji ločimo naslednje pretočne režime:

1. sredozemski dežni,
2. dinarski dežno-snežni,
3. dinarsko-alpski dežno-snežni,
4. panonski dežno-snežni,
5. alpski dežno-snežni,
6. alpski sredogorski snežno-dežni,
7. alpski visokogorski snežno-dežni in
8. alpski snežni.

Že na osnovi poimenovanja je razvidno, da lahko nekatere tipe pretočnih režimov glede na vir napajanja rek medsebojno povežemo v širše skupine. Njihove temeljne značilnosti so sledeče:

1. dežni režim:
 - en višek in nižek (enostavni tip režima),
 - višek v pozni jeseni (november), količina vode nato bistveno ne upade do vključno aprila,
 - nižek poleti (julij, avgust),
 - snežni zadržek nepomemben;
2. dežno-snežni režim:
 - dva viška in nižka (mešani tip režima),
 - glavni višek v zgodnji pomladi (marec, april), sekundarni jeseni (november),
 - glavni nižek vedno poleti (avgust, september), sekundarni pozimi (januar februar); poletni nižek v vseh primerih izrazito prekaša zimskega,
 - snežni zadržek od enega do treh mesecev;
3. snežno-dežni režim:
 - dva viška in nižka (mešani tip režima),
 - glavni višek v pozni pomladi (april, maj), sekundarni jeseni (november),
 - glavni nižek praviloma pozimi (januar, februar), sekundarni poleti (avgust); v redkih primerih poletnega glavnega nižka se ta bistveno ne razlikuje sekundarnega zimskega nižka,
 - snežni zadržek od štirih do petih mesecev;
4. snežni režim:
 - en višek in nižek (enostavni tip režima),
 - višek ob prehodu pomladi v poletje (maj, junij),
 - nižek pozimi (januar, februar),
 - snežni zadržek pet ali več mesecev.

Tipi pretočnih režimov so v nadaljevanju predstavljeni s krajšim opisom ter z grafom značilne vodomerne postaje. Opisi posameznih tipov vključujejo seznam pripadajočih rek ter navedbo pokrajinske enote in podnebnege tipa, kjer se pojavljajo. Podnebni tipi so povzeti po Ogrinu (1996). Nato so naštetih viški in nižki s pripadajočimi mesečnimi pretočnimi količniki, ob koncu pa so podani še koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov.

Na grafih so s stolpci prikazane vrednosti povprečnih mesečnih pretokov za obdobje 1961–1990, daljice v stolpcih pa kažejo na razpon med povprečnim najmanjšim in največjim mesečnim pretokom v obravnavanem obdobju.

4.1. Sredozemski dežni režim

V skupino rek s sredozemskim dežnim režimom so se uvrstile Pivka, Reka in Rižana. Režim je značilen za južni sredozemski svet Slovenije, kjer zaradi bližine Jadranskega morja prevladuje submediteransko podnebje. Glavni pretočni višek nastopi novembra, ko se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,52 na Rižani do 1,64 na Reki. Količina vode se v naslednjih mesecih bistveno ne zmanjša, zato je drugotni višek komaj opazen. Nekoliko bolj izrazit je le pri Pivki in nastopi februarja. Najmanj vode je juli-

ja in avgusta, ko se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,21 na Pivki do 0,26 na Reki in Rižani. Nadpovprečna količina vode je običajno med oktobrom in aprilom, podpovprečna med majem in septembrom. Zaradi velikih razlik v pretokih med zimskim in poletnim delom leta so koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov pri tem režimu daleč največji in se gibljejo od 45 % na Rižani do 49 % na Pivki. Skupina rek s sredozemskim dežnim režimom spada med najmanjše in je hkrati najbolj homogena.

