

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Podiplomski program Gradbeništvo  
Hidrotehnična smer

Kandidat:  
**Luka Štravs**

# **Razvoj modelov napovedi nizkih pretokov na vtokih v hidroelektrarne na reki Savi**

**Magistrska naloga št. 213**

**Mentor:**  
prof. dr. Mitja Brilly

**Somentor:**  
doc. dr. Mojca Šraj

Ljubljana, 29. 6. 2009



Kandidat :

**LUKA ŠTRAVS**

**Razvoj modelov napovedi nizkih pretokov na vtokih v  
hidroelektrarne na reki Savi**

Magistrsko delo štev.: 213

**Development of the low flow forecasting models for the Sava  
River hydro-power plants**

Master of Science Thesis No.: 213

**Mentor:**  
prof. dr. Mitja Brilly

**Predsednik komisije :**  
prof. dr. Matjaž Četina

**Somentorica:**  
doc. dr. Mojca Šraj

**Član:**  
prof. dr. Boris Kompare

Ljubljana, 29. junij 2009

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani LUKA ŠTRAVS izjavljam, da sem avtor magistrske naloge z naslovom:  
»RAZVOJ MODELOV NAPOVEDI NIZKIH PRETOKOV NA VTOKIH V  
HIDROELEKTRARNE NA REKI SAVI«.

Brez pisnega dovoljenja avtorja je reproduciranje, distribuiranje, predelava ali druga uporaba tega avtorskega dela ali njegovih delov v kakršnemkoli obsegu ali postopku, vključno s fotokopiranjem, tiskanjem ali shranitvijo v elektronski obliki, po veljavnem Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah, prepovedano.

Ne glede na zgoraj zapisano pa dovolim uporabo magistrskega dela samo in izključno za potrebe elektronske separatoteke FGG.

Ljubljana, 10.06.2009

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 519.61/.64:556.167:627.8.034(282.243.743)(043.3)

**Avtor:** Luka Štravs

**Mentor:** prof. dr. Mitja Brilly

**Naslov:** Razvoj modelov napovedi nizkih pretokov na vtokih v hidroelektrarne na reki Savi

**Obseg in oprema:** 126 str., 21 pregl., 41 sl., 1 en.

**Ključne besede:** hidrološko modeliranje, napovedovanje nizkih pretokov, strojno učenje, M5

### **Izvleček**

V magistrski nalogi sem na podlagi uporabe hidrološkega znanja o dinamiki pretočnih količin v sušnih oziroma recesijskih obdobjih in uporabe metode strojnega učenja M5 razvil metodologijo razvoja enostavnih modelov napovedi nizkih pretokov. Metoda je bila implementirana in verificirana na podlagi uporabe podatkov vodomernih postaj na pritokih reke Save. Na podlagi tako razvitih modelov napovedi nizkih pretokov na pritokih reke Save sem razvil modele napovedi vtokov v akumulacije posameznih slovenskih hidroelektrarn na reki Savi v času hidroloških suš ter jih verificiral. Razviti so bili modeli napovedi nizkih pretokov za 7 dni vnaprej za večino slovenskih pritokov reke Save in na podlagi teh modelov so bili razviti tudi modeli 7-dnevnih napovedi nizkih pretokov na vtokih v akumulacije hidroelektrarn na reki Savi, katerih napako ocenjujem na približno 7-10%.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 519.61/.64:556.167:627.8.034(282.243.743)(043.3)

**Author:** Luka Štravs

**Supervisor:** prof. dr. Mitja Brilly

**Title:** Development of the low flow forecasting models for the Sava River hydro-power plants

**Notes:** 126 p., 21 tab., 41 fig., 1 eq.

**Key words:** hydrological modelling, low flow forecasting, machine learning, M5 method.

### **Abstract**

Today, low flow forecasting is usually performed as an integrated part of calibrated rainfall–runoff models. In my work I developed a new methodology to develop empirical low flow forecasting models based on the conceptual knowledge of linear reservoir recession functions and the usage of the M5 machine learning method for the generation of regression and model trees. Low flow forecasting models for most of the Sava River's Slovenian tributaries were developed by using M5 machine learning method and integrated into the models for forecasting 7-day ahead daily flows at the hydropower plants located on the Sava River. Low flow forecasting models for hydropower stations produce a mean relative absolute error in the range of up to 7-10% when issuing 7-day ahead low flow forecasts.

## Kazalo vsebine

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
1.1	NAPOVEDOVANJE PRETOKOV S HIDROLOŠKIMI MODELI.....	1
1.2	PODATKOVNO-ORIENTIRANE METODE V HIDROLOGIJI .....	3
1.3	RAZVOJ IN PREGLED UPORABE METODE STROJNEGA UČENJA M5 V HIDROLOGIJI.....	6
<b>2</b>	<b>OPIS POREČJA SAVE</b> .....	<b>10</b>
2.1	GEOGRAFSKE ZNAČILNOSTI.....	10
2.2	HIDROLOŠKE ZNAČILNOSTI.....	11
2.2.1	<i>Pretočne karakteristike vodomernih postaj na reki Savi</i> .....	11
2.2.2	<i>Pretočne karakteristike vodomernih postaj na glavnih slovenskih pritokih reke Save</i> .....	12
2.2.3	<i>Nizko-pretočne karakteristike vodomernih postaj na glavnih slovenskih pritokih reke Save</i> .....	13
2.2.3.1	Sava Dolinka – VP Jesenice .....	13
2.2.3.2	Radovna – VP Podhom.....	13
2.2.3.3	Sava Bohinjka – VP Bodešče .....	14
2.2.3.4	Tržiška Bistrica – VP Preska .....	14
2.2.3.5	Kokra – VP Kranj.....	14
2.2.3.6	Sora – VP Medvode.....	14
2.2.3.7	Kamniška Bistrica – vodomerna postaja Vir .....	14
2.2.3.8	Ljubljana – VP Moste.....	15
2.2.3.9	Savinja – VP Veliko Širje.....	15
2.2.3.10	Krka – VP Podbočje .....	15
2.2.4	<i>Razdelitev reke Save</i> .....	15
2.2.4.1	Sava na odseku od izvira (Sava Dolinka) do HE Moste .....	16
2.2.4.2	Sava na odseku od HE Moste do HE Mavčiče in HE Medvode .....	16
2.2.4.3	Sava na odseku od HE Mavčiče in HE Medvode do HE Vrhovo .....	17
2.3	PADAVINE.....	18
2.4	HIDROELEKTRARNE NA REKI SAVI.....	18
2.4.1	<i>Obstoječe HE na reki Savi (Savske elektrarne, 2008)</i> .....	19
2.4.1.1	HE Moste.....	19
2.4.1.2	HE Mavčiče.....	19
2.4.1.3	HE Medvode.....	20
2.4.1.4	HE Vrhovo .....	20
2.4.1.5	HE Boštanj .....	21
2.4.2	<i>Načrtovane hidroelektrarne na reki Savi</i> .....	21
<b>3</b>	<b>METODE</b> .....	<b>22</b>
3.1	PODATKI.....	22
3.2	KLASIČEN PRISTOP K RAZVOJU MODELA NAPOVEDI S KONSTANTNO VREDNOSTJO RECESIJSKEGA KOEFICIENTA K.....	22
3.3	METODA STROJNEGA UČENJA M5 ZA RAZVOJ REGRESIJSKIH DREVES.....	24
3.4	APLIKACIJA METODE STROJNEGA UČENJA M5 ZA RAZVOJ MODELA NAPOVEDI S SPREMENLJIVO VREDNOSTJO RECESIJSKEGA KOEFICIENTA K.....	24
3.5	RAZVOJ MODELOV NAPOVEDI NA VTOKU V HIDROELEKTRARNE.....	27
3.5.1	<i>Faza 1 – razvoj modelov brez uporabe podatkov o dnevni vtokih v akumulacije posameznih hidroelektrarn</i> .....	28
3.5.2	<i>Faza 2 – razvoj modelov brez uporabe podatkov o dnevni vtokih v akumulacije posameznih hidroelektrarn</i> .....	28
<b>4</b>	<b>REZULTATI</b> .....	<b>29</b>
4.1	MODELI NAPOVEDI NA POSAMEZNIH VODOMERNIH POSTAJAH .....	29
4.1.1	<i>Modeli napovedi s konstantno vrednostjo recesijskega koeficienta k</i> .....	29
4.1.1.1	Sava Dolinka – VP Jesenice .....	30
4.1.1.2	Radovna – VP Podhom.....	31
4.1.1.3	Sava Bohinjka – VP Bodešče .....	31

4.1.1.4	Tržiška Bistrica – VP Preska .....	32
4.1.1.5	Sora – VP Medvode .....	33
4.1.1.6	Ljubljana – VP Moste .....	33
4.1.1.7	Sava – VP Hrastnik .....	34
4.1.1.8	Savinja – VP Veliko Širje .....	35
4.1.1.9	Krka – VP Podbočje .....	35
4.1.2	<i>Modeli napovedi s spremenljivo vrednostjo recesijskega koeficienta k</i> .....	36
4.1.2.1	Sava Dolinka – VP Jesenice .....	36
4.1.2.2	Radovna – VP Podhom .....	37
4.1.2.3	Sava Bohinjka – VP Bodešče .....	38
4.1.2.4	Tržiška Bistrica – VP Preska .....	38
4.1.2.5	Sora – VP Medvode .....	39
4.1.2.6	Ljubljana – VP Moste .....	39
4.1.2.7	Sava – VP Hrastnik .....	40
4.1.2.8	Savinja – VP Veliko Širje .....	41
4.1.2.9	Krka – VP Podbočje .....	41
4.1.3	<i>Analiza obnašanja modelov</i> .....	42
4.1.3.1	Sava Dolinka – VP Jesenice .....	44
4.1.3.2	Radovna – VP Podhom .....	45
4.1.3.3	Sava Bohinjka – VP Bodešče .....	46
4.1.3.4	Tržiška Bistrica – VP Preska .....	47
4.1.3.5	Sora – VP Medvode .....	48
4.1.3.6	Ljubljana – VP Moste .....	49
4.1.3.7	Sava – VP Hrastnik .....	50
4.1.3.8	Savinja – VP Veliko Širje .....	51
4.1.3.9	Krka – VP Podbočje .....	52
4.2	<b>MODELI NAPOVEDI NA VTOKIH V POSAMEZNE HIDROELEKTRARNE</b> .....	53
4.2.1	<i>Faza 1</i> .....	53
4.2.1.1	Sava – HE Moste .....	53
4.2.1.2	Sava – HE Mavčiče in HE Medvode .....	53
4.2.1.3	Sava – HE Vrhovo .....	56
4.2.2	<i>Faza 2</i> .....	56
4.2.2.1	Sava – HE Moste .....	56
4.2.2.2	Sava – HE Mavčiče in HE Medvode .....	56
4.2.2.3	Sava – HE Vrhovo .....	57
4.2.3	<i>Analiza obnašanja modelov napovedi vtoka v akumulacijo posameznih hidroelektrarn</i> .....	58
4.2.3.1	Sava – HE Moste .....	58
4.2.3.2	Sava – HE Mavčiče in HE Medvode .....	59
4.2.3.3	Sava – HE Vrhovo .....	61
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČKI</b> .....	<b>63</b>
	<b>VIRI IN LITERATURA</b> .....	<b>64</b>
	<b>PRILOGA A – HIDROLOŠKE STATISTIKE ZA VODOMERNE POSTAJE NA REKI SAVI IN NJENIH GLAVNIH SLOVENSКИH PRITOKIH</b> .....	<b>68</b>
	SAVA DOLINKA – VODOMERNA POSTAJA JESENICE .....	69
	RADOVNA – VODOMERNA POSTAJA PODHOM .....	72
	SAVA BOHINJKA – VODOMERNA POSTAJA BODEŠČE .....	75
	TRŽIŠKA BISTRICA – VODOMERNA POSTAJA PRESKA .....	78
	KOKRA – VODOMERNA POSTAJA KRANJ .....	81
	SORA – VODOMERNA POSTAJA MEDVODE .....	84
	SAVA – VODOMERNA POSTAJA MEDNO .....	87
	KAMNIŠKA BISTRICA – VODOMERNA POSTAJA VIR .....	90
	LJUBLJANA – VODOMERNA POSTAJA MOSTE .....	93
	SAVA – VODOMERNA POSTAJA HRASTNIK .....	96
	SAVINJA – VODOMERNA POSTAJA VELIKO ŠIRJE .....	99
	KRKA – VODOMERNA POSTAJA PODBOČJE .....	102

SAVA – VODOMERNA POSTAJA JESENICE NA DOLENJSKEM.....	105
<b>PRILOGA B – REZULTATI MODELIRANJA ZA HIDROELEKTRARNE .....</b>	<b>108</b>
PRIMERJAVA REZULTATOV ZA HE MOSTE.....	108
PRIMERJAVA REZULTATOV ZA HE MAVČIČE.....	108
PRIMERJAVA REZULTATOV ZA HE VRHOVO .....	109
<b>SLOVENSKI POVZETEK .....</b>	<b>111</b>
<b>ANGLEŠKI POVZETEK (SUMMARY) .....</b>	<b>113</b>



## Kazalo slik

Slika 1.	Primer razvite nevronske mreže.....	3
Slika 2.	Primer razvitega modela odstotnega deleža prestreženih padavin na porečju Dragonje v obliki klasifikacijskega drevesa z metodo strojnega učenja J4.8 (Štravs et al., 2006).....	4
Slika 3.	Prikaz porečja reke Save na karti Slovenije.....	10
Slika 4.	Porečja najpomembnejših pritokov reke Save v Sloveniji (Sava Dolinka, Radovna, Sava Bohinjka, Tržiška Bistrica, Kokra, Sora, Kamniška Bistrica, Ljubljana, Savinja in Krka).....	10
Slika 5.	Lokacije v analizo vključenih vodomernih postaj na Savi.....	11
Slika 6.	Lokacije vodomernih postaj na glavnih pritokih reke Save.....	12
Slika 7.	Povprečna letna količina padavin [mm] v Sloveniji za obdobje 1971-2000 (ARSO, 2008).....	18
Slika 8.	HE Moste - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).....	19
Slika 9.	HE Mavčiče - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).....	19
Slika 10.	HE Medvode - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).....	20
Slika 11.	HE Vrhovo - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).....	20
Slika 12.	HE Boštanj - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).....	21
Slika 13.	Določitev konstantne vrednosti koeficienta k na podlagi določitve glavne recesijske krivulje – vodomerna postaja Podhom na Radovni.....	23
Slika 14.	Določitev konstantne vrednosti koeficienta k na podlagi določitve glavne recesijske krivulje – vodomerna postaja Bodešče na Savi Bohinjki.....	23
Slika 15.	Zbiranje atributov ( $Q_t$ in $dQ$ ) in razredov (koeficient k) posameznih primerov iz podatkov o srednjih dnevniških pretokih na Radovni.....	25
Slika 16.	Zbiranje atributov ( $Q_t$ in $dQ$ ) in razredov (koeficient k) posameznih primerov iz podatkov o srednjih dnevniških pretokih na Radovni.....	26
Slika 17.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Jesenice na Savi Dolinki.....	31
Slika 18.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Podhom na Radovni.....	31
Slika 19.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Bodešče na Savi Bohinjki.....	32
Slika 20.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Preska na Tržiški Bistrici.....	32
Slika 21.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Medvode na Sori.....	33
Slika 22.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Moste na Ljubljani.....	34
Slika 23.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Hrastnik na Savi.....	34
Slika 24.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Veliko Širje na Savinji.....	35
Slika 25.	Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Podbočje na Krki.....	36
Slika 26.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Jesenice na Savi Dolinki.....	44
Slika 27.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Podhom na Radovni.....	45
Slika 28.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Bodešče na Savi Bohinjki.....	46
Slika 29.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Preska na Tržiški Bistrici.....	47
Slika 30.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Medvode na Sori.....	48
Slika 31.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Moste na Ljubljani.....	49
Slika 32.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Hrastnik na Savi.....	50

Slika 33.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Veliko Širje na Savinji. ....	51
Slika 34.	Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Podbočje na Krki. ....	52
Slika 35.	Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki, Savi Bohinjki in Tržiški Bistrici v primerjavi s sušnim srednjim dnevnim pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode. ....	54
Slika 36.	Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki in Savi Bohinjki v primerjavi s sušnim srednjim dnevnim pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode. ....	54
Slika 37.	Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki in Tržiški Bistrici v primerjavi s sušnim srednjim dnevnim pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode. ....	55
Slika 38.	Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki v primerjavi s sušnim srednjim dnevnim pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode. ....	55
Slika 39.	Primerjava obnašanja modelov napovedi za HE Moste – obdobje november 2005. ....	59
Slika 40.	Primerjava obnašanja modelov napovedi za HE Mavcice – obdobje maj 2005. ....	61
Slika 41.	Primerjava obnašanja modelov napovedi za HE Vrhovo – obdobje november 2005. ....	62

## Figures

Figure 1.	A neural network example. ....	3
Figure 2.	An example of the generated classification tree of the precipitation interception percentage for the Dragonja River basin (Stravs et al., 2006). ....	4
Figure 3.	Location of the Sava River basin on the map of Slovenia. ....	10
Figure 4.	Location of the Sava Dolinka, Radovna, Sava Bohinjka, Trziska Bistrica, Kokra, Sora, Kamniska Bistrica, Ljubljana, Savinja and Krka river basins on the map of Slovenia. ....	10
Figure 5.	Location of the gauging stations at the Sava River tributaries' river basin's outlets. ....	11
Figure 6.	Location of the Sava River tributaries' gauging stations. ....	12
Figure 7.	Average precipitation amount for the 1971-2000 period. (ARSO, 2008). ....	18
Figure 8.	The Moste Hydropower station. ....	19
Figure 9.	The Mavcice Hydropower station. ....	19
Figure 10.	The Medvode Hydropower station. ....	20
Figure 11.	The Vrhovo Hydropower station. ....	20
Figure 12.	The Bostanj Hydropower station. ....	21
Figure 13.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Radovna River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	23
Figure 14.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava Bohinjka River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	23
Figure 15.	Collection of instances with attributes $Q_t$ and $dQ$ , and class $k$ from the Radovna River data. ....	25
Figure 16.	Collection of instances with attributes $Q_t$ and $dQ$ , and class $k$ from the Radovna River data. ....	26
Figure 17.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava Dolinka River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	31
Figure 18.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Radovna River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	31
Figure 19.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava Bohinjka River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	32
Figure 20.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Trziska Bistrica River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	33
Figure 21.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sora River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	33
Figure 22.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Ljubljana River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	34
Figure 23.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	35
Figure 24.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Savinja River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	35
Figure 25.	Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Krka River—a master recession curve and its recession coefficient $k$ . ....	36
Figure 26.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sava Dolinka River. ....	44
Figure 27.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Radovna River. ....	45
Figure 28.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sava Bohinjka River. ....	46
Figure 29.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Trziska Bistrica River. ....	47
Figure 30.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sora River. ....	48
Figure 31.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Ljubljana River. ....	49
Figure 32.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sava River. ....	50
Figure 33.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Savinja River. ....	51

Figure 34.	Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Krka River. ....	52
Figure 35.	Empirical analysis of the Sava Dolinka, Sava Bohinjka and Trziska Bistrica versus HPP Mavcice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts.....	54
Figure 36.	Empirical analysis of the Sava Dolinka and Sava Bohinjka versus HPP Mavcice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts.....	54
Figure 37.	Empirical analysis of the Sava Dolinka and Trziska Bistrica versus HPP Mavcice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts.....	55
Figure 38.	Empirical analysis of the Sava Dolinka versus HPP Mavcice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts. ....	55
Figure 39.	Comparison of the low flow forecasting models' modelling results for the HPP Moste.....	59
Figure 40.	Comparison of the low flow forecasting models' modelling results for the HPP Mavcice. ....	61
Figure 41.	Comparison of the low flow forecasting models' modelling results for the HPP Vrhovo.....	62

## Kazalo preglednic

Preglednica 1.	Karakteristike vodomernih postaj na reki Savi.....	11
Preglednica 2.	Karakteristike vodomernih postaj na glavnih pritokih reke Save v Sloveniji. ....	13
Preglednica 3.	Prispevne površine vodomernih postaj in posameznih naravnih pritokov Save na odseku od izvira do HE Moste. ....	16
Preglednica 4.	Prispevne površine vodomernih postaj in posameznih naravnih pritokov Save na odseku od HE Moste do HE Mavčiče in HE Medvode. ....	16
Preglednica 5.	Prispevne površine vodomernih postaj in posameznih naravnih pritokov Save na odseku od HE Mavčiče in HE Medvode do HE Vrhovo. ....	17
Preglednica 6.	Prikaz posameznih zbranih trojic (primerov) $Q_b$ , $dQ$ in $k$ , na podlagi katerih metoda M5 sama zgradi regresijsko drevo spremenljivega recesijskega koeficienta $k$ . ....	26
Preglednica 7.	Kratek opis in oznake razvitih modelov napovedi za posamezne hidroelektrarne. ....	27
Preglednica 8.	Prikaz rezultatov avtomatskega prekrivanja recesijskih delov hidrogramov pritokov reke Save in vrednosti konstantnega recesijskega koeficienta $k$ . ....	29
Preglednica 9.	Primerjava rezultatov M5 pristopa z variabilnim recesijskim koeficientom in klasičnega pristopa s konstantnim recesijskim koeficientom. ....	43
Preglednica 10.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Jesenice. ....	44
Preglednica 11.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Podhom. ....	45
Preglednica 12.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Bodešče. ....	46
Preglednica 13.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Preska. ....	47
Preglednica 14.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Medvode. ....	48
Preglednica 15.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Moste. ....	49
Preglednica 16.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Hrastnik. ....	50
Preglednica 17.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Veliko Širje. ....	51
Preglednica 18.	Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Podbočje. ....	52
Preglednica 19.	Primerjava natančnosti modelov napovedi nizkih pretokov na vtoku v HE Moste. ....	58
Preglednica 20.	Primerjava natančnosti modelov napovedi nizkih pretokov na vtoku v HE Mavčiče. ....	60
Preglednica 21.	Primerjava natančnosti modelov napovedi nizkih pretokov na vtoku v HE Vrhovo. ....	61

## Tables

Table 1.	The Sava River gauging stations characteristics .....	11
Table 2.	Hydrological characteristics of the the Sava River tributaries' gauging stations.....	13
Table 3.	Drainage areas of the gauging stations and river basins of the Sava River tributaries on the reach from its spring to the Moste Hydropower station. ....	16
Table 4.	Drainage areas of the gauging stations and river basins of the Sava River tributaries on the reach from the Moste Hydropower station to the Mavcice and Medvode Hydropower stations. ....	16
Table 5.	Drainage areas of the gauging stations and river basins of the Sava River tributaries on the reach from the Mavcice and Medvode Hydropower stations to the Vrhovo Hydropower station. ....	17
Table 6.	Some of the instances; columns $Q_t$ and $dQ$ were attributes (input variables) and $k$ was a class or the modelled variable. The M5 machine learning method generates the regression tree from these instances. .	26
Table 7.	Types of generated low flow forecasting models. ....	27
Table 8.	The number of instances that were included in the development of the model of the variable recession coefficient $k$ from equation (1) and single-valued master recession curve coefficients for the Sava River tributaries. ....	29
Table 9.	Comparison of the performance statistics for both type of low flow forecasting models. ....	43
Table 10.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sava Dolinka River. ....	44
Table 11.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Radovna River. ....	45
Table 12.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sava Bohinjka River. ....	46
Table 13.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Trziska Bistrica River. ....	47
Table 14.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sora River. ....	48
Table 15.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Ljubljana River. ....	49
Table 16.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sava River. ....	50
Table 17.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Savinja River. ....	51
Table 18.	Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Krka River. ....	52
Table 19.	Performance statistics of the low flow forecasting models for the HPP Moste. ....	58
Table 20.	Performance statistics of the low flow forecasting models for the HPP Mavcice.....	60
Table 21.	Performance statistics of the low flow forecasting models for the HPP Vrhovo. ....	61

## 1 UVOD

Določanje nizkih pretokov in raziskovanje sušnih pretokov je zelo pomembno za različne dejavnosti v okviru vodarstva. Suša s pomanjkanjem vode je namreč eden izmed največjih izzivov za upravljanje z vodami zaradi pomanjkanja vira, na katerega so vezani in od njega odvisni življenje in mnoge gospodarske dejavnosti. Varnost uporabnikov vode je tesno povezana z razpoložljivimi vodnimi viri, ki jih v času suš praviloma primanjkuje. Opreделитеv količine razpoložljivih virov vode v sušnih obdobjih je osnovno izhodišče za načrtovanje in izkoriščanje vodnih virov.