4.2. Dinarski dežno-snežni režim

V skupino rek z dinarskim dežno-snežnim režimom so se uvrstile Bača, Čabranka, Hubelj, Idrijca, Kolpa, Lahinja, Ljubljanka pri Vrhniki, Poljanska Sora, Selška Sora, Sora, Trebušica, Unica, Veliki Obrh in Vipava. Režim je značilen za zahodni in južni dinarski svet, kjer prevladuje zmernokontinentalno podnebje zahodne in južne Slovenije. Spomladanski in jesenski višek sta precej izenačena, zato imajo nekatere reke glavni višek aprila in drugotnega novembra, ostale pa ravno obratno. Ob glavnem pretočnem višku se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,36 na Poljanski Sori do 1,62 na Velikem Obrhu in Hublju, ob drugotnem višku pa od 1,33 na Poljanski Sori do 1,53 Kolpi pri Petrini. Najmanj vode je avgusta, ko se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,38 na Unici do 0,55 na Trebuščici. Ob januarskem ali februarjem drugotnem nižku so pretoki blizu povprečja, zato se mesečni pretočni količniki gibljejo od 0,90 na Poljanski Sori do 1,12 na Vipavi pri Mirnu. Nadpovprečna količina vode je običajno med oktobrom in decembrom ter marca in aprila, podpovprečna med junijem in septembrom. Januarja, februarja in maja se pretoki približajo letnemu povprečju. Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov se gibljejo od 25 % na Poljanski Sori do 40 % na Lahinji. V nasprotju s predhodno je skupina rek z dinarskim dežno-snežnim režimom največja in je hkrati najbolj heterogena.

4.3. Dinarsko-alpski dežno-snežni režim

V skupino rek z dinarsko-alpskim dežno-snežnim režimom so se uvrstile sodraška Bistrica, Bolska, Cerknica, Dravinja, Krka, Ljubija, Ljubljanka pri Ljubljani, Mirna, Prečna, Pšata, Radulja, Šujica, Temenica in Voglajna. Režim je značilen za stik dinarskega in alpskega sveta, kjer prevladuje zmernokontinentalno podnebje osrednje Slovenije. Glavni pretočni višek nastopi marca ali aprila, ko se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,22 na Temenici do 1,52 na sodraški Bistrici. Drugotni višek nastopi novembra ali decembra z mesečnimi pretočnimi količniki od 1,12 na sodraški Bistrici do 1,33 na Bolski. Najmanj vode je avgusta, ko se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,50 na sodraški Bistrici in Ljubiji do 0,71 na Dravinji. Ob drugotnem nižku januarja ali februarja je vode precej več in se močno približa letnemu povprečju. Mesečni pretočni količniki kolebajo od 0,88 na Krki pri Podbočju do 1,08 na Ljubljanki pri Ljubljani. Nadpovprečna količina vode je običajno med februarjem in aprilom ter novembra in decembra, podpovprečna med majem in oktobrom. Januarja se pretoki približajo letnemu povprečju. Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov se gibljejo od 16 % na Temenici do 30 % na sodraški Bistrici.

4.4. Panonski dežno-snežni režim

V skupino rek s panonskim dežno-snežnim režimom so se uvrstile Ledava, Pesnica, Sotla in Ščavnica. Režim je značilen za panonski svet, kjer prevladuje subpanonsko ali zmernokontinentalno podnebje vzhodne Slovenije. Glavni pretočni višek nastopi marca, ko se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,46 na Sotli do 1,73 na Ščavnici. Drugotni višek nastopi novembra z mesečnimi pretočnimi količniki od 1,21 na Ledavi do 1,29 na Pesnici in Sotli. Najmanj vode je avgusta in še pogosteje septembra, ko se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,51 na Sotli do 0,61 na Pesnici. Ob drugotnem nižku januarja je vode precej več in se tudi tu močno približa letnemu povprečju. Mesečni pretočni količniki kolebajo od 0,94 na Pesnici do 1,09 na Ščavnici. Nadpovprečna količina vode je običajno med februarjem in aprilom ter novembra in decembra, podpovprečna med majem in oktobrom. Januarja se pretoki približajo letnemu povprečju. Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov se gibljejo od 31 % na Sotli do 40 % na Ščavnici.