Zato je razumevanje procesov izcejanja iz zalog podzemnih rezervoarjev in raznih drugih območij, kjer se voda hrani oziroma zadržuje, zelo pomembno v procesu ocene vodne bilance posameznega porečja ali celo širših območij.

Osnovni vir vode na zemeljskem površju so padavine, ko pa le-teh ni oziroma ko nastopi sušno obdobje brez izdatnega napajanja podzemnih in drugih rezervoarjev, pa se v porečju shranjena voda v vodotoke večinoma izceja oziroma črpa iz podzemnih zalog in z iztiskanjem iz zemljine.

Pomanjkanje vode ter črpanje zalog vode iz porečja se grafično na hidrogramu, ki predstavlja diagram časovnega spreminjanja pretoka v posameznem vodomernem profilu (Brilly in Šraj, 2005), pozna kot upadajoč del le-tega, katerega imenujemo tudi recesijski del hidrograma. Na podlagi analize recesijskih delov hidrograma lahko sklepamo na razne karakteristike vodonosnikov, iz katerih se črpajo zaloge vode v času hidrološke suše.

V magistrski nalogi sem na podlagi uporabe hidrološkega znanja o dinamiki pretočnih količin v sušnih oziroma recesijskih obdobjih in uporabe metode strojnega učenja M5 razvil metodologijo razvoja enostavnih modelov napovedi nizkih pretokov. Metoda je bila implementirana in verificirana na podlagi podatkov vodomernih postaj na pritokih reke Save. Na podlagi tako razvitih modelov napovedi nizkih pretokov na pritokih reke Save sem razvil modele napovedi vtokov v akumulacije posameznih slovenskih hidroelektrarn na reki Savi v času hidroloških suš ter jih verificiral.

### 1.1 Napovedovanje pretokov s hidrološkimi modeli

Analiza hidroloških podatkov in hidrološko modeliranje sta dva izmed pristopov, ki sta med bolj pomembnimi na področju hidrologije nasploh, saj na podlagi izvedbe le-teh lahko generiramo sintetične hidrološke sete, ugotavljamo trende in premike v trendih znotraj hidroloških baz, zapolnjujemo oziroma nadomeščamo neobstoječe sete podatkov, lahko pa tudi umetno podaljšujemo sete podatkov (Maidment, 1993), simuliramo neznane oziroma nepredstavljive hidrološke procese in napovedujemo hidrološke pojave. Predvsem napovedovanje pretokov je ponavadi rezultat hidrološkega modeliranja, ki se največkrat rabi tudi v praksi in ne služi le razvoju bazične hidrologije.

Za napovedovanje pretokov se uporabljajo različni tipi modelov. Najbolj poznani in uporabljeni so ti. konceptualni modeli, katerih osnova je v teoretičnih in empiričnih enačbah posameznih hidroloških (pod)procesov. Uporaba takih modelov zahteva veliko podrobnih

podatkov o porečju (geografija in topografija porečja, podatki o samem vodotoku, podrobni podatki o dejanski rabi zemljišč v porečju, geoloških karakteristikah, itd.), ki ga želimo modelirati, kar lahko predstavlja veliko oviro v razvoju modela. Z razvojem informacijskih znanosti ter predvsem daljinskega zaznavanja in GIS tehnologij pa se stanje na tem področju tudi izboljšuje; podatki so bolj kvalitetni, preverjeni in podrobni. Glede na različno stopnjo vključevanja geografskih, topografskih, padavinskih in ostalih prostorsko pogojenih podatkov v proces modeliranja ločimo tri vrste konceptualnih modelov:

- polno distribuirane modele,
- delno distribuirane in
- povprečene oziroma ti. lumped modele.

Za začetek oziroma izvor distribuiranega modeliranja v hidrologiji se štejejo ideje, ki sta jih prva zapisala Freeze in Harlan (1969). Za polno distribuirane hidrološke modele je značilno, da je je celotno modelirano porečje razdeljeno v izbrano število prostorskih celic, ki delujejo kot svoji sistemi in se povezujejo s sosednjimi celicami. Bolj kot je gosta mreža, bolj naj bi bil model podoben realnem stanju v porečju, a to pomeni tudi večjo zahtevnost z vidika podatkov (Beven, 1985; Beven in Binley, 1992). Za povprečene modele pa ni značilna delitev porečja v prostorske celice, temveč gre za povprečenja na bazi celotnih podporečij modeliranega porečja.

Po drugi strani pa predvsem iz aplikativne hidrologije poznamo tudi enostavne empirične enačbe, ki npr. povezujejo podatek o površini porečja in podatek o pretočni karakteristiki vodomerne postaje na iztoku iz istega porečja. Le-te se velikokrat uporabljajo v dejanskih hidroloških aplikacijah, saj niso podatkovno zahtevne in predstavljajo hitro metodo za oceno posameznih hidroloških spremenljivk na terenu. Odličen primer takih preprostih empiričnih enačb je pripravil, zbral in uredil Brus (1981).

V zadnjih desetletjih pa so se v hidrologiji pojavili tudi ti. hidrološki modeli, ki enostavno povezujejo vhodne in (željene) izhodne hidrološke spremenljivke, sama struktura modela pa ni pomembna ter je povsem netransparentna in težko opisljiva oziroma razumljiva – gre za ti. modele črne skrinjice (angl. black-box models). Glavna značilnost modelov črne skrinjice, ki lahko odlično napoveduje določeno hidrološko spremenljivko, je netransparentnost in nerazumljivost strukture modela, saj tudi njena matematična osnova ni vezana na aktualna hidrološka dognanja o procesih v porečjih.

Raziskovanje v okviru hidrologije je že dolga leta usmerjeno v raziskave odnosa med padavinami in odtokom v obliki konceptualnih (HEC, 1990) in stohastičnih modelov. Le-ti namreč omogočajo vpogled v strukturo modeliranega sistema; v primeru konceptualnih modelov v hidrologiji to konkretno pomeni vpogled v dogajanje oziroma procese v porečju, kar pa seveda pomeni tudi možnost nadaljnjega spoznavanja celotnega dogajanja v posameznih porečjih. To seveda predstavlja tudi izhodišče za nadaljnji razvoj hidrologije kot vede. Po drugi strani pa kalibracija konceptualnih modelov zahteva ogromno vloženega dela, znanja in podatkov, ki jih je potrebno zbrati tako z eksperimentalnim delom kot tudi terenskim delom.

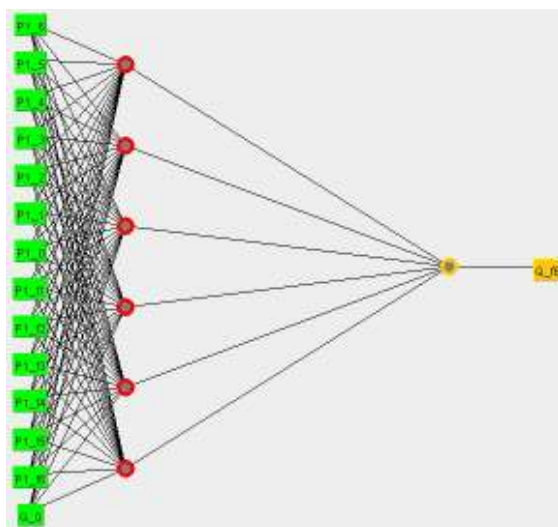
Zato so v hidrologiji in vodarstvu nasploh v zadnjih nekaj desetletjih postale priljubljene tudi razne podatkovno-orientirane metode (angl. data-driven methods) iz naslova umetne



inteligence (angl. artificial intelligence) kot so nevronske mreže, metode strojnega učenja, mehka logika (Stuber in Gemmar, 1997), genetski algoritmi in podobne.

## 1.2 Podatkovno-orientirane metode v hidrologiji

Uporaba podatkovno-orientiranih metod v hidrološkem modeliranju omogoča avtomatsko učenje iz podatkov (Kompore, 1995), precej hitrejšo kalibracijo modelov, manj potrebnega konceptualnega znanja in tudi manj podatkov o raznih parametrih posameznih procesov v porečjih. Osnovni principi delovanja ter pregled vseh metod strojnega učenja so podani v Kompore (1995), Kubat et al. (1997) in Mitchell (1997).

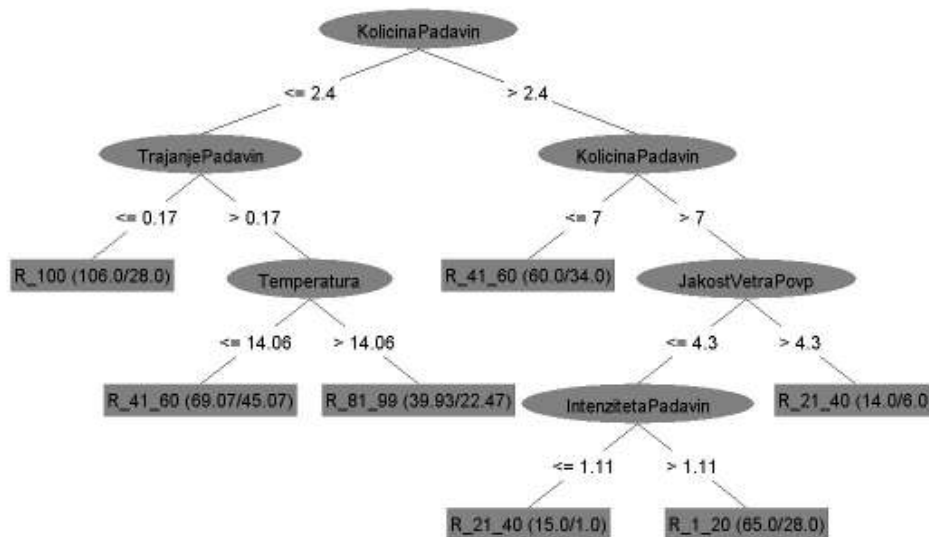


Slika 1. Primer razvite nevronske mreže.  
Figure 1. A neural network example.

Najbolj popularne, poznane in uporabljane izmed vseh podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji so nevronske mreže (Slika 1). Osnovne principe delovanja nevronskih mrež sta že v letu 1943 zasnovala McCulloch in Pitts (1943) z modelom umetnega nevrona. Razvoj nevronskih mrež je zaradi pomanjkanja prikazov primerov možnosti uporabe oziroma uporabnosti do nekako sredine 80ih let stagniral. Šele z deli Hopfielda (1982) in Rumelharta s sodelavci (Rumelhart et al., 1986) ter razvojem informatike se je začel ponovni in bolj intenziven razvoj nevronskih mrež.

Nevronske mreže so se v hidrologiji začele uporabljati zelo počasi in previdno; prve primere uporabe zasledimo v 90ih (na primer Hsu et al., 1995; Smith in Eli, 1995; Minns in Hall, 1996; Shamseldin, 1997; Dawson in Wilby, 1998). Modeli hidroloških procesov oziroma nevronske mreže, ki ne podajajo dodatnega znanja o strukturi samega sistema oziroma v primeru hidrologije o hidroloških procesih v povodju, se v hidrologiji kot vedi, ki v večji meri sloni na empiriki, prav zaradi tega niso uveljavili tako hitro kot na drugih področjih (fizika, biomedicina, robotika, ekonomija, akustika, itd.). Šele prikazi primerov uporabe nevronskih mrež so do neke mere prepričali in celo Ameriško združenje gradbenih inženirjev (ASCE) je ustanovilo delovno skupino za uporabo nevronskih mrež v hidrologiji (Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology).

V zadnjih 15 letih smo bili priča uporabi nevronske mreže na zelo različnih področjih znotraj hidrologije oziroma področjih vezanih na hidrologijo (ASCE, 2000a, 2000b) ali vodarstvo. Nevronske mreže so bile uporabljene pri napovedovanju pretokov (Abrahart in See, 2000.; Cameron et al., 2002.; Chang et al., 2002; Dawson in Wilby, 2001; Govindaraju in Ruo, 2000; Maier in Dandy, 2000), modeliranju tokov podzemnih voda, napovedovanju padavin, raznih primerih v povezavi s kvaliteto vode, itd. Nevronske mreže so postale priljubljene, ker za izdelavo raznih modelov (nevronske mreže) v večini primerov ni bilo potrebno poznati vsakega hidrološkega procesa do zadnje podrobnosti. Potrebno je bilo poznati le nekaj osnovnih principov modeliranega hidrološkega procesa, kar je omogočilo izbiro vplivnih vhodnih podatkov, ter izhodnega podatka ali več podatkov iz modela. Ostalo delo pri razvoju dela je bilo (pol)avtomatsko učenje nevronske mreže, pri katerem je modelar sodeloval v precej manjši meri kot pri klasičnem konceptualnem pristopu k hidrološkemu modeliranju. Nepoznavanje posameznih zapletenih, nelinearnih hidroloških procesov torej kar naenkrat ni več predstavljalo tako visoke ovire v procesu modeliranja.



Slika 2. Primer razvitega modela odstotnega deleža prestreženih padavin na porečju Dragonje v obliki klasifikacijskega drevesa z metodo strojnega učenja J4.8 (Štravs et al., 2006).

Figure 2. An example of the generated classification tree of the precipitation interception percentage for the Dragonja River basin (Stravs et al., 2006).

Navkljub novim in novim dognanjem na področju uporabe nevronske mreže v znanosti, pa še danes ni rešen problem transparentnosti 'naučenega' modela. Kopica nevronov, številke in funkcije ne predstavljajo celote, ki bi modelarja oziroma uporabnika naučila kaj novega o modeliranem procesu. Nevronske mreže so predstavljale in predstavljajo zelo uporabne modele napovedi ali njihove dopolnitve, niso pa podajale oziroma odkrivale skoraj nikakršnega novega znanja na področju bazične hidrologije, torej o samih procesih, ki se dogajajo v porečjih. Razvoj hidrologije kot vede o hidrološkem ciklu oziroma kroženju vode zaradi dekadne nevronske mreže (1990-ta leta) ni sledil razvoju le-teh; razvilo se je namreč ogromno uporabnih modelov napovedi raznih spremenljivk v okviru hidrologije, a so

posamezni modeli limitirani na uporabo samo v posameznem porečju in večinoma niso oziroma so težje prenosljivi med porečji.

Vse to je v določeni meri pripeljalo do razvoja metod, ki pa so omogočale vpogled (do določene mere) v strukturo modeliranega sistema in so na ta način podajale neko transparentno informacijo o dogajanju v samem porečju, če govorimo o aplikacijah teh metod v hidrologiji. Ene izmed takih metod so tudi metode strojnega učenja, ki samo iz podatkov generirajo modele v obliki odločitvenih dreves (angl. decision trees); le-te delimo v klasifikacijska drevesa z nominalnimi vrednostmi razreda (Slika 2), regresijska drevesa s konstantnimi numeričnimi vrednostmi in modelna drevesa z linearnimi kombinacijami oziroma funkcijami uporabljenih atributov, kot rezultirajočimi modeli, ki se uporabijo v zaključni fazi aplikacije modela.

Še zmeraj pa je med hidrologi precej skepticizma glede uporabe podatkovno orientiranih metod (See et al., 2007). Glavni očitke je še zmeraj ta, da aplikacija metod strojnega učenja predstavlja le neko matematično vajo, celoten proces modela pa je premalo vezan na fizikalne principe in matematično utemeljevanje. See et al. (2007) nadalje navajajo, da je sicer res, da osnovni namen uporabe podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji ni bil razvijati oziroma nadgraditi znanje o osnovnih principih hidrologije, temveč prikazati uporabnost novih računalniško-informacijskih metod tudi na tem področju. Solomatine in Ostfeld (2008) pa med ostalim ugotavljata, da je uporabnost podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji že bila dokazana in preverjena, nadaljnje delo pa bi moralo biti usmerjeno predvsem v smeri razvoja metod z vidika lažjega razumevanja in lažje uporabljivosti končnih rezultatov aplikacije teh metod v hidrologiji. V sam proces modeliranja pa je potrebno vključiti še več konceptualnega hidrološkega znanja.

Cherkassky et al. (2007) prav tako ugotavljajo, da je glavni problem glede sprejemanja oziroma enakovrednega vključevanja metod strojnega učenja in ostalih podatkovno-orientiranih metod v hidrologiji še zmeraj predvsem ta, da iz strukture rezultirajočega modela ni mogoče dovolj hitro oziroma sploh ni mogoče sklepati na nove ugotovitve vezane na hidrologijo.

Prav tako si s podatkovno-orientiranimi metodami ne moremo pomagati pri izdelavi hidroloških modelov v porečjih brez kontinuiranih meritev raznih spremenljivk v dovolj dolgem obdobju, ki omogočajo učenje oziroma gradnjo modelov, medtem ko kalibrirani konceptualni modeli s spremenjenimi parametri modela le predstavljajo nek uporaben približek. Modeli, zgrajeni s podatkovno-orientiranimi metodami, nam prav tako ne ponujajo odgovora v primeru spremembe raznih lastnosti porečja (npr. opuščanje kmetijske dejavnosti – sprememba rabe zemljišč); modeli lahko postanejo povsem neuporabni. Modeli torej ne dopuščajo enostavne spremembe pomembnih parametrov in torej ne simulacij dogodkov, pri katerih se bistveno spremenijo parametri (ne pa spremenljivke oziroma vhodni in izhodni podatki) modela. V takih primerih nam znanje o modeliranih hidroloških procesih, ki je implementirano v konceptualnih hidroloških modelih, pride zelo prav.

Med podatkovno-orientirane metode sodi tudi metoda strojnega učenja M5 (Quinlan, 1992, Wang in Witten, 1997) za razvoj regresijskih in modelnih dreves, ki sem jo tudi sam uporabil v magistrskem delu.

### 1.3 Razvoj in pregled uporabe metode strojnega učenja M5 v hidrologiji

Kompare et al. (1997) so verjetno prvi, ki so uporabili M5 modelna drevesa za napovedovanje pretoka in so M5 modele napovedi pretokov testirali na izmerjenih podatkih in ugotovili izjemno ujemanje (koeficient korelacije  $R^2 = 0.99$  na testnem setu) med izračunanimi ter merjenimi vrednosti visokih vod na reki Rott na Bavarskem v Nemčiji. Ob tem je potrebno omeniti, da avtorji niso ločevali med naraščajočim in upadajočim delom hidrografov, temveč so napovedovali pretok tako na naraščajočem kot upadajočem delu hidrografa z istim modelom, kar v bistvu zabriše problem napovedovanja naraščajočega dela in doseženega vrha poplavnega vala, kar so kasneje ugotavljali Stravs et al. (2004). Le-ti namreč navajajo, da je večja napaka na naraščajočem delu in manjša na upadajočem delu, problem pa je pogosto tudi v časovni napovedi vrha poplavnega vala.

Štravs et al. (2003) so tudi s pomočjo metode M5 za razvoj modelnih in regresijskih dreves določili čas potovanja poplavnih in obratovalnih valov po naravni strugi Save med vodomernima postajama Medno in Hrastnik ter določili razliko v hitrosti med propagacijo obratovalnih valov pri naraščanju in propagacijo obratovalnih valov pri upadanju pretoka. Zaradi obratovanja hidroelektrarn Mavčiče in Medvode se lahko namreč na celotnem odseku reke Save med vodomernima postajama Medno in Hrastnik (na razdalji 66.5 km) poleg propagacije poplavnih valov v naravni strugi opazuje tudi propagacija obratovalnih valov. Iz rezultatov meritev, ki so bile izvedene z moderno vodomerno opremo na obravnavanem odseku, so avtorji izbrali 7 večjih zabeleženih poplavnih valov, ki so se dogodili v obdobju meritev. Na vsakem posameznem poplavnem valu so ločeno določili posamezne obratovalne valove na naraščajočem in padajočem delu poplavnega vala ter z metodo križne korelacije časovnih vrst zabeleženih pretokov in s pomočjo metode strojnega učenja M5 na obeh postajah določili čas potovanja obratovalnih in poplavnih valov. Primerjava med časom propagacije obratovalnih valov pri naraščanju in padanju pretoka na poplavnem valu je pokazala, da so razlike v času propagacije pri pretoku nižjem od cca 200-230 m<sup>3</sup>/s na VP Hrastnik zanemarljivo majhne, pri višjih vrednosti pretoka pa jih je vsekakor potrebno upoštevati; večje povprečne hitrosti propagacije obratovalnih valov v naravni strugi Save med vodomernima postajama Medno in Hrastnik pa nastopijo na padajočem delu poplavnega vala.

Štravs et al. (2004) so v raziskavi preverili uporabnost metode strojnega učenja M5 (modelnih dreves) v hidrološkem modeliranju kratkoročnih napovedi pretokov visokih voda na vodomerni postaji Veliko Širje na Savinji. Na razpolago so bili podatki o urnih vrednostih pretoka na vodomerni postaji Veliko Širje na reki Savinji in urne vsote padlih padavin s padavinskih postaj Kamniška Bistrica, Solčava, Slovenske Konjice, Celje in Lisca. Za kalibracijo modelov napovedi, ki so jih zgradili s pomočjo metode strojnega učenja M5, so uporabili podatke iz let 1998 in 1999, za verifikacijo pa podatke za leto 2000 in leto 2002. Z metodo strojnega učenja M5 so zgradili več modelov napovedi oziroma izračuna visokih voda, ki se med seboj razlikujejo glede na število ur (1, 3, 6 in 9) za katero vnaprej napovedujejo pretok, ter jih primerjali med seboj in z merjenimi vrednostmi. Ob tem so ugotovili, da uporaba metod umetne inteligence (v njihovem primeru so predstavili uporabnost metode strojnega učenja M5) omogoča izdelavo uporabnih empiričnih modelov. Njena prednost je predvsem hiter postopek kalibracije modela, saj algoritem posameznih metod strojnega učenja sam izbere najboljši model, uporabnik oziroma modelar pa predvsem

odloča kako kompleksen model želi imeti kot rezultat modeliranja. Sama struktura modelov napovedi nam lahko poda tudi dragocene informacije, kateri so tisti vhodni podatki (npr. katere padavinske postaje), ki pomembno vplivajo na dogajanje v vodotoku in nam npr. pri izbiri reprezentativnih postaj, ki jih kasneje vključimo v konceptualni hidrološki model, lahko zelo skrajšajo in olajšajo delo. Morebitni zelo slabi rezultati modelov napovedi nas lahko tudi opozorijo na premalo gosto mrežo padavinskih postaj na posameznem modeliranem porečju. Primerjava povprečne relativne napake modela in koeficienta korelacije je pokazala izredno kvalitetno obnašanje modela napovedi za 1 uro vnaprej, zadovoljive rezultate za model napovedi za 3 ure vnaprej, točnost modelov napovedi za 6 in 9 ur vnaprej pa je že precej slabša. Iz primerjave simuliranih in dejanskih hidrogramov je bilo tudi razvidno, da se največja odstopanja pojavijo na naraščajočem delu hidrogramov poplavnih valov, zelo hitro pa narašča tudi napaka pri napovedi vrednosti konice poplavnega vala. Na upadajočem delu hidrograma je bil v nekaj primerih izrazito viden tudi primer lažnega alarma (angl. false alarm) pri napovedi modela za 9 ur vnaprej, ki je v primeru operativnega napovedovanja visokih voda še posebej nezaželjena oblika slabosti modela napovedi.

Primerjavo aplikacije metode M5 za razvoj modelnih dreves in metode za razvoj nevronske mreže sta Solomatine in Dulal (2003) izvedla na porečju italijanske reke Sieve. Pri tem sta uporabila samo tri-mesečno serijo urnih vrednosti podatkov o padavinah, evapotranspiraciji in pretokih na iztoku iz porečja, ob tem pa je potrebno poudariti, da so bili uporabljeni urni podatki za obdobje od decembra 1959 do februarja 1960. Cilj raziskave je bil razviti modele napovedi vrednosti pretoka za 1, 3 in 6 ur vnaprej z obema metodama in primerjati rezultate. Iz rezultatov primerjave sta ugotovila, da tako nevronske mreže kot modelna drevesa generirajo odlične modele napovedi za 1 uro vnaprej, sprejemljive modele napovedi za 3 ure vnaprej in samo pogojno sprejemljive modele za napoved 6 ur vnaprej. Prav tako sta na svojem primeru ugotovila, da je točnost obeh modelov podobna pri napovedi za 1 uro vnaprej, medtem ko se je razvita nevronska mreža pri napovedih za več ur vnaprej izkazala za bolj točno. Kot v večini raziskav, v katerih so se avtorji ukvarjali s primerjavo nevronske mreže in modelnih dreves, pa sta tudi ugotovila, da je rezultirajoče modelno drevo razumljivo in do določene mere podaja strukturo sistema, medtem ko o čem podobnem pri nevronske mreži ne moremo govoriti. Informacije o strukturi modeliranega sistema so po besedah obeh avtorjev skrite v utežeh in vstopnih pragovih nevronske mreže, kar pa za končnega uporabnika ali raziskovalca z vidika iskanja novega hidrološkega znanja ni najbolj uporabno.

Solomatine in Xue (2004) sta na primeru razvoja in verifikacije modela napovedi visokih voda primerjala modele napovedi v obliki modelnih dreves in modele napovedi v obliki nevronske mreže. Modele sta razvila in preizkusila na dnevnikih podatkih zgornjega dela reke Huai na Kitajskem. Ob tem sta ugotovila, da metode strojnega učenja predstavljajo uporabno orodje za napovedovanje pretokov tudi v precej kompleksnih porečjih. Prednost M5 modelnih dreves pred nevronske mreže je predvsem v njihovi razumljivosti in boljši predstavnosti za uporabnike ter upravljalce porečij. Hidrolog pridobi tudi uporabne informacije o povezanosti med posameznimi spremenljivkami, ki predstavljajo oziroma opisujejo procese v porečju. Metoda M5 omogoča hitro in enostavno generiranje večjega števila modelov glede na zahtevano robustnost in točnost modela. Po izkušnjah obeh avtorjev je tudi kalibracija (učenje) M5 modelnih dreves precej krajša (hitrejša) kot kalibracija nevronske mreže. Predlagala sta tudi, da bi šel nadaljnji razvoj na tem področju v smer ti. hibridnih modelov, ki predstavljajo kombinacijo uporabe večih različnih tipov modelov; v njunem primeru sta

uporabila kombinacijo M5 modelnih dreves in nevronske mreže ter tako prišla še do boljše točnosti modelov napovedi.

Solomatine in Siek (2004) sta z vidika fleksibilnosti in optimizacije nadgradila metodo strojnega učenja M5 in razvila dva nova algoritma; M5flex in M5opt. Novost M5flex v primerjavi z M5 je predvsem ta, da omogoča vključevanje teoretičnega hidrološkega znanja na način, da uporabniku omogoči določitev pomembnih atributov in njihovih mejnih vrednosti, po katerih se potem razvito odločitveno drevo naprej deli oziroma cepi v veje. Metoda M5opt pa je predvsem optimizirana in izboljšana M5 metoda, ki pa zahteva več računskega časa. Za primerjavo točnosti modelov, razvitih na podlagi uporabe posameznih metod (nevronska mreža, klasični M5, M5flex in M5opt), sta avtorja uporabila 6 hidroloških setov podatkov in še 5 dodatnih, ki pa niso vezani na hidrologijo. Generalno gledano se je v primerjalnih testih najbolje obnesel M5flex, za njim M5opt, potem pa še M5 in nazadnje še model nevronske mreže.

Bhattacharya in Solomatine (2005) sta prikazala možnost uporabe nevronske mreže in M5 modelnih dreves na primeru razvoja pretočne krivulje, torej odnosa med vodostajem in pretokom v posameznem pretočnem profilu vodotoka. Uporabo obeh metod sta utemljevala z zadostnim številom hidrometričnih meritev oziroma podatkov o odnosu med vodostajem in pretokom ter na koncu ugotovila, da uporaba tako nevronske mreže kot tudi modelnih dreves prinaša precejšnjo izboljšavo na področju razvoja pretočnih krivulj.

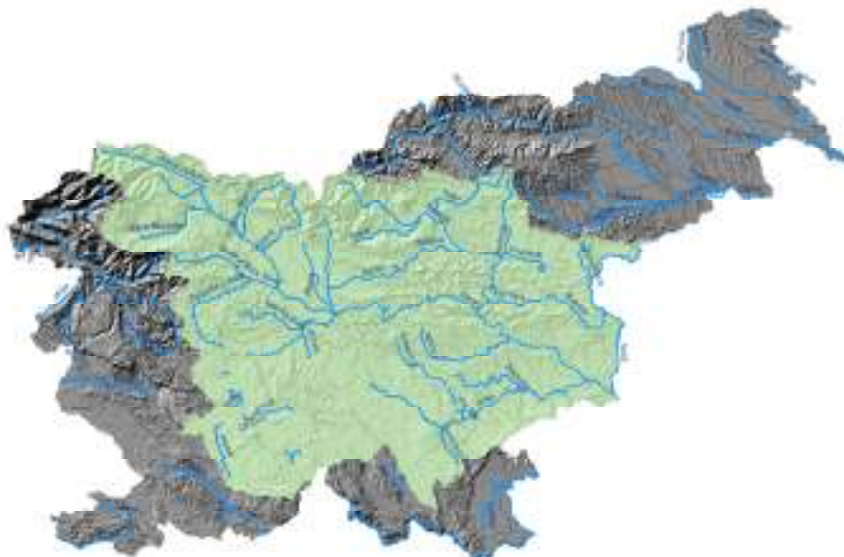
Štravs et al. (2007) so v okviru raziskave deleža prestreženih padavin na eksperimentalnem porečju reke Dragonje na podlagi izvedenih meritev in analize rezultatov le-teh z metodami strojnega učenja ugotovljali značilnosti vpliva zaraščanja opuščenih kmetijskih površin na vodno bilanco porečja Dragonje. Klasifikacijska in regresijska drevesa, ki so jih iz rezultatov meritev zgenerirali s pomočjo metod strojnega učenja J4.8 in M5, transparentno kažejo stopnje vplivov in interakcij posameznih faktorjev, ki pomembno vplivajo na delež prestreženih padavin na gozdnih območjih. Če se rezultate z obeh raziskovalnih ploskev ekstrapolira na celotno porečje Dragonje, se lahko ugotovi, da je vpliv spremenjene dejanske rabe zemljišč v zadnjih desetletjih na vodno bilanco znotraj porečja precej visok in nikakor zanemarljiv. Gozdovi na novo zaraščanih površinah namreč prestrežejo skoraj vso vodo padavinskih dogodkov z manj kot 2.5 mm padavin, kar pomeni da v takih primerih ne pride do površinskega in podpovršinskega odtoka v Dragonjo ali napajanja zalog podzemne vode v porečju. Za dogodke z več kot 2.5 mm padavin pa generirani modeli kažejo, da novi gozd prestreže od 42.8 % padle vode pri dogodkih s količino padavin od 2.5 do 7.5 mm in 23.2 % padle vode pri dogodkih s količino padavin večjo od 7.5 mm, ko pa imata na vrednost deleža prestreženih padavin močan vpliv tudi povprečna hitrost vetra in intenziteta padavin. Avtorji so ugotovili, da metode strojnega učenja za generiranje modelov v obliki odločitvenih dreves predstavljajo zelo uporaben in obetajoč pripomoček pri iskanju novih znanj v podatkovnih bazah.

Rusjan in Mikoš (2008) sta uporabila metodo strojnega učenja M5, da sta analizirala vlogo hidroloških in sezonskih pogojev, ki pomembno vplivajo na izpiranje nitratov med različnimi hidrološkimi dogodki v pretežno gozdnatem porečju Padeža, pritoka reke Reke. Med ostalim sta ugotovila, da regresijska in modelna drevesa predstavljajo močno in uporabno orodje za

analizo eksperimentalnih podatkov z namenom iskanja novega in nadgradnje znanja, zapisanega v eksperimentalnih podatkih.

## 2 OPIS POREČJA SAVE

### 2.1 Geografske značilnosti



*Slika 3. Prikaz porečja reke Save na karti Slovenije.*  
*Figure 3. Location of the Sava River basin on the map of Slovenia.*



*Slika 4. Porečja najpomembnejših pritokov reke Save v Sloveniji (Sava Dolinka, Radovna, Sava Bohinjka, Tržiška Bistrica, Kokra, Sora, Kamniška Bistrica, Ljubljana, Savinja in Krka)*  
*Figure 4. Location of the Sava Dolinka, Radovna, Sava Bohinjka, Trziska Bistrica, Kokra, Sora, Kamniska Bistrica, Ljubljana, Savinja and Krka river basins on the map of Slovenia.*

Reka Sava je največja in najbolj pomembna reka v Sloveniji; njeno porečje v Sloveniji (Slika 3) meri 11 761 km<sup>2</sup>, kar predstavlja več kot 50% ozemlja Slovenije. Dolžina reke Save v Sloveniji je 220.7 km. Sava po izstopu iz Slovenije nadaljuje svojo pot skozi Hrvaško, Bosno



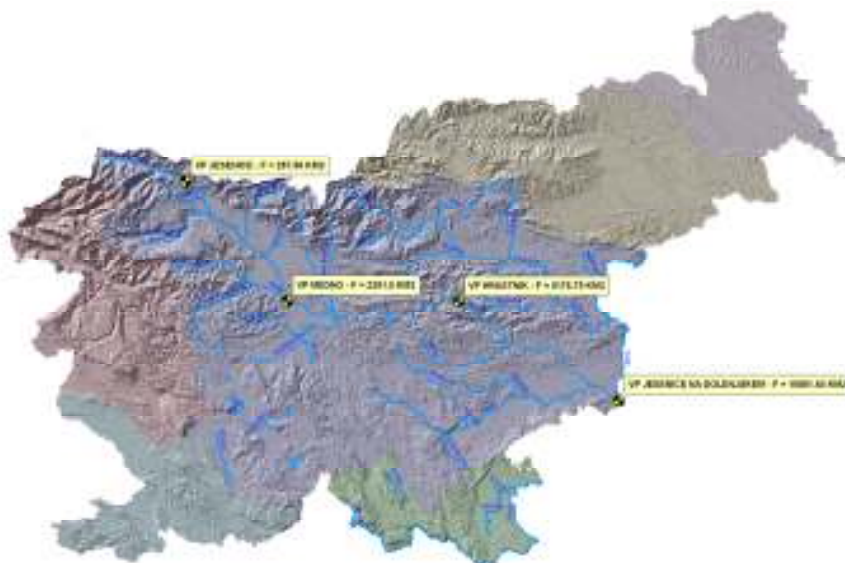
in Hercegovino ter se nazadnje v bližini Beograda v Srbiji izliva v Donavo. V celoti v dolžino meri 945 km, celotno porečje Save na območju vseh zgoraj naštetih držav pa meri približno 96400 km<sup>2</sup>, kar predstavlja približno 15% porečja Donave.

Glavni pritoki reke Save na območju Slovenije so Sava Dolinka, Radovna, Sava Bohinjka, Tržiška Bistrica, Kokra, Sora, Kamniška Bistrica, Ljublanica, Savinja in Krka (Slika 4). V porečje slovenske Save lahko pogojno štejemo tudi porečje Kolpe, ki pa se v Savo izliva na Hrvaškem.

Severni in zahodni gorati predeli porečja Save dosega tudi nad 2500 m nadmorske višine, konfiguracija terena pa je proti vzhodu in jugu porečja Save precej nižja in bolj položna oziroma ravninska.

## 2.2 Hidrološke značilnosti

### 2.2.1 Pretočne karakteristike vodomernih postaj na reki Savi



Slika 5. Lokacije v analizo vključenih vodomernih postaj na Savi.

Figure 5. Location of the gauging stations at the Sava River tributaries' river basin's outlets.

Na sami reki Savi so za mojo analizo relevantne vodomerne postaje v Jesenicah, Mednem, Hrastniku in Jesenice na Dolenjskem (Slika 5). Podatki o velikosti vodozbirnih območij oziroma hidrometričnih zaledij posameznih postaj in hidroloških statistikah so zbrani v Preglednici 1.

Preglednica 1. Karakteristike vodomernih postaj na reki Savi.

Table 1. The Sava River gauging stations characteristics.

Reka	Vodomerna postaja	Prispevna površina (km <sup>2</sup> )	Obdobje analiziranih podatkov	Q <sub>95</sub>	Q <sub>80</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>30</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>5</sub>	Zabeleženi minimum	Povprečni srednji dnevni pretok	Zabeleženi maximum
				(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
Sava Dolinka	Jesenice	257.60	1991–2003	4.2	5.4	7.9	10.4	15.5	19.6	3.412	9.619	87.400
Sava	Medno	2201.50	1991-2003	27.1	36.0	54.7	78.5	139.0	194.0	16.600	76.701	949.000
Sava	Hrastnik	5176.79	1994-2003	48.4	71.0	112.0	164.0	288.0	380.0	30.804	152.758	1423.137
Sava	Jesenice na Dolenjskem	10881.64	1991-2002	76.1	114.0	192.0	288.0	530.0	703.0	51.400	268.135	2430.000

## 2.2.2 Pretočne karakteristike vodomernih postaj na glavnih slovenskih pritokih reke Save



Slika 6. Lokacije vodomernih postaj na glavnih pritokih reke Save.  
 Figure 6. Location of the Sava River tributaries' gauging stations.

Za večino pritokov Save (Slika 6) velja, da hidrološki maksimumi nastopijo novembra, obdobja nizkih pretokov pa večinoma nastopijo februarja, marca in avgusta.

Medtem ko nekateri pritoki reke Save na iztoku v Savo lahko na trenutke skorajda v celoti usahnejo (Kamniška Bistrica in Kokra), pa je v ostalih v 95% časa v strugi vsaj 2 m<sup>3</sup>/s (Preglednica 2). Povprečni srednji dnevni pretoki se gibljejo med 4.8 m<sup>3</sup>/s pri Tržiški Bistrici do 54.0 m<sup>3</sup>/s pri Ljubljani. Iz statističnih podatkov je možno zaključiti tudi, da ima večina izmed pritokov reke Save v Sloveniji pretežno hudourniški značaj, saj se vrednosti

zabeleženih maksimumov srednjih dnevni pretokov gibljejo tudi do 20-kratnika povprečnih vrednosti in 250-kratnika zabeleženih minimumov v analiziranem obdobju (Preglednica 2).

*Preglednica 2. Karakteristike vodomernih postaj na glavnih pritokih reke Save v Sloveniji.*  
 Table 2. *Hydrological characteristics of the the Sava River tributaries' gauging stations.*

Reka	Vodomerna postaja	Prispevna površina (km <sup>2</sup> )	Obdobje razpoložljivih oz. analiziranih podatkov	Q <sub>95</sub>	Q <sub>80</sub>	Q <sub>50</sub>	Q <sub>30</sub>	Q <sub>10</sub>	Q <sub>5</sub>	Zabeleženi minimum	Povprečni srednji dnevni pretok	Zabeleženi maksimum
				(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
Sava Dolinka	Jesenice	257.60	1991–2003	4.2	5.4	7.9	10.4	15.5	19.6	3.412	9.619	87.400
Radovna	Podhom	166.79	1991–2003	1.9	2.6	4.8	7.4	14.8	20.3	1.345	7.312	84.100
Sava Bohinjka	Bodesce	363.91	1991–2003	4.1	6.0	11.4	19.3	46.0	73.3	2.582	21.573	323.000
Tržiška Bistrica	Preska	121.00	1991–2003	2.2	2.6	3.7	5.0	8.0	10.5	1.641	4.799	43.200
Kokra	Kranj	220.23	1991–1996	0.6	1.5	3.5	5.4	9.6	13.6	0.037	5.028	110.741
Sora	Medvode	642.86	1991–2003	6.7	9.3	14.8	22.1	48.6	77.9	4.090	24.446	439.039
Kamniška Bistrica	Vir	207.78	1991–2003	0.2	0.6	2.3	4.7	11.4	18.7	0.040	4.973	80.300
Ljubljana	Moste	1762.52	1991–2003	7.5	14.9	33.2	58.4	133.0	174.0	4.484	54.019	319.075
Savinja	Veliko Sirje	1841.90	1994–2003	9.3	14.2	24.9	37.5	77.1	116.0	4.095	39.085	1037.110
Krka	Podbojce	2238.12	1991–2003	9.5	15.6	28.8	47.8	119.0	170.0	4.505	49.183	356.000

## 2.2.3 Nizko-pretočne karakteristike vodomernih postaj na glavnih slovenskih pritokih reke Save

### 2.2.3.1 Sava Dolinka – VP Jesenice

V obdobju od 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Jesenice na reki Savi Dolinki v vrednosti 3.412 m<sup>3</sup>/s zabeležen februarja 2002. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih februarju in marcu, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med 3.412 in 5.450 m<sup>3</sup>/s. Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 1997, in sicer, 6.619 m<sup>3</sup>/s. Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju daleč najnižji v mesecih februarju (5.874 m<sup>3</sup>/s) in marcu (6.688 m<sup>3</sup>/s), najvišji pa v mesecu novembru (16.282 m<sup>3</sup>/s). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Save Dolinke na vodomerni postaji Jesenice vsaj 4.2 m<sup>3</sup>/s vode in 80% dni v letu vsaj 5.4 m<sup>3</sup>/s.

### 2.2.3.2 Radovna – VP Podhom

V obdobju od 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Podhom na reki Radovni v vrednosti 1.345 m<sup>3</sup>/s zabeležen februarja 1999. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih februarju in marcu, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med 1.345 in 2.161 m<sup>3</sup>/s. Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer, 5.118 m<sup>3</sup>/s, le malenkost višji pa je bil leta 1997 (5.184 m<sup>3</sup>/s). Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju daleč najnižji v mesecu februarju (2.543 m<sup>3</sup>/s), bolj sušni pa so tudi januar, marec in avgust, najvišji pa so v mesecu novembru (13.190 m<sup>3</sup>/s). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Radovne na vodomerni postaji Podhom vsaj 1.9 m<sup>3</sup>/s vode in 80% dni v letu vsaj 2.6 m<sup>3</sup>/s.

### **2.2.3.3 Sava Bohinjka – VP Bodešče**

V obdobju od 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Bodešče na reki Savi Bohinjki v vrednosti  $2.582 \text{ m}^3/\text{s}$  zabeležen avgusta 2003. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih januarju, februarju in predvsem v avgustu, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med  $2.582$  in  $4.910 \text{ m}^3/\text{s}$ . Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer,  $14.743 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju najnižji v mesecu februarju ( $6.843 \text{ m}^3/\text{s}$ ), bolj sušna pa sta tudi januar in avgust, najvišji pa so v mesecu novembru ( $42.974 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Save Bohinjke na vodomerni postaji Bodešče vsaj  $4.1 \text{ m}^3/\text{s}$  vode in 80% dni v letu vsaj  $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **2.2.3.4 Tržiška Bistrica – VP Preska**

V obdobju od 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Preska na reki Tržiški Bistrici v vrednosti  $1.641 \text{ m}^3/\text{s}$  zabeležen avgusta 1993. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih februarju in v septembru, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med  $1.641$  in  $2.530 \text{ m}^3/\text{s}$ . Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer,  $3.325 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju najnižji v mesecu februarju ( $3.045 \text{ m}^3/\text{s}$ ), bolj sušen pa je tudi avgust, najvišji pa so v mesecu novembru ( $7.300 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Tržiške Bistrice na vodomerni postaji Preska vsaj  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  vode in 80% dni v letu vsaj  $2.6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **2.2.3.5 Kokra – VP Kranj**

V obdobju od 1991 do 1996 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Kranj na reki Kokri v vrednosti  $0.037 \text{ m}^3/\text{s}$  zabeležen avgusta 1992. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecu avgustu. Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju najnižji v mesecu avgustu ( $2.677 \text{ m}^3/\text{s}$ ), bolj sušen pa je tudi februar, najvišji pa so v mesecu novembru ( $9.655 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Kokre na vodomerni postaji Kranj vsaj  $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$  vode in 80% dni v letu vsaj  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **2.2.3.6 Sora – VP Medvode**

V obdobju od 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Medvode na reki Sori v vrednosti  $4.090 \text{ m}^3/\text{s}$  zabeležen julija 1995. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih februarju, juliju, avgustu in septembru, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med  $4.090$  in  $8.950 \text{ m}^3/\text{s}$ . Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer,  $16.183 \text{ m}^3/\text{s}$ . Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju najnižji v mesecu avgustu ( $12.041 \text{ m}^3/\text{s}$ ), bolj sušni pa so tudi februar, junij in julij, najvišji pa so v mesecu novembru ( $46.907 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Sore na vodomerni postaji Medvode vsaj  $6.7 \text{ m}^3/\text{s}$  vode in 80% dni v letu vsaj  $9.3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **2.2.3.7 Kamniška Bistrica – vodomerna postaja Vir**

V obdobju od februarja 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Vir na reki Kamniški Bistrici v vrednosti  $0.040 \text{ m}^3/\text{s}$  zabeležen avgusta 2003.

Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih januarju, februarju, marcu in aprilu, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med 0.040 in 0.541 m<sup>3</sup>/s. Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer, 2.199 m<sup>3</sup>/s. Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju najnižji v mesecu februarju (1.762 m<sup>3</sup>/s), bolj sušen pa je tudi avgust, najvišji pa so v mesecu novembru (10.620 m<sup>3</sup>/s). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Kamniške Bistrice na vodomerni postaji Vir vsaj 0.2 m<sup>3</sup>/s vode in 80% dni v letu vsaj 0.6 m<sup>3</sup>/s.

#### **2.2.3.8 Ljubljana – VP Moste**

V obdobju od 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Moste na reki Ljubljani v vrednosti 4.484 m<sup>3</sup>/s zabeležen avgusta 2003. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih avgustu in septembru, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med 4.090 in 12.432 m<sup>3</sup>/s. Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer, 31.344 m<sup>3</sup>/s. Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju daleč najnižji v mesecu avgustu (18.237 m<sup>3</sup>/s), bolj sušna pa sta tudi junij in julij, najvišji pa so v mesecu novembru (101.460 m<sup>3</sup>/s). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Ljubljane na vodomerni postaji Moste vsaj 7.5 m<sup>3</sup>/s vode in 80% dni v letu vsaj 14.9 m<sup>3</sup>/s.

#### **2.2.3.9 Savinja – VP Veliko Širje**

V obdobju od 1994 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Veliko Širje na reki Savinji v vrednosti 4.095 m<sup>3</sup>/s zabeležen avgusta 2003. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih juniju in avgustu, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med 4.095 in 13.773 m<sup>3</sup>/s. Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer, 21.634 m<sup>3</sup>/s. Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju daleč najnižji v mesecu avgustu (26.035 m<sup>3</sup>/s), bolj sušna pa je tudi februar, najvišji pa so v mesecu novembru (57.941 m<sup>3</sup>/s). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Savinje na vodomerni postaji Veliko Širje vsaj 9.3 m<sup>3</sup>/s vode in 80% dni v letu vsaj 14.2 m<sup>3</sup>/s.

#### **2.2.3.10 Krka – VP Podbočje**

V obdobju od 1991 do 2003 je bil minimalni srednji dnevni pretok na vodomerni postaji Podbočje na reki Krki v vrednosti 4.505 m<sup>3</sup>/s zabeležen julija 2003. Minimalni srednji dnevni pretoki v posameznih letih so bili doseženi pretežno v mesecih juliju in avgustu, vrednosti letnih minimumov pa se gibljejo med 4.505 in 14.225 m<sup>3</sup>/s. Najnižji povprečni srednji dnevni pretok v tem obdobju je bil dosežen leta 2003, in sicer, 29.667 m<sup>3</sup>/s. Mesečni srednji dnevni pretoki so v povprečju daleč najnižji v mesecu avgustu (20.270 m<sup>3</sup>/s), bolj sušna pa sta tudi junij in julij, najvišji pa so v mesecu novembru (74.399 m<sup>3</sup>/s). Iz krivulje trajanja pretoka pa je razvidno, da je 95% dni v letu v strugi Krke na vodomerni postaji Podbočje vsaj 9.5 m<sup>3</sup>/s vode in 80% dni v letu vsaj 15.6 m<sup>3</sup>/s.

### **2.2.4 Razdelitev reke Save**

Z energetskega vidika lahko razdelimo slovenski del reke Save na:

- zgornjo Savo do HE Moste,
- zgornjo Savo od HE Moste do HE Mavčiče in HE Medvode,
- srednjo Savo od HE Mavčiče in HE Medvode do HE Vrhovo in HE Boštanj ter na

- spodnjo Savo dolvodno od HE Vrhovo in HE Boštanj.

#### 2.2.4.1 Sava na odseku od izvira (Sava Dolinka) do HE Moste

Sava od svojega izvira v Zelencih pri Kranjski Gori do HE Moste je v bistvu Sava Dolinka.