4.5. Alpski dežno-snežni režim

V skupino rek z alpskim dežno-snežnim režimom so se uvrstile Borovniščica, Dreta, Nevljica, Paka, Sava od Litije navzdol in Savinja pri Laškem. Režim je značilen za nižje predele alpskega sveta, kjer prevladuje zmernokontinentalno podnebje osrednje Slovenije. Glavni pretočni višek nastopi aprila, ko se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,24 na Nevljici do 1,49 na Dreti. Drugotni višek nastopi novembra z mesečnimi pretočnimi količniki od 1,23 na Paki do 1,31 na Borovniščici. Najmanj vode je avgusta, ko se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,64 na Borovniščici in Savi pri Litiji in Čatežu do 0,72 na Paki. Ob drugotnem nižku januarja ali februarja mesečni pretočni količniki kolebajo od 0,81 na Dreti do 0,94 na Nevljici. Nadpovprečna količina vode je običajno med marcem in junijem ter novembra in decembra, podpovprečna med julijem in septembrom. Oktobra se pretoki približajo letnemu povprečju. Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov so pri tej skupini najmanjši in se gibljejo od 17 % na Nevljici do 23 % na Dreti.

4.6. Alpski sredogorski snežno-dežni režim

V skupino rek z alpskim snežno-dežnim režimom so se uvrstile Jezernica, Kokra, Lipnica, Meža, Sava pri Šentjakobu, Savinja pri Nazarjah, Soča pri Solkanu, Tržiška Bistrica in Učja. Režim je značilen za sredogorski alpski svet, kjer prevladuje podnebje nižjega gorskega sveta Slovenije. Glavni pretočni višek nastopi aprila ali izjemoma maja, ko se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,27 na Tržiški Bistrici do 1,81 na Lipnici. Drugotni višek nastopi novembra z mesečnimi pretočnimi količniki od 1,06 na Jezernici do 1,47 na Učji. Zimski in poletni nižek sta izenačena. Januarja in februarja se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,66 na Meži in Kokri do 0,75 na Savi pri Šentjakobu. Ob avgustovskem nižku kolebajo mesečni pretočni količniki od 0,61 na Soči pri Solkanu do 0,90 na Tržiški Bistrici. Nadpovprečna količina vode je običajno med aprilom in junijem ter novembra, podpovprečna med julijem in septembrom ter od decembra do marca. Oktobra se pretoki približajo letnemu povprečju. Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov se gibljejo od 18 % na Tržiški Bistrici do 36 % na Lipnici.

4.7. Alpski visokogorski snežno-dežni režim

V skupino rek z alpskim visokogorskim snežno-dežnim režimom so se uvrstile Kamniška Bistrica, Koritnica, Mostnica, Radovna, Sava pri Radovljici, Sava Bohinjka, Sava Dolinka, Savinja pri Solčavi, Soča do Kobarida in Tolminka. Režim je značilen za visokogorski alpski svet, kjer prevladuje podnebje višjega gorskega sveta Slovenije. Glavni pretočni višek nastopi maja ali celo junija, ko se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,45 na Kamniški Bistrici in Savi Dolinki do 1,94 na Soči pri Kršovcu. Drugotni višek nastopi novembra z mesečnimi pretočnimi količniki med 1,13 na Savi Dolinki in 1,38 na Mostnici. Najmanj vode je januarja in še pogosteje februarja, ko se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,42 na Soči pri Kršovcu do 0,69 na Kamniški Bistrici. Ob drugotnem nižku avgusta mesečni pretočni količniki kolebajo od 0,70 na Savi Bohinjki do 0,97 na Savi Dolinki. Nadpovprečna količina vode je običajno med aprilom in junijem ter oktobra in novembra, podpovprečna avgusta ter od decembra do marca. Julija in septembra se pretoki večine rek približajo letnemu povprečju. Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov se gibljejo od 27 % na Kamniški Bistrici do 48 % na Soči pri Kršovcu.

4.8. Alpski snežni režim

V skupino rek z alpskim snežnim režimom so se uvrstile muška Bistrica, Drava in Mura. Režim je značilen za reke, ki v Slovenijo prestopijo iz sosednje Avstrije. Povirja imajo v visokogorskem alpskem svetu, kjer prevladuje gorsko podnebje. Edini pretočni višek nastopi maja ali junija, ko se vrednosti mesečnih pretočnih količnikov gibljejo od 1,33 na muški Bistrici do 1,61 na Dravi. Najmanj vode je januarja in februarja, ko se mesečni pretočni količniki spustijo na vrednosti od 0,53 na Dravi do 0,70 na Muri. Nadpovprečna količina vode je običajno med aprilom in avgustom, podpovprečna med oktobrom in

marcem. Septembra se pretoki približajo letnemu povprečju. Koeficienti letne spremenljivosti povprečnih mesečnih pretokov se gibljejo od 22 % na muški Bistrici do 35 % na Dravi.

Preverjanje rezultatov z nehierarhično k-means metodo je pokazalo zadovoljivo podobnost. Edina pomembnejša razlika je bila v tem, da je ob nehierarhičnem razvrščanju na osem skupin k-means metoda razčlenila na dve skupini reke dinarskega dežno-snežnega režima (ta skupina je po Wardovi metodi najbolj heterogena), medtem ko so ostale reke panonskega dežno-snežnega in dinarsko-alpskega dežno-snežnega režima še združene. Ti dve skupini sta se ločili, v kolikor smo opravili nehierarhično členitev na devet skupin.

Pri obdelavi podatkov smo izračunali tudi mesečne in celoletne koeficiente spremenljivosti pretokov. Bolj kot njihove vrednosti se nam zdi zanimiva razporeditev postaj glede na mesec z največjim in najmanjšim koeficientom spremenljivosti. Razporeditev je namreč pri večini vodomernih postaj zelo podobna, ne glede na tip pretočnega režima, podnebja ali česa drugega. Najmanjši koeficienti spremenljivosti so značilni za spomladanske mesece, medtem ko se največji pojavljajo septembra in oktobra. Edina razlika je opazna pri najmanjših vrednostih koeficientov: na rekah s poudarjeno dežno komponento (dežni in dežno-snežni režim) so značilni za zgodnjo pomlad (marec, april), na rekah s poudarjeno snežno komponento (snežno-dežni in snežni režim) pa za pozno pomlad (maj).

5. Sklep

V prispevku je predstavljena členitev pretočnih režimov v Sloveniji. Opravili smo jo na temelju mesečnih pretočnih količnikov, ki smo jih izračunali iz povprečnih mesečnih pretokov v obdobju 1961–1990. Upoštevali smo 70 vodomernih postaj in jih razvrstili v skupine na osnovi razdalj Manhattan in Wardove hierarhične metode.

Rezultat statističnega razvrščanja v skupine je osem tipov pretočnih režimov:

1. sredozemski dežni,
2. dinarski dežno-snežni,
3. dinarsko-alpski dežno-snežni,
4. panonski dežno-snežni,
5. alpski dežno-snežni,
6. alpski sredogorski snežno-dežni,
7. alpski visokogorski snežno-dežni in
8. alpski snežni.

Posamezen pretočni režim je predstavljen s krajšim besedilom in značilnim grafom. Ozemeljska razporeditev je razvidna s priloženega zemljevida.

Ker kaže primerjava med tipi pretočnih režimov in tipi podnebja izredno visoko stopnjo povezanosti, lahko pretočne režime označimo kot neposreden odraz podnebnih razmer. Vpliv ostalih dejavnikov (kamninska sestava s prstjo, relief, rastlinstvo, človek) je v primerjavi s podnebjem neprimerno manjši.