*Preglednica 3. Prispevne površine vodomernih postaj in posameznih naravnih pritokov Save na odseku od izvira do HE Moste.*

*Table 3. Drainage areas of the gauging stations and river basins of the Sava River tributaries on the reach from its spring to the Moste Hydropower station.*

Prispevna površina	Sava Dolinka
	VP Jesenice
	[km <sup>2</sup> ]
F <sub>POSTAJE</sub>	257.6
F <sub>POREČJA</sub>	336.3
%	76.6

Zadnja vodomerna postaja Agencije RS za okolje na Savi na tem odseku je VP Jesenice na Savi Dolinki, ki predstavlja 76.6% velikosti porečja (Preglednica 3).

#### 2.2.4.2 Sava na odseku od HE Moste do HE Mavčiče in HE Medvode

V reko Savo se na odseku od hidroelektrarne Moste do hidroelektrarn Mavčiče in Medvode izlivajo naslednji večji vodotoki:

- dolvodno od HE Moste se v Savo Dolinko izliva reka Radovna;
- v Savo se pri Radovljici združita Sava Dolinka in Sava Bohinjka;
- v Savo se izliva Tržiška Bistrica;
- v Kranju se v Savo izliva Kokra.

*Preglednica 4. Prispevne površine vodomernih postaj in posameznih naravnih pritokov Save na odseku od HE Moste do HE Mavčiče in HE Medvode.*

*Table 4. Drainage areas of the gauging stations and river basins of the Sava River tributaries on the reach from the Moste Hydropower station to the Mavcice and Medvode Hydropower stations.*

Prispevna površina	Radovna	Sava Bohinjka	Tržiška Bistrica	Kokra
	VP Podhom	VP Bodešče	VP Preska	VP Kranj
	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]
F <sub>POSTAJE</sub>	166.79	363.91	121.00	220.23
F <sub>POREČJA</sub>	138.7	387.3	146.0	221.9
%	120.3	94.0	82.9	99.2

Zadnje vodomerne postaje Agencije RS za okolje na večjih pritokih Save (preden se le-ti združijo oziroma izlivajo v Savo) na tem odseku so VP Podhom na Radovni, VP Bodešče na Savi Bohinjki, VP Preska na Tržiški Bistrici in VP Kranj na Kokri (Preglednica 4). Primerjava prispevnih površin posameznega vodotoka in vodozbirnega območja posamezne

vodomerne postaje (Preglednica 4), za katero sem razpolagal s podatki Agencije RS za okolje, in površine celotnega porečja pokaže, da več kot 90% površine porečja predstavljata le vodomerni postaji Bodešče na Savi Bohinjki in Kranj na Kokri, VP Preska pa predstavlja 82.9% celotnega območja porečja Tržiške Bistrice. Pri podatkih o prispevnem območju Radovne do vodomerne postaje Podhom na Radovni in velikosti celotnega porečja Radovne pa gre za očitna odstopanja v enem ali pa drugem podatku, za potrebe raziskave pa sem predpostavil, da vodomerna postaja Podhom s svojim vodozbirnim območjem na Radovni predstavlja večinski delež porečja le-te. V nadaljevanju sem za podatke z omenjenih vodomernih postaj na pritokih Save uporabil kot grobo oceno prispevka celotnega porečja posameznega pritoka in nisem uporabil korekcijskih faktorjev.

#### 2.2.4.3 Sava na odseku od HE Mavčiče in HE Medvode do HE Vrhovo

V reko Savo se na odseku od hidroelektrarn Mavčiče in Medvode do hidroelektrarne Vrhovo izlivajo štiri večji vodotoki:

- pri Medvodah se v Savo izliva reka Sora;
- dolvodno od Ljubljane se v Savo izlivata reki Kamniška Bistrica in Ljubljanica;
- pri Zidanem mostu pa se v Savo izliva reka Savinja.

*Preglednica 5. Prispevne površine vodomernih postaj in posameznih naravnih pritokov Save na odseku od HE Mavčiče in HE Medvode do HE Vrhovo.*

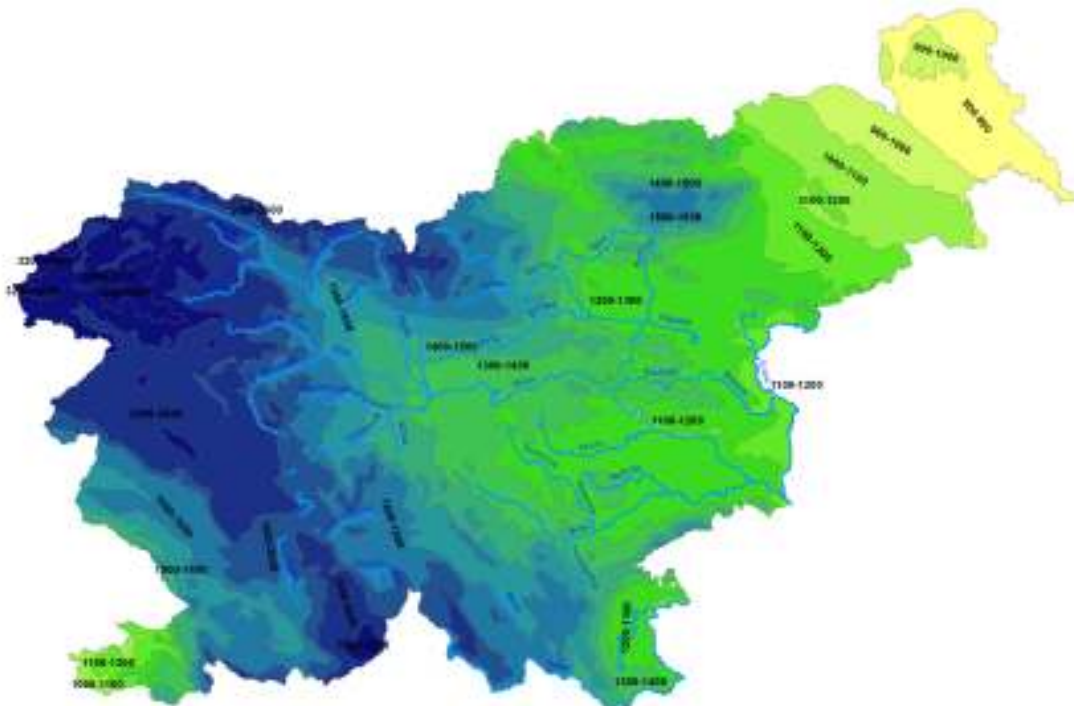
*Table 5. Drainage areas of the gauging stations and river basins of the Sava River tributaries on the reach from the Mavcice and Medvode Hydropower stations to the Vrhovo Hydropower station.*

Prispevna površina	Sora	Kamniška Bistrica	Ljubljanica	Savinja
	VP Medvode	VP Vir	VP Moste	VP Veliko Širje
	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]
F <sub>POSTAJE</sub>	642.86	207.78	1762.52	1841.90
F <sub>POREČJA</sub>	647.8	538.7	1883.8	1852.8
%	99.2	38.6	93.6	99.4

Zadnje vodomerne postaje Agencije RS za okolje na večjih pritokih Save (preden se le-ti izlivajo v Savo) na tem odseku so VP Medvode na Sori, VP Vir na Kamniški Bistrici, VP Moste na Ljubljanici in VP Veliko Širje na Savinji. Iz Preglednice 5 je razvidno, da prispevne površine posameznih pritokov Save do vseh vodomernih postaj razen vodomerne postaje Vir na Kamniški Bistrici predstavljajo vsaj 90% prispevne površine celotnih porečij posameznega pritoka, prispevna površina do vodomerne postaje Vir na Kamniški Bistrici pa predstavlja manj kot 40% celotnega porečja Kamniške Bistrice, saj se v Kamniško Bistrico dolvodno od Vira izlivata še Rača s prispevno površino 164.5 km<sup>2</sup> in Pšata s prispevno površino 147.93 km<sup>2</sup>. V nadaljevanju sem podatke z vodomernih postaj Medvode, Moste in Veliko Širje na pritokih Save uporabil kot grobo oceno prispevka celotnega porečja posameznega pritoka. Prispevek oziroma strukturni delež izhajajoč iz podatkov o srednjih dnevni pretokih na VP Vir na Kamniški Bistrici, pa sem na koncu raziskave korigiral z glede na površino vodozbirnega območja določenim ekstrapolacijskem faktorjem 2.5.

### 2.3 Padavine

V obdobju 1971-2000 je v porečju Save (brez porečja Kolpe) padlo 1594 mm padavin, izhlapelo 716 mm in odteklo 878 mm (ARSO, 2008). Letna količina padavin tako kot v celotni Sloveniji je največja v zahodnem delu porečja Save in pada proti vzhodu. Medtem ko je v goratih predelih porečij Save Dolinke, Radovne in Save Bohinjke tudi do 4000 mm padavin, pa v nekaterih predelih porečja Savinje in Krke letno pade le nekaj več kot 1000 mm padavin (Slika 7).



Slika 7. Povprečna letna količina padavin [mm] v Sloveniji za obdobje 1971-2000 (ARSO, 2008).

Figure 7. Average precipitation amount for the 1971-2000 period. (ARSO, 2008).

Količina padavin v porečju Save je torej največja v goratem zaledju izvira reke Save pri Zelencih in se proti vzhodu znižuje do vrednosti nekaj nad 1000 mm (Slika 7).

### 2.4 Hidroelektrarne na reki Savi

Na zgornjem delu slovenske Save so zgrajene tri hidroelektrarne (HE Moste, HE Mavčiče in HE Medvode), na spodnjem pa dve (HE Vrhovo in HE Boštanj), a se pospešeno gradijo (HE Blanca) ali pa so v načrtih še nove oziroma dodatne.

Pri Krškem je ob reki Savi locirana tudi nuklearna elektrarna, katere obratovanje lahko zaradi izrabe Save za potrebe hlajenja v sušnih obdobjih predstavlja velik tako kvalitativni kot tudi kvantitativni vpliv na vodni režim.



## 2.4.1 Obstoječe HE na reki Savi (Savske elektrarne, 2008)

### 2.4.1.1 HE Moste

Akumulacijska hidroelektrarna Moste (Slika 8), ki omogoča tedensko izravnavo pretokov, kot prva elektrarna na Savi obratuje od leta 1952 dalje. Njena gradnja se je pričela leta 1946; prva dva agregata sta pričela z obratovanjem leta 1952, tretji pa leta 1955. Nahaja se pod Žirovnico, v soteski Kavčke, ki predstavlja najožji del savskega kanjona. Pregrada je s 60 m višine najvišja pregrada v Sloveniji. HE Moste skupaj s starejšo HE Završnica (obratovati je pričela leta 1914) predstavlja enoten energetski sistem, ki je bil načrtovan tako, da bi se v obdobjih s presežki proizvedene energije le-ta uporabila za prečrpavanje vode iz akumulacije HE Moste v višje ležečo akumulacijo HE Završnica, kar pa nikoli ni bilo realizirano. Prispevna površina reke Save do HE Moste znaša 325 km<sup>2</sup>, medtem ko se na HE Završnica zbira voda s površine velikosti 25 km<sup>2</sup>. Inštalirani pretok HE Moste je 28.5 m<sup>3</sup>/s, na HE Završnica pa 6.5 m<sup>3</sup>/s. HE Moste na pragu doseže 21 MW moči, letno pa v povprečju proizvede 64 GWh energije.



Slika 8. HE Moste - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).  
Figure 8. The Moste Hydropower station.

### 2.4.1.2 HE Mavčiče



Slika 9. HE Mavčiče - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).  
Figure 9. The Mavcice Hydropower station.

Druga hidroelektrarna na reki Savi (Slika 9) leži dolvodno od Kranja pod naseljem Mavčiče. Je pretočnega tipa, s svojim akumulacijskim bazenom za dnevno izravnavo pretokov pa je namenjena pokrivanju konic potrošnje električne energije. HE Mavčiče je začela obratovati leta 1986. Prispevna površina reke Save do HE Mavčiče znaša 1480 km<sup>2</sup>. Inštalirani pretok je 260 m<sup>3</sup>/s. Njena moč na pragu je 38 MW, povprečna letna proizvodnja pa 61 GWh električne energije.

#### 2.4.1.3 HE Medvode

Dolvodno od HE Mavčiče in nad sotočjem Save s Sore pri Medvodah se nahaja tretja v nizu savskih elektrarn HE Medvode (Slika 10), katere akumulacija se izrablja kot kompenzacijski bazen pri obratovanju HE Mavčiče. Je druga najstarejša hidroelektrarna na Savi, z gradnjo so namreč začeli že v letu 1947. Prvi agregat je pričel obratovati v letu 1954, drugi pa leta 1955. Prispevna površina reke Save do HE Medvode znaša 1513 km<sup>2</sup>. Inštalirani pretok je 142 m<sup>3</sup>/s. V konicah je moč obeh agregatov skupaj 20 MW, srednja letna proizvodnja električne energije pa je 77 GWh.



Slika 10. HE Medvode - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).  
Figure 10. The Medvode Hydropower station.

#### 2.4.1.4 HE Vrhovo



Slika 11. HE Vrhovo - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).  
Figure 11. The Vrhovo Hydropower station.

Od leta 1993 dalje obratuje savska hidroelektrarna Vrhovo (Slika 11), ki je prva v načrtovani verigi spodnjesavskih elektrarn. Nahaja se na polju pod naseljem Vrhovo, prispevna površina reke Save do HE Vrhovo pa obsega 7198 km<sup>2</sup>. Inštalirani pretok je 500 m<sup>3</sup>/s, trije agregati s srednjo letno proizvodnjo 126 GWh električne energije pa imajo na pragu moč 34.2 MW.

#### 2.4.1.5 HE Boštanj

Otvoritev najmlajše izmed savskih hidroelektrarn (Slika 12) je bila 27. maja 2006. Hidroelektrarna se nahaja ob kraju Boštanj. Inštalirani pretok je 500 m<sup>3</sup>/s, moč elektrarne pa je do izgradnje HE Blanca 36 MW, po izgradnji HE Blanca pa 32 MW. Srednja letna proizvodnja energije je 115 GWh.



Slika 12. HE Boštanj - pogled (levo) in digitalni orto-foto (desno).

Figure 12. The Bostanj Hydropower station.

#### 2.4.2 Načrtovane hidroelektrarne na reki Savi

Obstoječim hidroelektrarnam Moste, Mavčiče in Medvode na zgornji Savi se bodo ob načrtovani doinštalaciji in sanaciji HE Moste (HE Moste II in HE Moste III) in HE Medvode (tretji agregat) v bližnji prihodnosti pridružile še HE Tacen, HE Ježica, HE Šentjakob in HE Zalog.

Na srednji Savi je dolgoročno predvidenih še šest hidroelektrarn in sicer HE Jevnica, HE Kresnice, HE Ponoviče, HE Renke, HE Trbovlje in HE Suhadol, na porečju srednje Save pa je načrtovana tudi črpalna hidroelektrarna Požarje.

Načrtovane hidroelektrarne na spodnji Savi oziroma nekatere že v fazi gradnje pa so HE Blanca, HE Krško, HE Brežice in HE Mokrice. V terminskih planih je predvideno, da naj bi se gradnja HE Blanca zaključila v letu 2009, gradnja HE Krško naj bi se zaključila v letu 2012. Začetek gradnje HE Brežice je predviden za leto 2011, zaključek pa za leto 2015. Projekt izgradnje hidroelektrarn na spodnji Savi pa naj bi se zaključil z gradnjo HE Mokrice, katere začetek je predviden za leto 2014, zaključek gradnje pa za leto 2018.

### 3 METODE

#### 3.1 Podatki

Za določitev krivulj trajanja pretokov in karakterističnih statistik srednjih dnevni pretokov  $Q_{95}$  (vrednost srednjega dnevnega pretoka, ki je presežen v 95 % časa),  $Q_{80}$ ,  $Q_{50}$  in  $Q_{30}$  na posameznih vodomernih postajah so bili uporabljeni podatki o srednjih dnevni pretokih v letih od 1991 do 2003; podatke je posredovala Agencija Republike Slovenije za okolje.

Za gradnjo oziroma razvoj modelov napovedi nizkih pretokov so bili uporabljeni podatki iz obdobja od vključno leta 1991 do vključno leta 2002, za verifikacijo modelov napovedi pa podatki o srednjih dnevni pretokih za leto 2003, katerega lahko uvrstimo med bolj sušna obdobja v zadnjem obdobju. Za verifikacijo modelov napovedi nizkih pretokov na posameznih vodomernih postajah sem izbral pet sušnih obdobji v letu 2003. Modeli napovedi so bili verificirani samo na tistih podatkih, ko je srednji dnevni pretok v času napovedi ( $Q_t$ ) znašal manj kot 150% vrednosti  $Q_{30}$ , torej pretoka, ki je bil presežen vsaj 30 % časa v obdobju od 1991 do 2003. Tako so bili modeli napovedi preverjeni tudi na podatkih o srednjem dnevnem pretoku, ki niso bili vključeni v razvoj modelov.

Modeli napovedi na vtokih v akumulacije posameznih hidroelektrarn so bili zgrajeni na podlagi uporabe podatkov za leta od 2004 do 2007, ki so jih o pretokih oziroma dotokih na hidroelektrarne posredovali s podjetja Savske elektrarne.

#### 3.2 Klasičen pristop k razvoju modela napovedi s konstantno vrednostjo recesijskega koeficienta $k$

V prvi fazi sem želel izdelati modele napovedi nizkih pretokov za  $n$ -dni vnaprej na podlagi najbolj poznane enačbe recesijskega dela hidrograma (Tallaksen, 1995):

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-k \cdot n} \quad (1)$$

kjer predstavljajo  $Q_t$  in  $Q_{t+n}$  srednji dnevni pretok na posamezni vodomerni postaji v dnevih  $t$  in  $t+n$ ,  $n$  število dni vnaprej, za katero se izdela napoved (npr. za 1 dan vnaprej  $n = 1$ ), in  $k$  recesijski koeficient konstantne vrednosti.

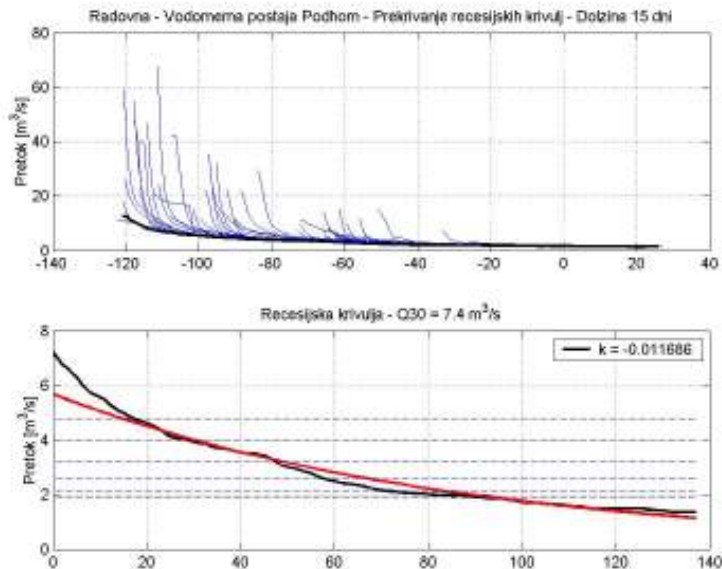
Enačba (1) se v literaturi (Tallaksen, 1995) pojavlja tudi v naslednjih podobnih oblikah:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-n/C} \quad (1a)$$

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-a1 \cdot n} \quad (1b)$$

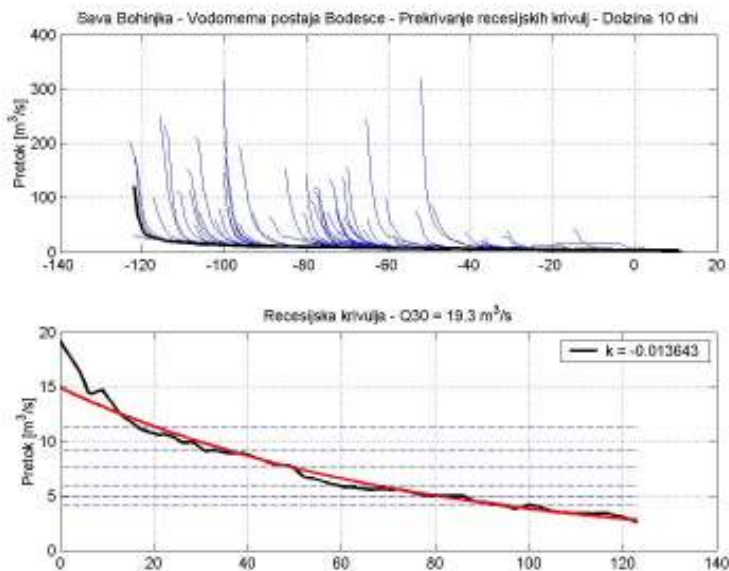
$$Q_{t+n} = Q_t \cdot k^n \quad (1c)$$

kjer predstavljajo  $C$ ,  $a1$  in  $k$  konstante in je  $n$  število dni vnaprej, za katero se izdela napoved.



Slika 13. Določitev konstantne vrednosti koeficienta  $k$  na podlagi določitve glavne recesijske krivulje – vodomerna postaja Podhom na Radovni.

Figure 13. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Radovna River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .



Slika 14. Določitev konstantne vrednosti koeficienta  $k$  na podlagi določitve glavne recesijske krivulje – vodomerna postaja Bodešče na Savi Bohinjki.

Figure 14. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava Bohinjka River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

S prekrivanjem, dopolnjevanjem in sestavljanjem vseh recesijskih delov hidrogramov, ki so daljši od določene dolžine (npr. 7 dni, 10 dni ali 15 dni) in so bili določeni avtomatsko, sem za vsako izmed vodomernih postaj določil glavno recesijsko krivuljo (angl. master recession curve) in ji določil eksponentno krivuljo z eksponentnim koeficientom, ki se ji najbolj prilaga po kriteriju najmanjšega odstopanja kvadratov (Sliki 13 in 14). Tako je bila določena konstantna vrednost recesijskega koeficienta  $k$  (Sliki 13 in 14), ki se ob uporabi v enačbi (1) uporabi za izdelavo 7-dnevne napovedi nizkih pretokov. Celotna metoda je bila avtomatizirana in programirana v programskem okolju MatLab (Sliki 13 in 14).

### 3.3 Metoda strojnega učenja M5 za razvoj regresijskih dreves

Za razvoj modelov v obliki regresijskih dreves, ki predstavljajo modele variabilnega recesijskega koeficienta  $k$  in modele napovedi vtoka v akumulacijo posamezne hidroelektrarne, sem v uporabil metodo strojnega učenja M5 iz programskega orodja WEKA. To orodje je bilo razvito na Univerzi Waikato na Novi Zelandiji (Witten & Frank, 2000).

S tem, ko metodi strojnega učenja ponudimo dovolj vhodnih (atributov) in izhodnih podatkov, ki opisujejo modelirani proces, se le-ta iz posameznih primerov nauči vzorce obnašanja v okviru modeliranega procesa. Pri tem se celotni podatkovni prostor vhodnih spremenljivk deli na podprostore, katerih meje so v procesu razvoja modela optimizirane, znotraj posameznih podprostorov celotnega podatkovnega  $n$ -dimenzijskega prostora pa veljajo določeni vzorci, ki se jih lahko aproksimira z npr. nominalno ali konstantno numerično vrednostjo in linearno funkcijo. Odločitvena drevesa se generirajo na podlagi iterativnega deljenja podatkov v podatkovne podprostore celotnega podatkovnega prostora, pri čemer je cilj, da je razdalja med posameznimi podatkovnimi podprostori čim večja (Breiman et al., 1984; Quinlan 1986, 1992; Kompore, 1995; Mitchell, 1997; Witten & Frank, 2000; Solomatine & Dulal, 2003).

Glavne komponente odločitvenih dreves so odločitvena vozlišča, veje in listi. Odločitveni proces se začne pri glavnem oziroma zgornjem odločitvenem vozlišču, v katerem je specificiran razdelitveni kriterij. Glede na odgovor na ta razdelitveni kriterij se odločitveno drevo razdeli v veje. Vsaka veja lahko vodi do podrejenih vej ali pa zaključnih delov odločitvenih dreves, ki se imenujejo listi in predstavljajo vrednost, ki jo zavzame model. Rezultati modeliranja so torej modeli v obliki odločitvenih dreves, ki predstavljajo zaporedje pravil. Ta pripeljejo do vrednosti razreda, numerične vrednosti ali linearne funkcije uporabljenih atributnih spremenljivk. Glede na to lahko razdelimo vrste odločitvenih dreves v:

- klasifikacijska drevesa z nominalnimi vrednostmi razreda kot listi modela,
- regresijska drevesa s konstantnimi numeričnimi vrednostmi kot listi modela in
- modelna drevesa z linearnimi kombinacijami oziroma funkcijami uporabljenih atributov kot listi modela.

### 3.4 Aplikacija metode strojnega učenja M5 za razvoj modela napovedi s spremenljivo vrednostjo recesijskega koeficienta $k$

Za razliko od modela napovedi s konstantno vrednostjo recesijskega koeficienta sem na podlagi analize recesijskih obdobj v letih od 1991 do 2002 razvil modele variabilnega

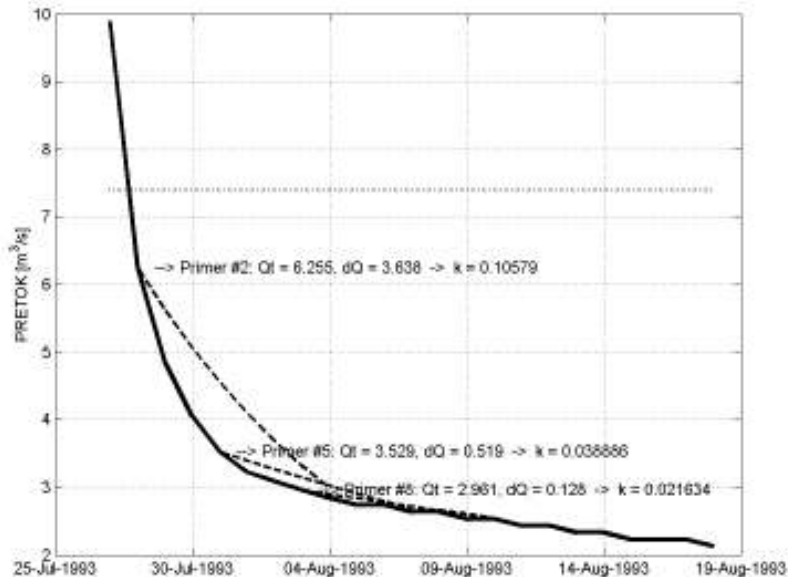


recesijskega koeficienta  $k$ , ki se ga kasneje uporabi v modelu napovedi nizkih pretokov za 7 dni vnaprej. Razvil sem torej regresijsko drevo variabilnega recesijskega koeficienta  $k$  iz enačbe (1), ki ni konstanten, temveč variira glede na vrednost pretoka v dnevu izdelave napovedi ( $Q_t$ ) in glede na spremembo pretoka v zadnjih 24 urah ( $dQ$ ).

Osnovna oblika modela torej ostane enaka (enačba 1), le recesijski koeficient ni več konstanten v vseh hidroloških pogojih v trenutku izdelave napovedi, temveč je odvisen od spremembe pretoka v zadnjih 24 urah  $dQ$  in vrednosti pretoka v dnevu izdelave napovedi  $Q_t$  (Sliki 15 in 16):

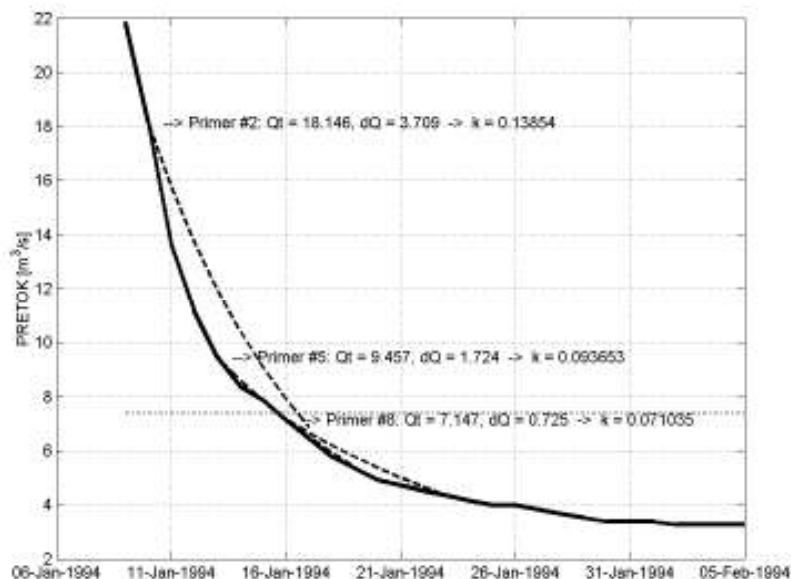
$$k = f(Q_t, dQ)$$

Modele oziroma regresijska drevesa recesijskega koeficienta  $k$  sem razvil tako, da sem za obdobje let od 1991 do 2002 z lastno aplikacijo identificiral vsa obdobja, ko je bil pretok v upadanju. Za vsako tako obdobje in vrednosti nižje od  $Q_{30}$  je bil določen koeficient eksponencialne krivulje, ki se najbolje prilega vrednostim pretoka za 7 dni vnaprej (Sliki 15 in 16). Za vsako tako dobljeni  $k$  je bila odčitana še vrednost pretoka v trenutku izdelave napovedi  $Q_t$  in vrednost spremembe pretoka glede na prejšnji dan  $dQ$  (Sliki 15 in 16). Tako je bila za vsako posamezno postajo pridobljeno večje število trojic (primerov), kjer sta  $dQ$  in  $Q_t$  atributa (oziroma vhodni spremenljivki), razred (oziroma modelirana spremenljivka) v obliki konstante vrednosti pa je recesijski koeficient  $k$  (Preglednica 6).



Slika 15. Zbiranje atributov ( $Q_t$  in  $dQ$ ) in razredov (koeficient  $k$ ) posameznih primerov iz podatkov o srednjih dnevnih pretokih na Radovni.

Figure 15. Collection of instances with attributes  $Q_t$  and  $dQ$ , and class  $k$  from the Radovna River data.



Slika 16. Zbiranje atributov ( $Q_t$  in  $dQ$ ) in razredov (koeficient  $k$ ) posameznih primerov iz podatkov o srednjih dnevni pretokih na Radovni.

Figure 16. Collection of instances with attributes  $Q_t$  and  $dQ$ , and class  $k$  from the Radovna River data.

Preglednica 6. Prikaz posameznih zbranih trojic (primerov)  $Q_t$ ,  $dQ$  in  $k$ , na podlagi katerih metoda M5 sama zgradi regresijsko drevo spremenljivega recesijskega koeficienta  $k$ .

Table 6. Some of the instances; columns  $Q_t$  and  $dQ$  were attributes (input variables) and  $k$  was a class or the modelled variable. The M5 machine learning method generates the regression tree from these instances.

Primer #	$Q_t$ [m³/s]	$dQ$ [m³/s]	$k$
1	4,76	0,400	0,0617
2	4,19	0,570	0,0538
3	4,01	0,180	0,0518
4	3,66	0,350	0,0443
5	3,49	0,170	0,0419
6	3,33	0,160	0,0365
7	3,17	0,160	0,0291
8	3,02	0,150	0,0211
9	2,88	0,140	0,0178
10	2,74	0,140	0,0148
...	...	...	...
...	...	...	...
...	...	...	...
549	2,64	0,127	0,0301
550	2,52	0,122	0,0200



### 3.5 Razvoj modelov napovedi na vtoku v hidroelektrarne

Modele napovedi na vtoku v hidroelektrarne sem razvil ob predpostavki, da bodo v morebitno operativno izvedbo sistema napovedi vključene samo naslednje vodomerne postaje, s katerih se bo lahko on-line dostopalo do najnovejših oziroma trenutnih podatkov o pretoku:

- VP Jesenice na Savi Dolinki;
- VP Bodešče na Savi Bohinjki;
- VP Preska na Tržiški Bistrici;
- VP Veliko Širje na Savinji in
- VP Hrastnik na Savi.

Ker inštalacija oziroma montaža vodomero v kombinaciji s telekomunikacijsko opremo za trenuten prenos podatkov v centralno postajo modela napovedi ni bila predvidena tudi na ostalih vodomernih postajah na naravnih pritokih reke Save, sem torej moral upoštevati oziroma vključiti v modele napovedi na vtokih v hidroelektrarne samo podatke z zgoraj naštetih vodomernih postaj.

Glede na razpoložljivost podatkov o srednjih dnevni pretokih na hidroelektrarnah na reki Savi (Moste, Mavčiče, Medvode in Vrhovo) sem razdelil razvoj modelov v dva tipa, ki sem ju poimenoval modeli FAZA 1 in modeli FAZA 2 (Preglednica 7).

*Preglednica 7. Kratak opis in oznake razvitih modelov napovedi za posamezne hidroelektrarne.*

*Table 7. Types of generated low flow forecasting models.*

<b>Hidroelektrarna</b>		<b>Oznaka modela v nadaljnjem besedilu</b>	<b>Kratek opis modela</b>
HE Moste	FAZA 1	Model #3	model, razvit brez uporabe podatkov Savskih elektrarn
	FAZA 2	Model #1	manj kompleksen model, razvit z uporabo podatkov Savskih elektrarn
		Model #2	bolj kompleksen model, razvit z uporabo podatkov Savskih elektrarn
HE Mavčiče	FAZA 1	Model #3	model, razvit brez uporabe podatkov Savskih elektrarn
	FAZA 2	Model #1	manj kompleksen model, razvit z uporabo podatkov Savskih elektrarn
		Model #2	bolj kompleksen model, razvit z uporabo podatkov Savskih elektrarn
HE Vrhovo	FAZA 1	Model #3	model, razvit brez uporabe podatkov Savskih elektrarn
	FAZA 2	Model #1	manj kompleksen model, razvit z uporabo podatkov Savskih elektrarn
		Model #2	bolj kompleksen model, razvit z uporabo podatkov Savskih elektrarn

### **3.5.1 Faza 1 – razvoj modelov brez uporabe podatkov o dnevni vtokih v akumulacije posameznih hidroelektrarn**

V okviru izdelave naloge sprva niso bili na razpolago dnevni podatki o vtokih v akumulacijo posamezne hidroelektrarne, zato sem razvil modele napovedi vtoka v akumulacijo posamezne hidroelektrarne na podlagi vključevanja in seštevanja modelov napovedi za posamezne relevantne vodomerne postaje ter dodajanja in korigiranja posameznih tako dobljenih vrednosti z empiričnimi korekcijskimi faktorji.

V nadaljevanju naloge (v tekstu, v preglednicah in na diagramih) so modeli, ki so bili razviti na zgornji način, označeni kot modeli FAZA 1. Znotraj faze sem razvil tri različne modele, in sicer, #1, #2 in #3 (Preglednica 7).

### **3.5.2 Faza 2 – razvoj modelov brez uporabe podatkov o dnevni vtokih v akumulacije posameznih hidroelektrarn**

V drugi fazi, ko so bili na razpolago podatki o vtokih v akumulacijo posamezne hidroelektrarne, pa sem z uporabo metode strojnega učenja M5 razvil modelna drevesa, ki predstavljajo povezavo med podatki z relevantnih vodomernih postaj in vtoki v akumulacijo posamezne hidroelektrarne.

V nadaljevanju naloge (v tekstu, v preglednicah in na diagramih) so modeli, ki so bili razviti na zgornji način, označeni kot modeli FAZA 2. Znotraj faze sem razvil tri različne modele, in sicer, #1, #2 in #3 (Preglednica 7).

## 4 REZULTATI

### 4.1 Modeli napovedi na posameznih vodomernih postajah

Za vodomerne postaje Jesenice na Savi Dolinki, Podhom na Radovni, Bodešče na Savi Bohinjki, Preska na Tržiški Bistrici, Medvode na Sori, Moste na Ljubljani, Hrastnik na Savi, Veliko Širje na Savinji in Podbočje na Krki so bili razviti modeli napovedi s konstantno vrednostjo (Preglednica 8) recesijskega koeficienta  $k$  (ti. metoda klasičnega pristopa) in modeli napovedi s spremenljivo vrednostjo recesijskega koeficienta  $k$  (aplikacija metode strojnega učenja M5). Modeli napovedi so bili primerjani in testirani na podatkih obdobja nizkih pretokov na posameznih vodomernih postajah iz leta 2003.

*Preglednica 8. Prikaz rezultatov avtomatskega prekrivanja recesijskih delov hidrogramov pritokov reke Save in vrednosti konstantnega recesijskega koeficienta  $k$ .*

*Table 8. The number of instances that were included in the development of the model of the variable recession coefficient  $k$  from equation (1) and single-valued master recession curve coefficients for the Sava River tributaries.*

Reka	Vodomerne postaja	Koeficient glavne recesijske krivulje
Sava Dolinka	Jesenice	$k = 0.006935$
Radovna	Podhom	$k = 0.011686$
Sava Bohinjka	Bodesce	$k = 0.013643$
Tržiška Bistrica	Preska	$k = 0.015384$
Sora	Medvode	$k = 0.007207$
Ljubljana	Moste	$k = 0.033678$
Sava	Hrastnik	$k = 0.037931$
Savinja	Veliko Širje	$k = 0.020992$
Krka	Podbočje	$k = 0.012770$

#### 4.1.1 Modeli napovedi s konstantno vrednostjo recesijskega koeficienta $k$

Razviti so bili modeli napovedi nizkih pretokov s konstantnim  $k$  iz enačbe (1) za 7 dni vnaprej:

- za vodomerno postajo Jesenice na Savi Dolinki:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.006935 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Podhom na Radovni:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.011686 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Bodešče na Savi Bohinjki:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.013643 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Preska na Tržiški Bistrici:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.015384 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Medvode na Sori:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.007207 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Moste na Ljubljani:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.033678 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Hrastnik na Savi:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.037931 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Veliko Širje na Savinji:

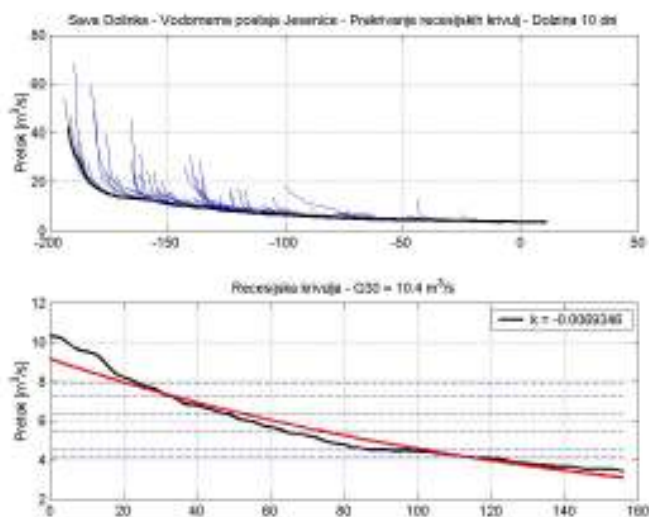
$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.020992 \cdot n}$$

- za vodomerno postajo Podbočje na Krki:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-0.012770 \cdot n}$$

#### 4.1.1.1 Sava Dolinka – VP Jesenice

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 10 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Jesenice na Savi Dolinki je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.0069346 (Slika 17).

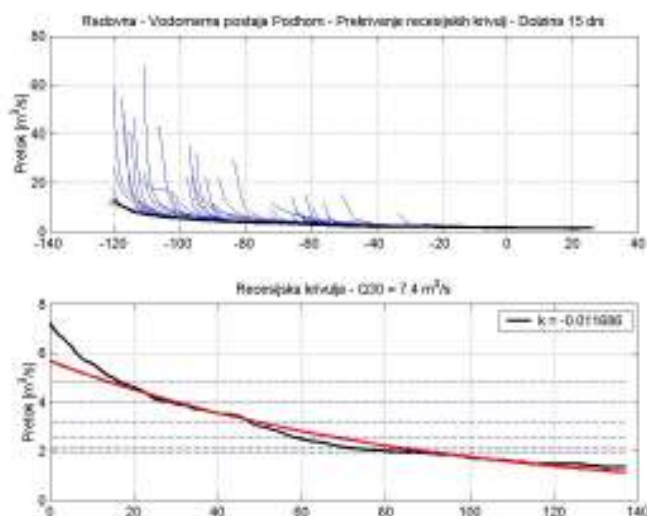


*Slika 17. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Jesenice na Savi Dolinki.*

*Figure 17. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava Dolinka River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .*

#### 4.1.1.2 Radovna – VP Podhom

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 15 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Podhom na Radovni je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.011686 (Slika 18).

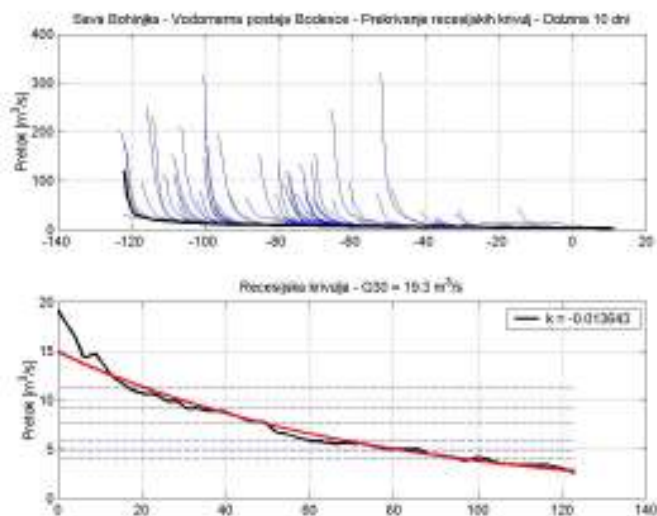


*Slika 18. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Podhom na Radovni.*

*Figure 18. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Radovna River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .*

#### 4.1.1.3 Sava Bohinjka – VP Bodešče

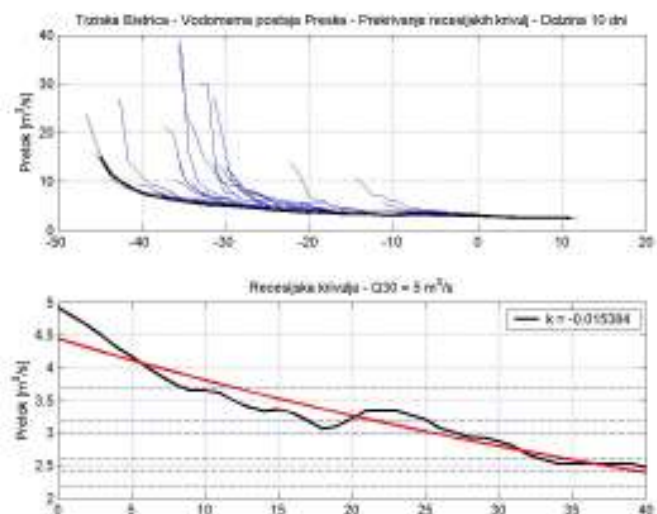
Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 10 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Bodešče na Savi Bohinjki je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.013643 (Slika 19).



Slika 19. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Bodešče na Savi Bohinjki.  
Figure 19. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava Bohinjka River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

#### 4.1.1.4 Tržiška Bistrica – VP Preska

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 10 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Preska na Tržiški Bistrici je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.015384 (Slika 20).

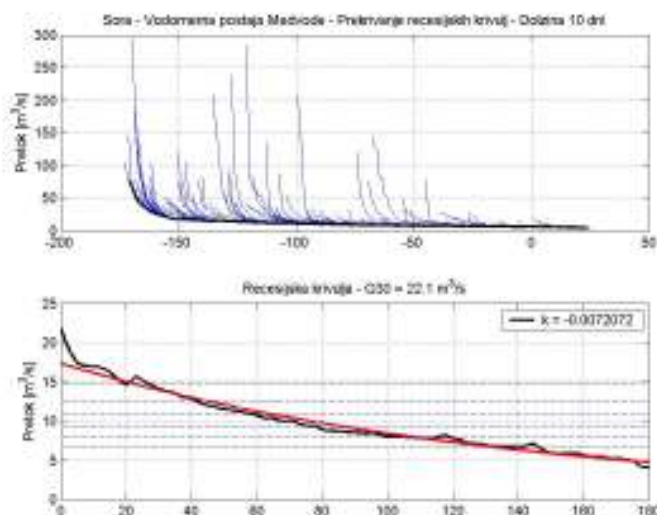


Slika 20. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Preska na Tržiški Bistrici.

Figure 20. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Trziska Bistrica River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

#### 4.1.1.5 Sora – VP Medvode

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 10 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Medvode na Sori je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.0072072 (Slika 21).

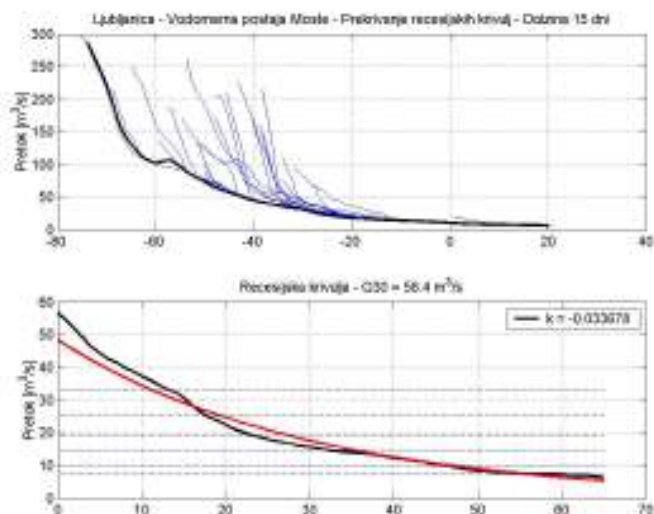


Slika 21. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Medvode na Sori.

Figure 21. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sora River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

#### 4.1.1.6 Ljubljana – VP Moste

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 15 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Moste na Ljubljani je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.033678 (Slika 22).

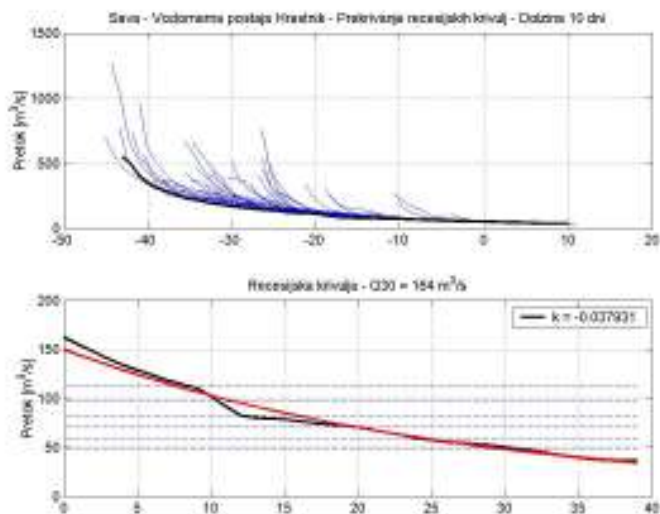


Slika 22. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Moste na Ljubljani.

Figure 22. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Ljubljana River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

#### 4.1.1.7 Sava – VP Hrastnik

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 10 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Hrastnik na Savi je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.037931 (Slika 23).



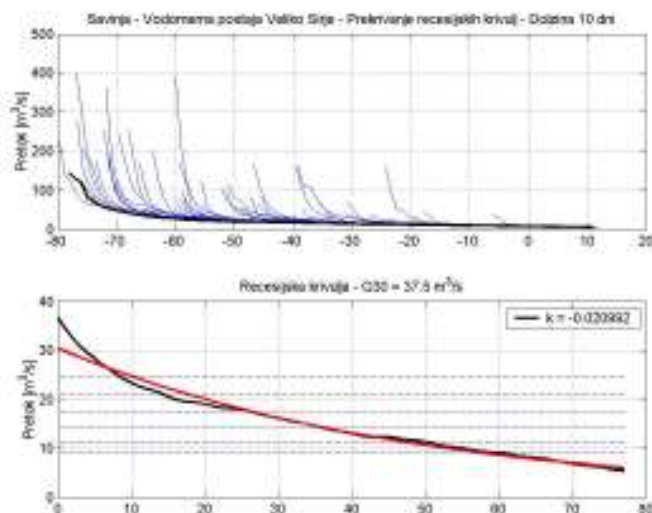
Slika 23. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Hrastnik na Savi.



Figure 23. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Sava River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

#### 4.1.1.8 Savinja – VP Veliko Širje

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 10 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Veliko Širje na Savinji je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.020992 (Slika 24).

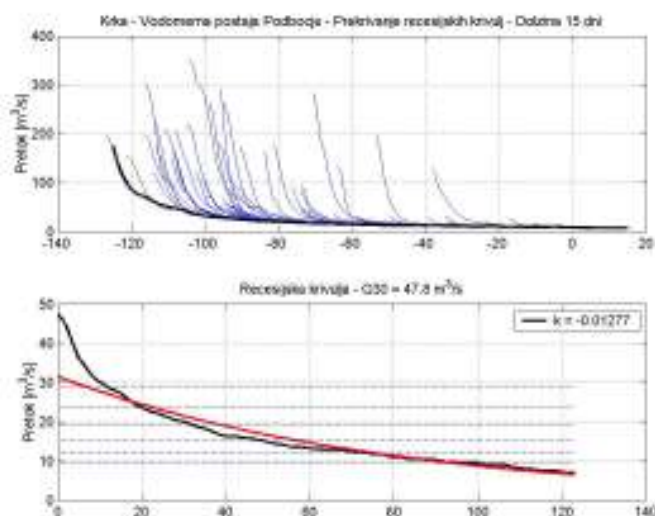


Slika 24. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Veliko Širje na Savinji.

Figure 24. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Savinja River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

#### 4.1.1.9 Krka – VP Podbočje

Na podlagi avtomatskega prekrivanja vsaj 15 dni trajajočih recesijskih delov hidrograma za vodomerno postajo Podbočje na Krki je bila določena vrednost recesijskega koeficienta 0.01277 (Slika 25).



Slika 25. Avtomatsko prekrivanje recesijskih delov hidrogramov in razvoj glavne recesijske krivulje za VP Podbočje na Krki.

Figure 25. Results of the automated overlaying and superposition of individual recession segments for the data for the Krka River—a master recession curve and its recession coefficient  $k$ .

#### 4.1.2 Modeli napovedi s spremenljivo vrednostjo recesijskega koeficienta $k$

Na podlagi uporabe metode strojnega učenja M5 sem za vsako vodomerno postajo razvili regresijsko drevo, ki predstavlja model variabilnega recesijskega koeficienta  $k$ . Ta se ob uporabi v enačbi (1) uporabi za izdelavo 7-dnevne napovedi nizkih pretokov:

$$Q_{t+n} = Q_t \cdot e^{-k \cdot n} \quad (1)$$

kjer predstavljajo  $Q_t$  in  $Q_{t+n}$  srednji dnevni pretok na posamezni vodomerni postaji v dnevih  $t$  in  $t+n$ ,  $n$  število dni vnaprej, za katero se izdelava napoved (npr. za 1 dan vnaprej  $n = 1$ ), in  $k$  recesijski koeficient konstantne vrednosti.

##### 4.1.2.1 Sava Dolinka – VP Jesenice

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Savi Dolinki – VP Jesenice:

```

dQ <= 0.301 :
| dQ <= 0.241 :
| | dQ <= 0.212 : k = 0.00463
| | dQ > 0.212 : k = 0.0083
| dQ > 0.241 : k = 0.0143
dQ > 0.301 :
| dQ <= 0.624 :
| | Qt <= 7.64 : k = 0.0130
| | Qt > 7.64 : k = 0.0211
| dQ > 0.624 : k = 0.0283
    
```

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Jesenice se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,212 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,00463$ ;
2. če je  $dQ$  večji od  $0,212 \text{ m}^3/\text{s}$  ter manjši ali enak  $0,241 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0083$ ;
3. če je  $dQ$  večji od  $0,241 \text{ m}^3/\text{s}$  ter manjši ali enak  $0,301 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0143$ ;
4. če je  $dQ$  večji od  $0,301 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $0,624 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  manjši od  $7.64 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0130$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $0,301 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $0,624 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $7.64 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0211$ ;
6. če je  $dQ$  večji od  $0,624 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0283$ ;

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelava 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Jesenice, je enaka  $Q_{30} = 10,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.2 Radovna – VP Podhom

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Radovni – VP Podhom:

```
dQ <= 0.207 :  
| dQ <= 0.123 :  
| | Qt <= 2.2 : k = 0.0081  
| | Qt > 2.2 : k = 0.0173  
| dQ > 0.123 : k = 0.0258  
dQ > 0.207 :  
| dQ <= 0.554 : k = 0.0352  
| dQ > 0.554 : k = 0.0577
```

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Podhom se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,123 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  manjši od  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0081$ ;
2. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,123 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  večji od  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0173$ ;
3. če je  $dQ$  večji od  $0,123 \text{ m}^3/\text{s}$  ter manjši ali enak  $0,207 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0258$ ;
4. če je  $dQ$  večji od  $0,207 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $0,554 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0352$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $0,554 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0577$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelava 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Podhom, je enaka  $Q_{30} = 7,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.3 Sava Bohinjka – VP Bodešče

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Savi Bohinjki – VP Bodešče:

```
dQ <= 1.52 :  
| dQ <= 0.727 :  
| | Qt <= 6.52 : k = 0.0269  
| | Qt > 6.52 : k = 0.0418  
| dQ > 0.727 : k = 0.0548  
dQ > 1.52 :  
| dQ <= 3.18 : k = 0.0752  
| dQ > 3.18 : k = 0.0990
```

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Bodešče se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,727 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  manjši od ali enak  $6,52 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0269$ ;
2. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,727 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  večji od  $6,52 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0418$ ;
3. če je  $dQ$  večji od  $0,727 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $1,520 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0548$ ;
4. če je  $dQ$  večji od  $1,520 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $3,180 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0752$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $3,180 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0990$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelava 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Bodešče je enaka  $Q_{30} = 19,3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.4 Tržiška Bistrica – VP Preska

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Tržiški Bistrici – VP Preska:

```
dQ <= 0.342 : k = 0.0186  
dQ > 0.342 :  
| Qt <= 4.4 :  
| | Qt <= 4.06 : k = 0.0469  
| | Qt > 4.06 : k = 0.0268  
| Qt > 4.4 :  
| | dQ <= 1.48 : k = 0.0422  
| | dQ > 1.48 : k = 0.0603
```

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Preska se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,342 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0186$ ;
2. če je  $dQ$  večji od  $0,342 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  manjši od ali enak  $4,06 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0469$ ;
3. če je  $dQ$  večji od  $0,342 \text{ m}^3/\text{s}$  ter  $Q_t$  večji od  $4,06 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0268$ ;

4. če je  $dQ$  večji od  $0,342 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši ali enak  $1,48 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0422$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $1,48 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  večji od  $4,4 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0603$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelata 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Preska je enaka  $Q_{30} = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.5 Sora – VP Medvode

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Sori – VP Medvode:

```
dQ <= 0.91 :
|   Qt <= 12.1 :
|   |   Qt <= 9.3 : k = 0.0121
|   |   Qt > 9.3 : k = 0.0200
|   Qt > 12.1 : k = 0.0310
dQ > 0.91 :
|   Qt <= 14.2 : k = 0.0377
|   Qt > 14.2 :
|   |   dQ <= 1.67 : k = 0.0423
|   |   dQ > 1.67 : k = 0.0577
```

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Medvode se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  manjši od ali enak  $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0121$ ;
2. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  večji od  $9,3 \text{ m}^3/\text{s}$  ter manjši od ali enak  $12,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0200$ ;
3. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  večji od  $12,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0310$ ;
4. če je  $dQ$  večji od  $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  manjši od ali enak  $14,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0377$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $0,91 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od  $1,67 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $14,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0423$ ;
6. če je  $dQ$  večji od  $1,67 \text{ m}^3/\text{s}$  in  $Q_t$  večji od  $14,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0577$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelata 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Medvode je enaka  $Q_{30} = 22,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.6 Ljubljana – VP Moste

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Ljubljani – VP Moste:

```
Qt <= 26.6 : k = 0.0356
Qt > 26.6 :
|   dQ <= 2.67 : k = 0.0511
|   dQ > 2.67 :
|   |   dQ <= 6.76 : k = 0.0581
```

$$| \quad | \quad dQ > 6.76 : k = 0.0768$$

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Moste se uporabi na naslednji način:

1. če je  $Q_t$  manjši od ali enak  $26,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0356$ ;
2. če je  $Q_t$  večji od  $26,6 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $dQ$  manjši od ali enak  $2,67 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0511$ ;
3. če je  $Q_t$  večji od  $26,6 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $dQ$  večji od  $2,67 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $6.76 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0581$ ;
4. če je  $Q_t$  večji od  $26,6 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $dQ$  večji od  $6,76 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0768$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelava 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Moste je enaka  $Q_{30} = 58,4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.7 Sava – VP Hrastnik

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Savi – VP Hrastnik:

$$\begin{array}{l} dQ \leq 16.7 : \\ | \quad dQ \leq 5.05 : \\ | \quad | \quad Q_t \leq 83.3 : \\ | \quad | \quad | \quad dQ \leq 2.34 : k = 0.0344 \\ | \quad | \quad | \quad dQ > 2.34 : k = 0.0177 \\ | \quad | \quad | \quad Q_t > 83.3 : \\ | \quad | \quad | \quad | \quad Q_t \leq 142 : k = 0.0479 \\ | \quad | \quad | \quad | \quad Q_t > 142 : \\ | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad dQ \leq 3.55 : k = 0.0479 \\ | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad dQ > 3.55 : \\ | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad Q_t \leq 148 : k = 0.0531 \\ | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad | \quad Q_t > 148 : k = 0.1110 \\ | \quad dQ > 5.05 : k = 0.0460 \\ dQ > 16.7 : k = 0.0740 \end{array}$$

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Hrastnik se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $2,34 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  manjši od ali enak  $83,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0344$ ;
2. če je  $dQ$  večji od  $2,34 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $5,05 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  manjši od ali enak  $83,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0177$ ;
3. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $5,05 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  večji od  $83,3 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $142 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0479$ ;
4. če je  $dQ$  manjši od  $3,55 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $142 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi prav tako uporabi koeficient  $k = 0,0479$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $3,55 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $5,05 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $142 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $148 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi prav tako uporabi koeficient  $k = 0,0531$ ;

6. če je  $dQ$  večji od  $3,55 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $5,05 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $148 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi prav tako uporabi koeficient  $k = 0,1110$ ;
7. če je  $dQ$  večji od  $5,05 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $16,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi prav tako uporabi koeficient  $k = 0,0460$ ;
8. če je  $dQ$  večji od  $16,7 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi prav tako uporabi koeficient  $k = 0,0740$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelava 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Hrastnik je enaka  $Q_{30} = 164 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.8 Savinja – VP Veliko Širje

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Savinji – VP Veliko Širje:

```
dQ <= 2.78 :
|   Qt <= 23 :
|   |   dQ <= 0.783 : k = 0.0259
|   |   dQ > 0.783 : k = 0.0372
|   Qt > 23 : k = 0.0510
dQ > 2.78 :
|   dQ <= 6.84 : k = 0.0617
|   dQ > 6.84 : k = 0.0938
```

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Veliko Širje se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od  $0.783 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_t$  pa manjši od  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0.0259$ ;
2. če je  $dQ$  večji od  $0.783 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od  $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_t$  pa manjši od  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0.0372$ ;
3. če je  $dQ$  manjši od  $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q_t$  pa večji od  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0.0510$ ;
4. če je  $dQ$  večji od  $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od  $6.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0.0617$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $6.84 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0.0938$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdelava 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Moste je enaka  $Q_{30} = 37,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.2.9 Krka – VP Podbočje

Model oziroma regresijsko drevo recesijskega koeficienta za 7-dnevno napoved sušnih pretokov na Krki – VP Podbočje:

```
dQ <= 2.38 :
|   Qt <= 19.8 :
|   |   Qt <= 12 : k = 0.0124
|   |   Qt > 12 : k = 0.0249
|   Qt > 19.8 :
|   |   dQ <= 1.1 : k = 0.0312
```

		$dQ > 1.1$	: $k = 0.0401$
$dQ >$		$2.38$	:
		$dQ \leq 3.88$	: $k = 0.0505$
		$dQ > 3.88$	:
		$dQ \leq 7.76$	: $k = 0.0692$
		$dQ > 7.76$	: $k = 0.0914$

Model recesijskega koeficienta  $k$  za VP Podbočje se uporabi na naslednji način:

1. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  manjši od ali enak  $12,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0124$ ;
2. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $12,0 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0249$ ;
3. če je  $dQ$  manjši od ali enak  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$  in je  $Q_t$  večji od  $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0312$ ;
4. če je  $dQ$  večji od  $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$  ter je  $Q_t$  večji od  $19,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0401$ ;
5. če je  $dQ$  večji od  $2,38 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $3,88 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0505$ ;
6. če je  $dQ$  večji od  $3,88 \text{ m}^3/\text{s}$  in manjši od ali enak  $7,76 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0692$ ;
7. če je  $dQ$  večji od  $7,76 \text{ m}^3/\text{s}$ , potem se v enačbi (1) za izdelavo napovedi uporabi koeficient  $k = 0,0914$ .

Maksimalna vrednost pretoka, pri kateri se lahko izdela 7-dnevna napoved za vodomerno postajo Podbočje, je enaka  $Q_{30} = 47,8 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### 4.1.3 Analiza obnašanja modelov

Modeli 7-dnevne napovedi srednjega dnevnega pretoka v sušnih obdobjih so bili testirani na podatkih o srednjih dnevni pretokih iz leta 2003 (Preglednica 9). Tako je bil model napovedi nizkih pretokov na VP Jesenice na Savi Dolinki verificiran na petih daljših sušnih oziroma recesijskih obdobjih v letu 2003; model napovedi za VP Podhom na Radovni je bil verificiran na sedmih daljših recesijskih obdobjih v letu 2003; model napovedi za VP Bodešče na Savi Bohinjki je bil verificiran na petih daljših recesijskih obdobjih v letu 2003; model napovedi za VP Presko na Tržiški Bistrici je bil verificiran na enem samem daljšem recesijskem obdobju v letu 2003; model napovedi za VP Medvode na Sore je bil verificiran na desetih daljših recesijskih obdobjih v letu 2003; model napovedi za VP Moste na Ljubljani je bil verificiran na petih daljših recesijskih obdobjih v letu 2003; model napovedi za VP Hrastnik na Savi je bil verificiran na šestih daljših recesijskih obdobjih v letu 2003; model napovedi za VP Veliko Širje na Savinji je bil verificiran na šestih daljših recesijskih obdobjih v letu 2003; model napovedi za VP Podbočje na Krki pa je bil verificiran na petih daljših recesijskih obdobjih v letu 2003.

Za vsako izbrano sušno obdobje sem za vsak dan kontinuirano simuliral 7-dnevno napoved in jo primerjal z dejansko dinamiko spremembe pretoka v naslednjih 7 dneh. Za vsako tako obdobje sta bili za vse izdelane napovedi izračunani povprečna absolutna in povprečna



relativna napaka. Povprečna napaka vseh testnih obdobji za posamezno vodomerno postajo je prikazana v Preglednici 9.

*Preglednica 9. Primerjava rezultatov M5 pristopa z variabilnim recesijskim koeficientom in klasičnega pristopa s konstantnim recesijskim koeficientom.*

*Table 9. Comparison of the performance statistics for both type of low flow forecasting models.*

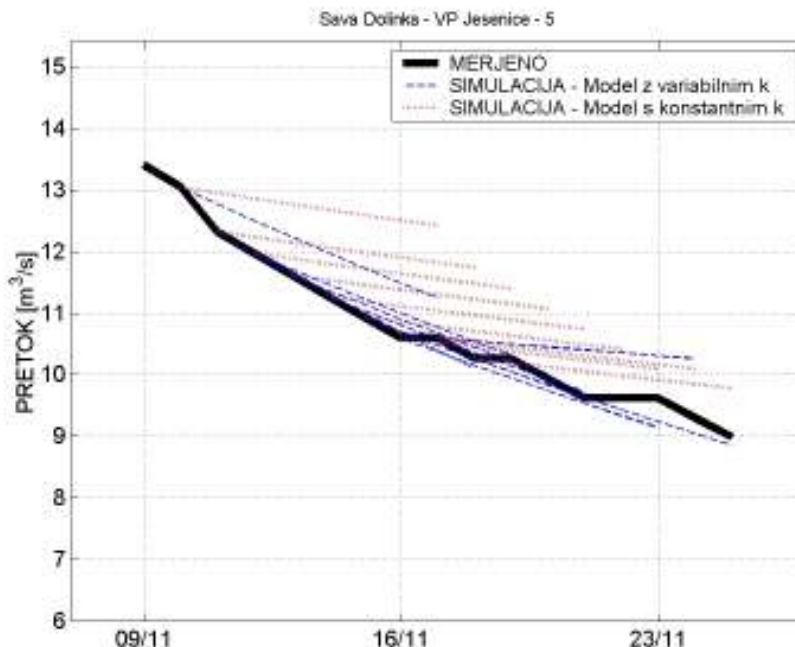
Reka	Vodomerna postaja	Povprečna napaka [%] na vseh testnih obdobjih	
		M5 pristop - variabilni k	klasični pristop - konstantni k
Sava Dolinka	Jesenice	3.3	4.1
Radovna	Podhom	4.8	9.8
Sava Bohinjka	Bodešče	10.8	23.6
Tržiška Bistrica	Preska	1.9	2.4
Sora	Medvode	5.8	12.4
Ljubljana	Moste	6.4	9.5
Sava	Hrastnik	11.2	17.6
Savinja	Veliko Širje	6.0	13.1
Krka	Podbočje	7.9	21.8

Primerjava natančnosti modelov pokaže, da je model z variabilnim recesijskim koeficientom večinoma precej bolj natančen kot model s konstantnim recesijskim koeficientom (Preglednica 9). Medtem ko je relativna povprečna napaka pri napovedih z modelom s konstantnim recesijskim koeficientom znašala tudi do 45 % (primer za obdobje #1 na VP Bodešče in obdobje #6 za VP Hrastnik), pa je-ta v večini primerov za model s spremenljivim k precej nižja in večinoma do 10% (Preglednica 9). Modeli napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom se dovolj dobro obnašajo šele pri precej nizkih vrednosti pretokov na posameznih vodomernih postajah, ki pa seveda nastopijo precej redko. Zaradi možnosti uporabe modelov napovedi s konstantnim recesijskim koeficientom le v precej redkih situacijah, so le-ti precej neuporabni za uporabo v praksi, nam pa lahko podajo informacijo zalogah podzemne vode v porečju posameznega vodotoka.

Iz strukture modelov recesijskega koeficienta k v obliki regresijskih dreves pa se da razbrati tudi naslednje:

- razviti modeli so povsem v skladu s pričakovanji, saj s povečevanjem razlike v vrednosti srednjega pretoka med včeraj in danes ( $dQ$  v modelu) raste tudi absolutna vrednost recesijskega koeficienta k;
- prav tako se v strukturnih delih modelov, kjer se kot odločitveni kriterij pojavi  $Q_t$ , vidi, da je absolutna vrednost recesijskega koeficienta večja pri višjih vrednoti  $Q_t$ ;
- v modelu kot prvi oziroma odločitveni kriterij delitve drevesa prevladuje atribut  $dQ$  (razen pri VP Moste na Ljubljani), kar pomeni, da variiranje recesijskega koeficienta ni v toliki meri odvisno od vrednosti srednjega dnevnega pretoka v dnevni izdelavi napovedi ( $Q_t$ ), temveč da je  $dQ$  boljši indikator dogajanja v naslednjih 7 dneh kot pa vrednost srednjega dnevnega pretoka  $Q_t$ .

#### 4.1.3.1 Sava Dolinka – VP Jesenice



Slika 26. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Jesenice na Savi Dolinki.

Figure 26. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sava Dolinka River.

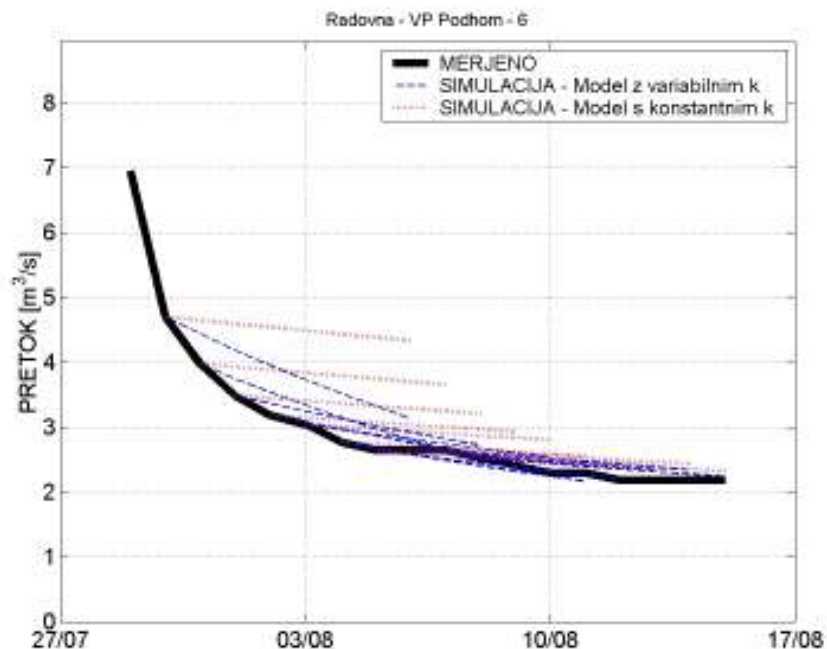
Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangi od 2,10 do 4,54%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 1,87 do 6,73% (Slika 26, Preglednica 10).

Preglednica 10. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Jesenice.

Table 10. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sava Dolinka River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	0.44	4.44	0.33	3.31
2	0.34	4.54	0.51	6.61
3	0.17	2.77	0.11	1.91
4	0.11	2.10	0.10	1.87
5	0.26	2.52	0.70	6.73

#### 4.1.3.2 Radovna – VP Podhom



Slika 27. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Podhom na Radovni.

Figure 27. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Radovna River.

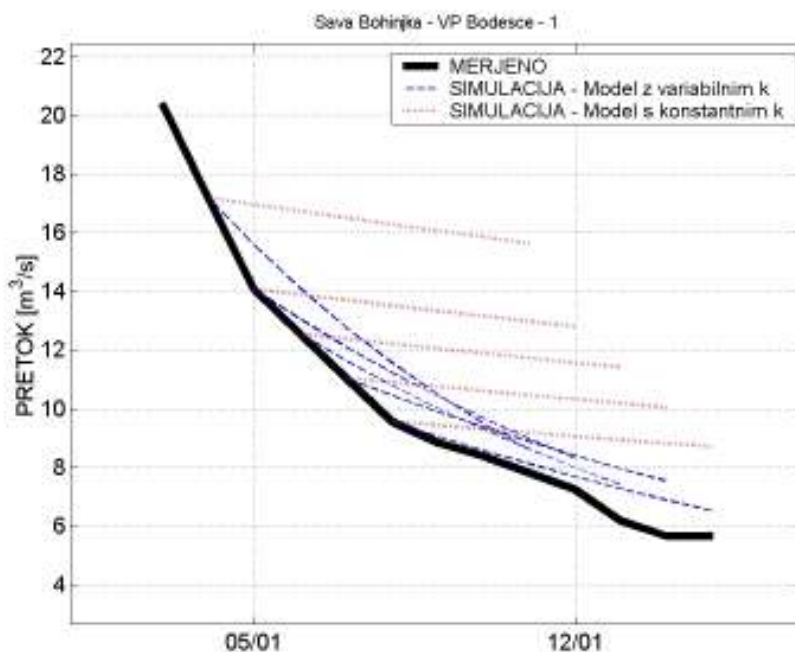
Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangu od 2,12 do 7,44%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 3,01 do 19,28% (Slika 27, Preglednica 11).

Preglednica 11. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Podhom.

Table 11. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Radovna River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	0.14	3.41	0.43	10.24
2	0.12	3.73	0.24	7.43
3	0.04	2.12	0.06	3.01
4	0.11	5.21	0.20	9.59
5	0.13	4.50	0.09	3.09
6	0.20	7.44	0.44	16.29
7	0.17	7.11	0.46	19.28

### 4.1.3.3 Sava Bohinjka – VP Bodešče



Slika 28. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Bodešče na Savi Bohinjki.

Figure 28. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sava Bohinjka River.

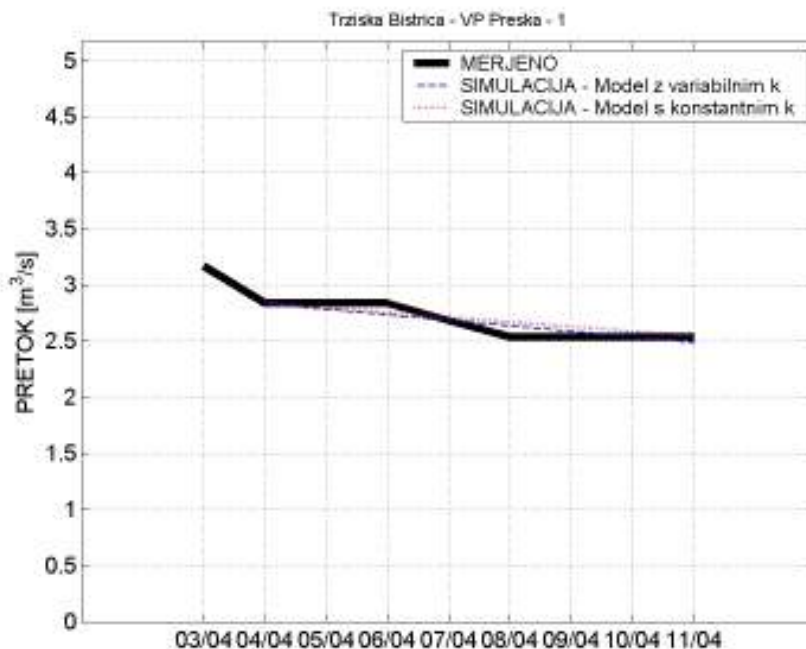
Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangi od 8,13 do 13,58%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 11,77 do 45,20% (Slika 28, Preglednica 12).

Preglednica 12. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Bodešče.

Table 12. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sava Bohinjka River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	1.10	13.58	3.63	45.20
2	0.44	10.62	0.69	16.54
3	0.53	9.45	0.66	11.77
4	1.23	12.27	2.51	25.84
5	0.42	8.13	0.97	18.67

#### 4.1.3.4 Tržiška Bistrica – VP Preska



Slika 29. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Preska na Tržiški Bistrici.

Figure 29. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Trziska Bistrica River.

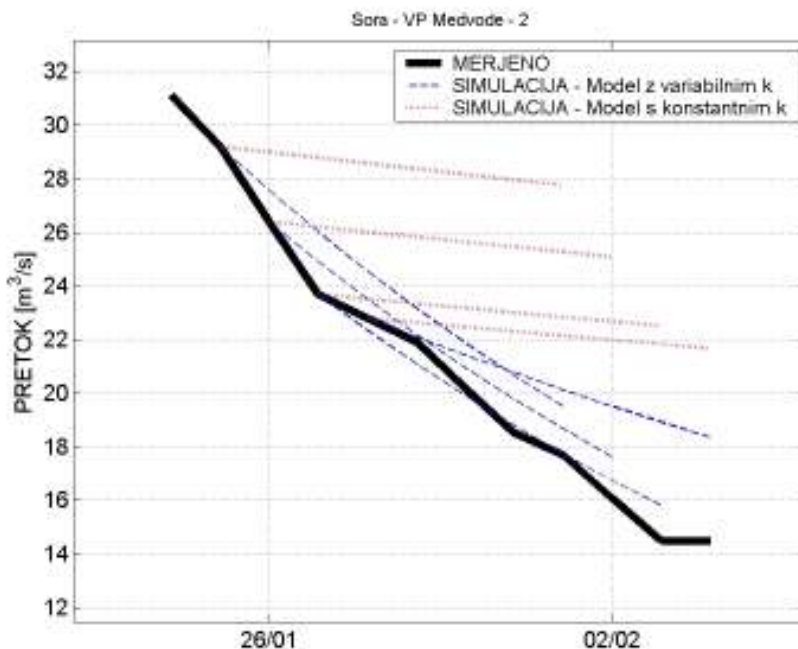
Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila 1,89%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnem obdobju v letu 2003 znašala 2,42% (Slika 29, Preglednica 13).

Preglednica 13. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Preska.

Table 13. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Trziska Bistrica River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	0.05	1.89	0.06	2.42

#### 4.1.3.5 Sora – VP Medvode



Slika 30. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Medvode na Sori.

Figure 30. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sora River.

Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangi od 3,72 do 9,92%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 2,83 do 31,32% (Slika 30, Preglednica 14).

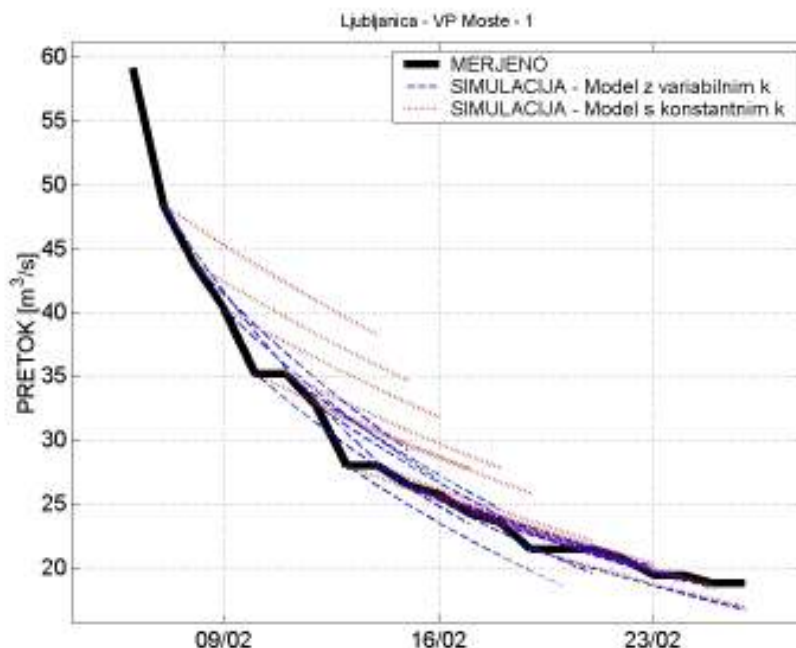
Preglednica 14. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Medvode.

Table 14. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sora River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	0.85	4.70	2.41	13.14
2	1.45	8.13	5.26	28.99
3	0.49	4.79	0.93	8.80
4	0.57	4.61	1.45	12.36
5	1.60	9.92	4.87	31.32
6	0.38	4.11	0.81	8.79
7	0.34	5.49	0.45	7.15
8	0.43	7.71	0.16	2.83
9	0.27	4.53	0.36	6.10

10	0.20	3.72	0.23	4.31
----	------	------	------	------

#### 4.1.3.6 Ljubljana – VP Moste



Slika 31. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Moste na Ljubljani.

Figure 31. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Ljubljana River.

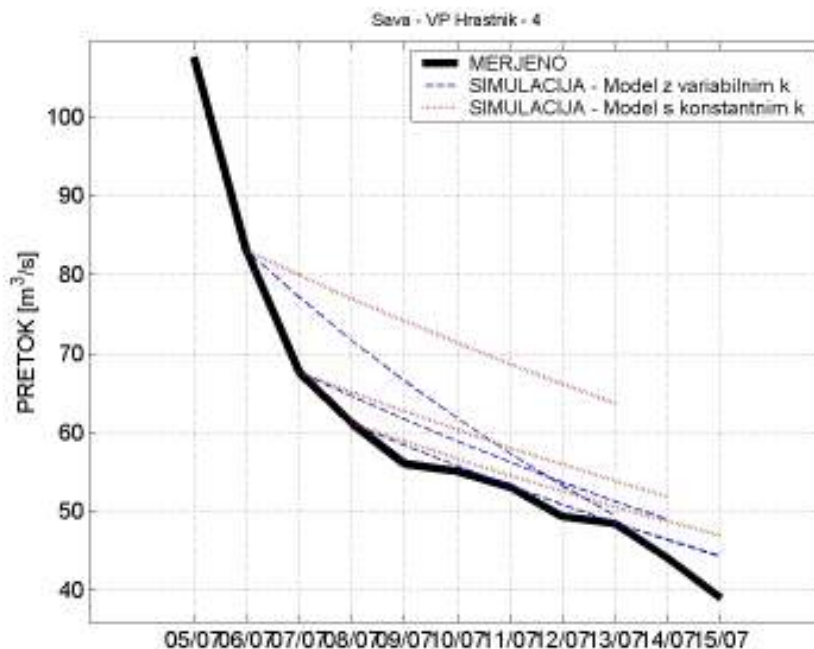
Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangu od 4,51 do 11,04%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 5,27 do 15,66% (Slika 31, Preglednica 15).

Preglednica 15. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Moste.

Table 15. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Ljubljana River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	1.26	4.89	2.59	9.48
2	1.74	5.74	4.52	15.66
3	0.95	4.51	1.13	5.27
4	0.82	11.04	0.88	11.90
5	0.36	6.01	0.32	5.37

#### 4.1.3.7 Sava – VP Hrastnik



Slika 32. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Hrastnik na Savi.

Figure 32. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Sava River.

Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangu od 4,23 do 28,19%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 4,03 do 43,59% (Slika 32, Preglednica 16).

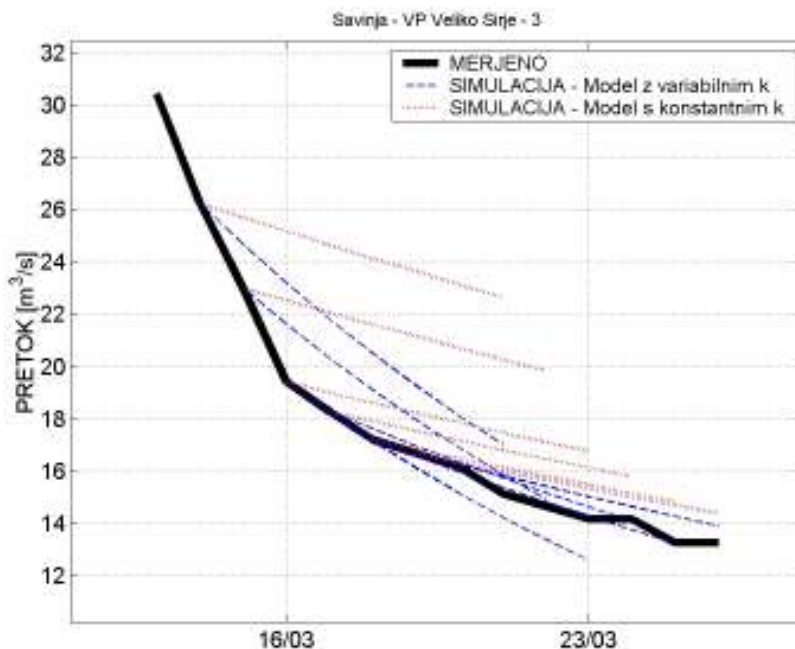
Preglednica 16. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Hrastnik.

Table 16. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Sava River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	16.12	12.84	17.26	13.67
2	13.07	9.77	29.26	22.43
3	3.77	4.42	5.02	6.27
4	4.15	7.75	8.31	15.84
5	1.62	4.23	1.53	4.03
6	18.57	28.19	28.05	43.59



#### 4.1.3.8 Savinja – VP Veliko Širje



Slika 33. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Veliko Širje na Savinji.

Figure 33. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Savinja River.

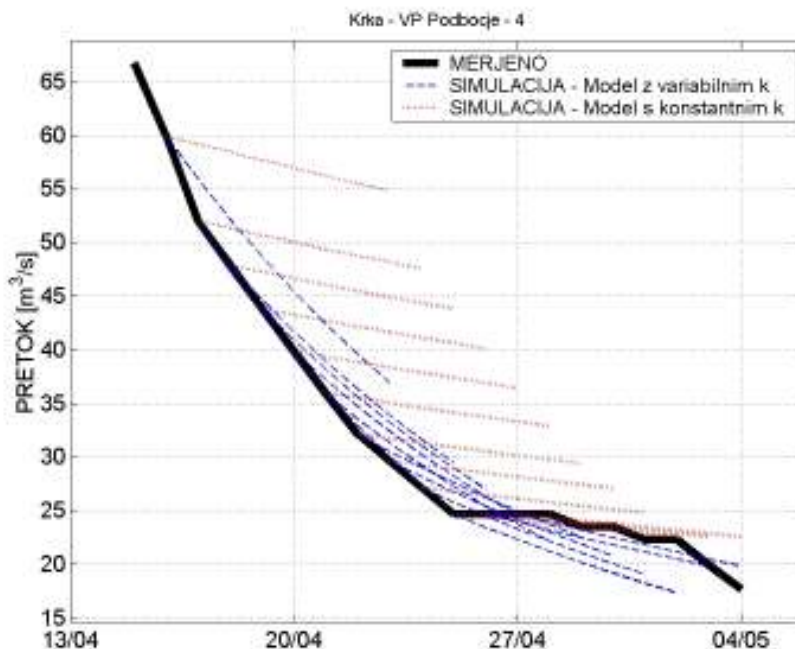
Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangi od 3,08 do 8,82%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 9,99 do 17,41% (Slika 33, Preglednica 17).

Preglednica 17. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Veliko Širje.

Table 17. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Savinja River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	0.78	3.08	2.78	11.29
2	1.70	8.82	2.54	13.09
3	0.99	5.96	2.60	16.07
4	0.93	4.41	2.06	9.99
5	0.50	8.00	0.67	10.87
6	1.49	5.67	4.30	17.41

#### 4.1.3.9 Krka – VP Podbočje



Slika 34. Primerjava in preveritev modelov napovedi s konstantnim in modelov napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom na podatkih o nizkih pretokih iz leta 2003 na VP Podbočje na Krki.

Figure 34. Verification and comparison of the low flow forecasting models with constant- and variable recession coefficients for the Krka River.

Napaka modela napovedi nizkih pretokov s spremenljivim recesijskim koeficientom je bila v rangi od 6,68 do 9,38%, medtem ko je napaka modela napovedi nizkih pretokov s konstantnim recesijskim koeficientom na testnih obdobjih v letu 2003 znašala med 11,07 do 32,91% (Slika 34, Preglednica 18).

Preglednica 18. Primerjava natančnosti modelov s spremenljivim in modelov s konstantnim recesijskim koeficientom za VP Podbočje.

Table 18. Comparison of the performance of the models with a variable and constant recession coefficient for the Krka River.

# obdobja	Model - spremenljivi k		Model - konstantni k	
	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]	dQ <sub>AVG</sub> [m <sup>3</sup> /s]	dQ <sub>AVG</sub> [%]
1	2.71	6.68	9.42	22.84
2	1.97	6.77	5.12	18.17
3	3.09	8.48	11.53	32.91
4	2.21	8.00	6.89	23.79
5	0.93	9.38	1.09	11.07

## 4.2 Modeli napovedi na vtokih v posamezne hidroelektrarne

### 4.2.1 Faza 1

#### 4.2.1.1 Sava – HE Moste

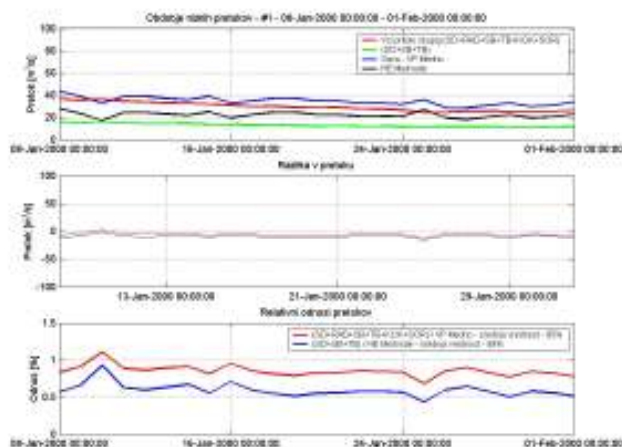
Model 7-dnevne napovedi sušnega pretoka na vtoku v HE Moste je zgrajen na podlagi podatka o napovedi oziroma pretoku na Savi Dolinki na VP Jesenice, h kateremu se doda 5% vrednosti pretoka, kar naj bi predstavljalo prispevek prispevnega območja Save Dolinke med VP Jesenice in vtokom v HE Moste.

#### 4.2.1.2 Sava – HE Mavčiče in HE Medvode

Ker so morebitni vhodni podatki, ki lahko vplivajo na vrednost srednjega dnevnega pretoka na vtoku v HE Mavčiče lahko samo srednji dnevni pretoki na Savi Dolinki (VP Jesenice), Savi Bohinjki (VP Bodešče) in Tržiški Bistrici (VP Preska), je bilo potrebno model zgraditi na podlagi napovedi na samo treh postajah. Najbolj točno napoved bi se dalo izdelati, če bi za 7 dni vnaprej točno poznal režim upravljanja na HE Moste, ki bi služil kot najbolj pomemben vhodni podatek o pretoku na vtoku v HE Mavčiče, vendar le-tega podatka ni bilo na razpolago. Zato sem analiziral sinhrona sušna-recesijska hidrološka obdobja na Savi Dolinki, Savi Bohinjki in Tržiški Bistrici v primerjavi s podatki o srednjih dnevni pretokih na vtoku v HE Mavčiče, ki sem ga ocenil na podlagi podatkov ARSO za vodomerno postajo Medno na Savi in podatkov ARSO za vodomerno postajo Medvode na Sori. Predpostavil sem, da vrednost srednjega dnevnega pretoka na vtoku v HE Mavčiče predstavlja razlika med podatkom z VP Medno in VP Medvode.

Ker je v trenutku izdelave napovedi zaradi različnih razlogov podatek s posamezne vodomerne postaje na pritoku Save pod HE Moste (VP Bodešče ali VP Preska) lahko nedostopen, sem na podlagi analize istočasnih recesijskih obdobja izdelal empirične odnose med kombinacijami vodomernih postaj in dobil naslednje rezultate:

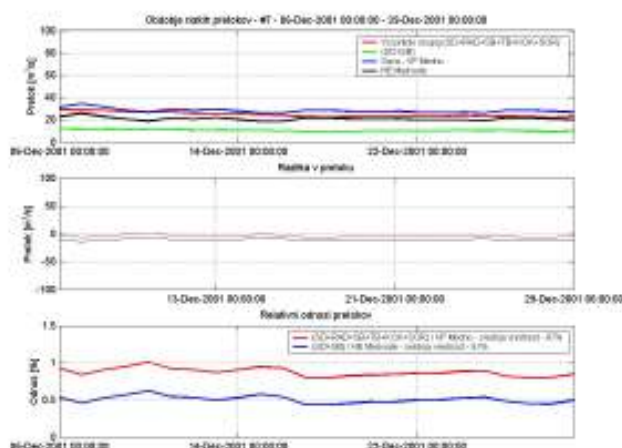
- če so dostopni podatki z vseh treh vodomernih postaj, predstavlja vsota sušnih pretokov na vseh treh vodomernih postajah 62.0% pretoka na vtoku v HE Mavčiče (Slika 35);



*Slika 35. Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki, Savi Bohinjki in Tržiški Bistrici v primerjavi s sušnim srednjim dnevni pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode.*

*Figure 35. Empirical analysis of the Sava Dolinka, Sava Bohinjka and Trziska Bistrica versus HPP Mavcice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts.*

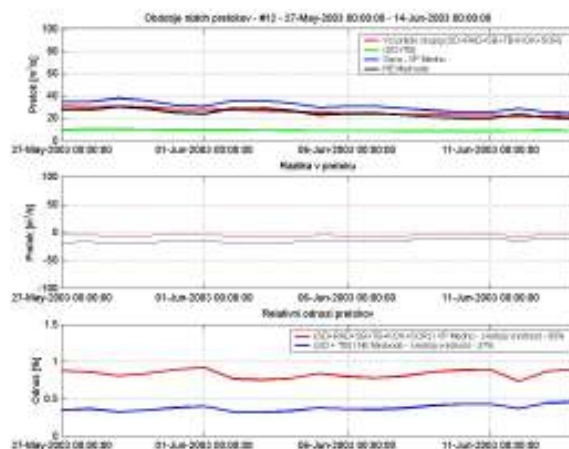
- če so dostopni podatki z dveh vodomernih postaj – VP Jesenice in VP Bodešče (ni pa podatka o pretoku na VP Preska na Tržiški Bistrici), predstavlja vsota sušnih pretokov na teh dveh vodomernih postajah 50.2% pretoka na vtoku v HE Mavčiče (Slika 36);



*Slika 36. Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki in Savi Bohinjki v primerjavi s sušnim srednjim dnevni pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode.*

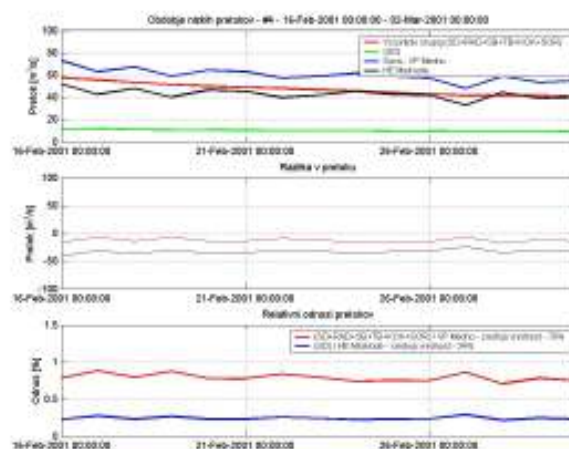
*Figure 36. Empirical analysis of the Sava Dolinka and Sava Bohinjka versus HPP Mavcice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts.*

- če so dostopni podatki z dveh vodomernih postaj – VP Jesenice in VP Preska (ni pa podatka o pretoku na VP Bodešče na Savi Bohinjki), predstavlja vsota sušnih pretokov na teh dveh vodomernih postajah 36.9% pretoka na vtoku v HE Mavčiče (Slika 37);
- če so dostopni podatki z dveh vodomernih postaj – VP Bodešče in VP Preska (ni pa podatka o pretoku na VP Jesenice na Savi Dolinki), predstavlja vsota sušnih pretokov na teh dveh vodomernih postajah 36.7% pretoka na vtoku v HE Mavčiče;
- če je dostopen samo podatek z ene vodomerne postaje – VP Jesenice (ni pa podatka o pretoku na VP Bodešče na Savi Bohinjki in podatka o pretoku na VP Preska na Tržiški Bistrici), predstavlja sušni pretok na tej vodomerni postaji 25.2% pretoka na vtoku v HE Mavčiče (Slika 38);



Slika 37. Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki in Tržiški Bistrici v primerjavi s sušnim srednjim dnevni pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode.

Figure 37. Empirical analysis of the Sava Dolinka and Trziska Bistrica versus HPP Mavčice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts.



Slika 38. Empirična analiza odnosa vsote sušnih srednjih dnevni pretokov na Savi Dolinki v primerjavi s sušnim srednjim dnevni pretokom na HE Mavčiče in HE Medvode.

Figure 38. Empirical analysis of the Sava Dolinka versus HPP Mavčice mean daily flow relation at the time of hydrological droughts.

- če je dostopen samo podatek z ene vodomerne postaje – VP Bodešče (ni pa podatka o pretoku na VP Jesenice na Savi Dolinki in podatka o pretoku na VP Preska na Tržiški Bistrici), predstavlja sušni pretok na tej vodomeri postaji 25.0% pretoka na vtoku v HE Mavčiče;
- če je dostopen samo podatek z ene vodomerne postaje – VP Preska (ni pa podatka o pretoku na VP Jesenice na Savi Dolinki in podatka o pretoku na VP Bodešče na savi

Bohinjki), predstavlja sušni pretok na tej vodomerni postaji 11.7% pretoka na vtoku v HE Mavčiče.

#### 4.2.1.3 Sava – HE Vrhovo

Model 7-dnevne napovedi sušnega pretoka na vtoku v HE Vrhovo je zgrajen s seštevanjem sušnih pretokov na Savi na VP Hrastnik in na Savinji na VP Veliko Širje.

### 4.2.2 Faza 2

#### 4.2.2.1 Sava – HE Moste

Model napovedi vrednosti vtoka v akumulacijo HE Moste temelji na podatku, ki ga generira model napovedi za vodomerno postajo Jesenice na Savi Dolinki. Razvita sta bila dva modela; prvi je v bistvu linearna funkcija podatka z VP Jesenice, drugi pa je modelno drevo, ki glede na vrednost pretoka na VP Jesenice loči dve veji oziroma linearni funkciji. Za razvoj modela, ki povezuje vrednosti pretoka na vodomerni postaji Jesenice s podatkom na hidroelektrarni Moste, so bili uporabljeni podatki Agencije RS za okolje in Savskih elektrarn za leto 2004 in obdobje od januarja do vključno septembra 2005, verifikacija modela pa je bila izvedena na podatkih za obdobja od oktobra do decembra leta 2005 in leta 2006.

Model #1 je v bistvu linearna funkcija vrednosti pretoka na vodomerni postaji Jesenice na Savi Dolinki in se glasi:

$$\text{Sava\_HE\_Moste} = 1.1804 * \text{Sava\_VP\_Jesenice} + 0.2572$$

Model #2 pa je modelno drevo, ki se glede na vrednost pretoka na vodomerni postaji Jesenice na Savi Dolinki razdeli v dve veji oziroma končna lista, ki se uporabita za generiranje vrednosti pretoka na vtoku v akumulacijo hidroelektrarne Moste:

$$\begin{aligned} \text{Sava\_VP\_Jesenice} \leq 9.735 & : \text{Sava\_HE\_Moste} = 1.0138 * \\ & \text{Sava\_VP\_Jesenice} + 1.5127 \\ \text{Sava\_VP\_Jesenice} > 9.735 & : \text{Sava\_HE\_Moste} = 1.2541 * \\ & \text{Sava\_VP\_Jesenice} - 0.8643 \end{aligned}$$

Ker tako modela napovedi iz faze #2 in model napovedi iz faze #1 v trenutku izdelave 7-dnevne napovedi ne upoštevajo vrednosti pretoka na hidroelektrarni Moste, sem za primerjavo izdelal še korigirane verzije vseh treh modelov napovedi, ki temeljijo na tem, da se vrednosti 7-dnevne napovedi povečajo oziroma zmanjšajo za izračunano vrednost razlike med dejanskim trenutnim pretokom na hidroelektrarni in izračunanim trenutnim pretokom po modelih #1, #2 in #3.

#### 4.2.2.2 Sava – HE Mavčiče in HE Medvode

Zaradi primerjave z razvitim modelom napovedi iz faze 1 sem uporabil podatke z istih vodomernih postaj in jih povezal s podatkom o pretoku na HE Mavčiče. Uporabljeni so bili podatki Agencije RS za okolje z vodomernih postaj Jesenice na Savi Dolinki, Bodešče na Savi Bohinjki in Preska na Tržiški Bistrici v času suš ter povezani s podatki Savskih elektrarn o pretoku na HE Mavčiče. Podatki leta 2004 so bili uporabljeni za razvoj tega modela, podatki sušnih obdobja leta 2005 pa so bili uporabljeni za verifikacijo modela.

Model #1 je v bistvu linearna funkcija vrednosti pretoka na vodomernih postajah Jesenice na Savi Dolinki, Bodešče na Savi Bohinjki in Preska na Tržiški Bistrici in se glasi:

$$\begin{aligned} \text{Sava\_HE\_Mavcice} &= 1.3454 * \text{Sava\_VP\_Jesenice} + 1.2631 * \\ &\text{SavaBohinjka\_VP\_Bodesce} + 3.5724 * \\ &\text{TrziskaBistrica\_VP\_Preska} - 5.984 \end{aligned}$$

Model #2 pa je modelno drevo, ki se glede na vrednost pretoka na vodomerni postaji Bodešče na Savi Bohinjki razdeli v dve veji oziroma končna lista, ki se uporabita za generiranje vrednosti pretoka na vtoku v akumulacijo hidroelektrarne Mavčiče:

$$\begin{aligned} \text{SavaBohinjka\_VP\_Bodesce} \leq 25.725 &: \text{Sava\_HE\_Mavcice} = 1.3517 * \\ &\text{Sava\_VP\_Jesenice} + 0.9553 * \text{SavaBohinjka\_VP\_Bodesce} + \\ &4.6576 * \text{TrziskaBistrica\_VP\_Preska} - 6.0481 \\ \text{SavaBohinjka\_VP\_Bodesce} > 25.725 &: \text{Sava\_HE\_Mavcice} = 1.3582 * \\ &\text{Sava\_VP\_Jesenice} + 1.349 * \text{SavaBohinjka\_VP\_Bodesce} + \\ &3.9563 * \text{TrziskaBistrica\_VP\_Preska} - 15.3445 \end{aligned}$$

Ker tako modela napovedi iz faze #2 in model napovedi iz faze #1 v trenutku izdelave 7-dnevne napovedi ne upoštevajo vrednosti pretoka na hidroelektrarni Mavčiče, sem za primerjavo izdelal še korigirane verzije vseh treh modelov napovedi, ki temeljijo na tem, da se vrednosti 7-dnevne napovedi povečajo oziroma zmanjšajo za izračunano vrednost razlike med dejanskim trenutnim pretokom na hidroelektrarni in izračunanim trenutnim pretokom po modelih #1, #2 in #3.

#### 4.2.2.3 Sava – HE Vrhovo

Za razvoj modela napovedi vtoka v akumulacijo hidroelektrarne Vrhovo so bili uporabljeni podatki Agencije RS za okolje o pretoku v času suš na vodomernih postajah Hrastnik na Savi in Veliko Širje na Savinji in podatki Savskih elektrarn o pretoku na hidroelektrarni Vrhovo za obdobje od leta 2004 in do oktobra 2005. Verifikacija modela je bila izvedena na obdobjih nizkih pretokov v novembru in decembru leta 2005 in leta 2007.

Model #1 je v bistvu linearna funkcija vrednosti pretoka na vodomerni postaji Hrastnik na Savi in vrednosti pretoka na vodomerni postaji Veliko Širje na Savinji in se glasi:

$$\begin{aligned} \text{Sava\_HE\_Vrhovo} &= 1.0123 * \text{Sava\_VP\_Hrastnik} + 1.0708 * \\ &\text{Savinja\_VP\_VelikoSirje} - 8.3962 \end{aligned}$$

Model #2 pa je modelno drevo, ki se glede na vrednost pretoka na vodomerni postaji Hrastnik na Savi razdeli v tri veje oziroma končne liste, ki se uporabijo za generiranje vrednosti pretoka na vtoku v akumulacijo hidroelektrarne Vrhovo:

$$\begin{aligned} \text{Sava\_VP\_Hrastnik} \leq 174.376 &: \\ | \quad \text{Sava\_VP\_Hrastnik} \leq 106.203 &: \text{Sava\_HE\_Vrhovo} = 0.9956 * \\ &\text{Sava\_VP\_Hrastnik} + 0.484 * \text{Savinja\_VP\_VelikoSirje} + \\ &6.9928 \\ | \quad \text{Sava\_VP\_Hrastnik} > 106.203 &: \text{Sava\_HE\_Vrhovo} = 0.9620 * \\ &\text{Sava\_VP\_Hrastnik} + 0.8838 * \text{Savinja\_VP\_VelikoSirje} + \\ &2.7116 \end{aligned}$$

$$\text{Sava\_VP\_Hrastnik} > 174.376 : \text{Sava\_HE\_Vrhovo} = 1.0525 * \\
 \text{Sava\_VP\_Hrastnik} + 1.095 * \text{Savinja\_VP\_VelikoSirje} - \\
 24.7263$$

Ker tako modela napovedi iz faze #2 in model napovedi iz faze #1 v trenutku izdelave 7-dnevne napovedi ne upoštevajo vrednosti pretoka na hidroelektrarni Vrhovo, sem za primerjavo izdelal še korigirane verzije vseh treh modelov napovedi, ki temeljijo na tem, da se vrednosti 7-dnevne napovedi povečajo oziroma zmanjšajo za izračunano vrednost razlike med dejanskim trenutnim pretokom na hidroelektrarni in izračunanim trenutnim pretokom po modelih #1, #2 in #3.

#### 4.2.3 Analiza obnašanja modelov napovedi vtoka v akumulacijo posameznih hidroelektrarn

##### 4.2.3.1 Sava – HE Moste

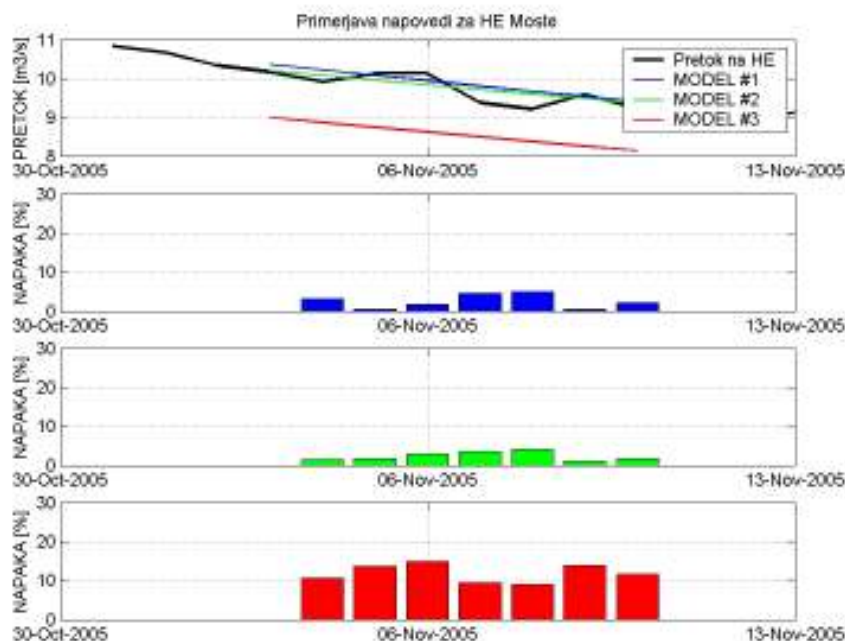
Modeli napovedi so bili testirani in primerjani na 20 primerjih. Iz primerjave natančnosti (Preglednica 19, Slika 39) modelov #1 in #2 iz faze #2 in modela #3 (model iz faze #1) lahko zaključimo, da se je najbolj obnesel model #2, ki je tudi najbolj kompleksen. Model #1 je napovedoval vrednosti 7-dni vnaprej s povprečno napako 7,4% ter minimalno povprečno napako 1,6% in maksimalno povprečno napako 14,2%. Model #2 je napovedoval vrednosti 7-dni vnaprej s povprečno napako 6,3% ter minimalno povprečno napako 2,0% in maksimalno povprečno napako 11,9%. Model #3 je napovedoval vrednosti 7-dni vnaprej s povprečno napako 19,0% ter minimalno povprečno napako 8,1% in maksimalno povprečno napako 26,3%.

*Preglednica 19. Primerjava natančnosti modelov napovedi nizkih pretokov na vtoku v HE Moste.*

*Table 19. Performance statistics of the low flow forecasting models for the HPP Moste.*

Datum izdelave 7-dnevne napovedi	Povprečna napaka modela napovedi [%]					
	Model #1	Model #1 - korigiran	Model #2	Model #2 - korigiran	Model #3	Model #3 - korigiran
28-Oct-2005	5.7	0.6	3.0	1.3	8.1	1.4
29-Oct-2005	4.3	1.8	2.2	2.6	9.4	2.3
30-Oct-2005	1.6	2.5	2.5	1.6	14.2	1.7
03-Nov-2005	2.5	2.2	2.4	2.4	11.9	2.3
08-Nov-2005	2.1	5.6	2.0	4.8	13.9	5.0
...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...
07-Aug-2006	7.5	6.0	7.0	5.4	20.1	5.5
08-Aug-2006	13.2	6.5	11.9	6.0	25.2	6.1
17-Aug-2006	5.4	3.9	4.5	3.5	18.4	3.6
18-Aug-2006	9.5	5.8	7.6	5.4	22.1	5.5
21-Aug-2006	14.2	8.4	11.3	7.7	26.3	7.9
<b>Povprečna vrednost</b>	<b>7.4</b>	<b>5.5</b>	<b>6.3</b>	<b>5.3</b>	<b>19.0</b>	<b>5.3</b>
<b>Minimalna vrednost</b>	<b>1.6</b>	<b>0.6</b>	<b>2.0</b>	<b>1.3</b>	<b>8.1</b>	<b>1.4</b>
<b>Maksimalna vrednost</b>	<b>14.2</b>	<b>11.8</b>	<b>11.9</b>	<b>13.4</b>	<b>26.3</b>	<b>13.0</b>





Slika 39. Primerjava obnašanja modelov napovedi za HE Moste – obdobje november 2005.  
Figure 39. Comparison of the low flow forecasting models' modelling results for the HPP Moste.

Korigirani modeli predstavljajo precejšnjo izboljšavo v vseh treh primerih; tako se povprečna napaka modela #1 s korekcijo zniža s 7,4 na 5,5%, povprečna napaka modela #2 se zniža s 6,3 na 5,3%, izrazito izboljšavo pa je opaziti pri modelu #3, ko se povprečna napaka zniža s 19,0 na 5,3%. Povprečne napake vseh treh modelov postanejo skoraj enake, kar je tudi pričakovano, saj vsi trije modeli napovedi temeljijo na enakih modelih napovedi za vodomerno postajo Jesenice, različni so le linearni koeficienti, ki pa se s premikom v 'nulto' točko v bistvu 'izenačijo'.

#### 4.2.3.2 Sava – HE Mavčiče in HE Medvode

Modeli napovedi so bili testirani in primerjani na 19 primerih iz leta 2005. Iz primerjave natančnosti (Preglednica 20, Slika 40) modelov #1 in #2 iz faze #2 in modela #3 (model iz faze #1) lahko zaključimo, da se je najbolje obnesel model #2, ki je tudi najbolj kompleksen. Model #1 je napovedoval vrednosti 7-dni vnaprej s povprečno napako 11,8% ter minimalno povprečno napako 3,2% in maksimalno povprečno napako 31,8%. Model #2 je napovedoval vrednosti 7-dni vnaprej s povprečno napako 10,8% ter minimalno povprečno napako 3,2% in maksimalno povprečno napako 26,7%. Model #3 je napovedoval vrednosti 7-dni vnaprej najslabše in sicer s povprečno napako 25,1% ter minimalno povprečno napako 10,5% in maksimalno povprečno napako 49,9%.

Zanimivo je, da se pri modelih napovedi za HE Mavčiče korigirani modeli obnašajo enako (Model #1) ali celo slabše (Model #2) kot izvorni modeli, le pri modelu #3 je korekcija predstavljala precejšnjo izboljšavo; tako povprečna napaka modela #1 s korekcijo ostane

enaka, povprečna napaka modela #2 se zviša s 10,8 na 12,9%, izrazito izboljšavo pa je opaziti pri modelu #3, ko se povprečna napaka zniža s 25,1 na 11,4%. Povprečne napake vseh treh modelov postanejo skoraj enake, kar je tudi pričakovano, saj vsi trije modeli napovedi temeljijo na enakih modelih napovedi za vodomerne postaje Jesenice, Bodešče in Preska, različni so le linearni koeficienti, ki pa se s premikom v 'nulto' točko v bistvu 'izenačijo'.

*Preglednica 20. Primerjava natančnosti modelov napovedi nizkih pretokov na vtoku v HE Mavčiče.*

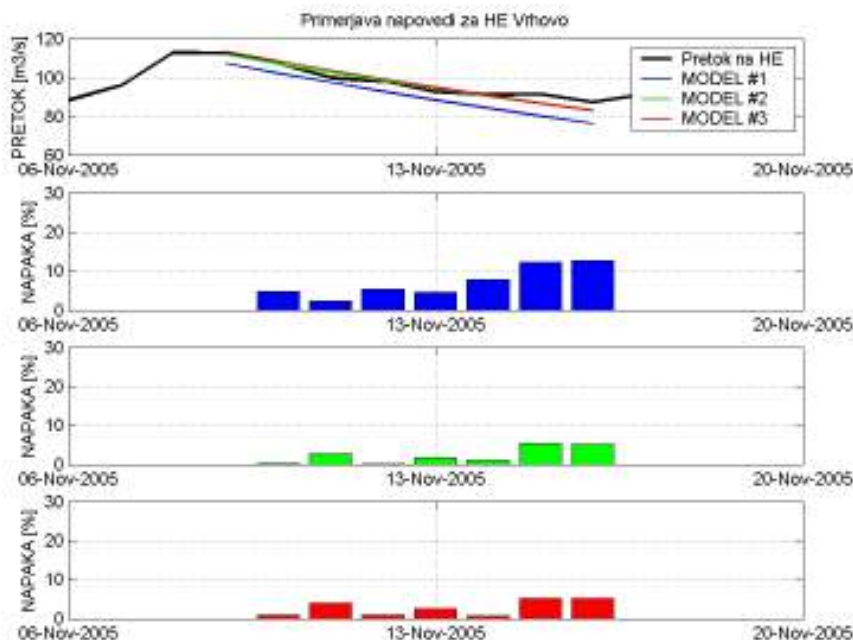
*Table 20. Performance statistics of the low flow forecasting models for the HPP Mavcice.*

Datum izdelave 7-dnevne napovedi	Povprečna napaka modela napovedi [%]					
	Model #1	Model #1 - korigiran	Model #2	Model #2 - korigiran	Model #3	Model #3 - korigiran
01-Jan-2005	15.9	10.5	12.8	10.3	10.5	10.7
02-Jan-2005	18.8	14.1	16.9	14.1	13.3	14.4
07-May-2005	31.8	25.6	26.7	32.0	49.9	19.5
08-May-2005	22.1	12.1	20.7	14.7	41.5	10.6
21-May-2005	13.3	7.6	11.0	10.0	31.1	6.8
22-May-2005	8.4	12.4	8.5	16.2	21.5	9.4
24-May-2005	11.1	11.9	12.2	15.2	28.6	8.8
25-May-2005	7.5	11.0	8.9	13.5	19.1	9.6
26-May-2005	7.1	11.3	7.3	11.3	26.5	12.4
28-May-2005	3.2	16.9	3.2	17.2	19.1	15.2
29-May-2005	3.6	3.6	3.7	3.6	17.7	3.7
01-Jun-2005	8.2	5.6	9.3	5.5	27.4	5.7
04-Jun-2005	7.9	15.4	6.5	15.9	15.8	13.4
08-Jun-2005	5.8	11.1	4.0	11.0	17.1	10.0
09-Jun-2005	4.1	7.2	9.2	7.7	26.3	7.2
29-Oct-2005	6.5	10.6	4.3	10.2	15.7	11.3
09-Dec-2005	22.3	9.4	15.9	11.8	42.7	12.8
10-Dec-2005	15.2	14.0	12.2	10.4	34.3	20.1
11-Dec-2005	11.1	13.8	12.3	14.2	18.5	15.5
<b>Povprečna vrednost</b>	<b>11.8</b>	<b>11.8</b>	<b>10.8</b>	<b>12.9</b>	<b>25.1</b>	<b>11.4</b>
<b>Minimalna vrednost</b>	<b>3.2</b>	<b>3.6</b>	<b>3.2</b>	<b>3.6</b>	<b>10.5</b>	<b>3.7</b>
<b>Maksimalna vrednost</b>	<b>31.8</b>	<b>25.6</b>	<b>26.7</b>	<b>32.0</b>	<b>49.9</b>	<b>20.1</b>



...	...	...	...	...	...	...
16-Nov-2007	11.2	6.1	6.3	4.7	6.0	5.8
17-Nov-2007	13.8	11.3	8.5	10.1	7.3	11.0
<b>Povprečna vrednost</b>	<b>12.0</b>	<b>7.1</b>	<b>8.4</b>	<b>6.5</b>	<b>7.5</b>	<b>6.9</b>
<b>Minimalna vrednost</b>	<b>3.0</b>	<b>2.1</b>	<b>1.2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.7</b>	<b>2.3</b>
<b>Maksimalna vrednost</b>	<b>22.0</b>	<b>35.3</b>	<b>22.7</b>	<b>40.1</b>	<b>18.6</b>	<b>36.1</b>

Korigirani modeli predstavljajo precejšnjo izboljšavo v vseh treh primerih; tako se povprečna napaka modela #1 s korekcijo zniža s 12,0 na 7,1%, povprečna napaka modela #2 se zniža s 8,4 na 6,5%, povprečna napaka modela #3 pa se zniža z 7,5 na 6,9%. Povprečne napake vseh treh modelov postanejo skoraj enake, kar je tudi pričakovano, saj vsi trije modeli napovedi temeljijo na enakih modelih napovedi za vodomerni postaji Hrastnik in Veliko Širje, različni so le linearni koeficienti, ki pa se s premikom v 'nulto' točko v bistvu 'izenačijo'.



Slika 41. Primerjava obnašanja modelov napovedi za HE Vrhovo – obdobje november 2005.

Figure 41. Comparison of the low flow forecasting models' modelling results for the HPP Vrhovo.

## 5 ZAKLJUČKI

Na podlagi uporabe tako teoretično razvitega znanja o dogajanju v obdobju nizkih pretokov kot tudi metode strojnega učenja M5 za generiranje regresijskih dreves so bili razviti zelo uporabni modeli napovedi nizkih pretokov, ki so zelo primerni za operativno rabo. Prikazana in na mnogih primerih slovenskih pritokov največje slovenske reke Save uspešno implementirana je bila metodologija razvoja empiričnih modelov nizkih pretokov.

Razviti in verificirani so bili modeli napovedi nizkih pretokov za 7 dni vnaprej za večino slovenskih pritokov reke Save in na podlagi teh modelov so bili razviti tudi modeli 7-dnevnih napovedi nizkih pretokov na vtokih v akumulacije hidroelektrarn na reki Savi, katerih napako ocenjujem na približno 7-10%.

Variabilnosti v obnašanju recesijskih delov hidrogramov kot posledici raznolikih faktorjev (na primer vpliv sezonskosti ali predhodne vlažnosti) sem se izognil na način, da sem namesto konstantne vrednosti upošteval variabilnost recesijskega koeficienta v različnih hidroloških razmerah, ki je bil opisan s spremembo vrednosti nizkega pretoka od včeraj na danes ( $dQ$ ) in vrednostjo srednjega dnevnega pretoka danes oziroma v dnevu izdelave napovedi ( $Q_t$ ).

Iz rezultatov v obliki modelov, ki so predstavljeni kot regresijska drevesa, se vidi, da nam o dinamiki vrednosti pretoka v naslednjih nekaj dneh več pove sprememba vrednosti pretoka ( $dQ$ ) kot pa sama vrednost pretoka v dnevu, ko se izdelava napoved ( $Q_t$ ). Model napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom, ki ga izrazimo kot funkcijo vrednosti srednjega dnevnega pretoka ( $dQ$ ) in spremembe le-tega v dnevu izdelave napovedi ( $Q_t$ ), predstavlja z vidika obnašanja modelov napovedi nizkih pretokov izrazito izboljšavo.

Metode strojnega učenja za generiranje modelov v obliki odločitvenih dreves predstavljajo zelo uporaben in obetajoč pripomoček za iskanje novih znanj v podatkovnih bazah. Pri tem pa je potrebno poudariti, da je sam razvoj modela le eden izmed korakov pri iskanju novih znanj, saj izbor, zbiranje in priprava podatkov, nadzor nad razvojem modela in njegova interpretacija, ki pa jih lahko opravi samo področni strokovnjak, predstavljajo prav tako pomembne, če ne celo bolj pomembne stopnje razvoja novih znanj.

## VIRI IN LITERATURA

Abrahart, R.J., See, L. 2000. Comparing neural network and autoregressive moving average techniques for the provision of continuous river flow forecasts in two contrasting catchments. *Hydrological Processes* 14: 2157–2172.

Agencija Republike Slovenije za okolje. 2008. Vodna bilanca Slovenije 1971-2000. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.

ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000a. Artificial neural networks in hydrology I: preliminary concepts. *Journal of Hydrologic Engineering* 52: 115–123.

ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology, 2000b. Artificial neural networks in hydrology II: Hydrologic applications. *Journal of Hydrologic Engineering* 52: pp. 124–137.

Beven, K.J. 1985. Distributed models V: M.G. Anderson and T.P. Burt (Eds) *Hydrological forecasting*, Wiley, Chichester.

Beven, K., Binley, A.M. 1992. The future role of distributed models: model calibration and predictive uncertainty. *Hydrological Processes* 6: 279-298.

Bhattacharya, B., Solomatine, D. P. 2005. Neural networks and M5 model trees in modelling water level – discharge relationship. *Neurocomputing* 63: 381–396.

Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., Stone, C. J. 1984. *Classification and Regression Trees*. Belmont, California, USA, Wadworth.

Brilly, M., Šraj, M. 2005. *Osnove hidrologije*. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Brus, J. 1981. Grafikoni za določanje velikih voda in numerične tabele za določanje odtočnih koeficientov ter povprečnih letnih specifičnih pretokov po empiričnih obrazcih nekaterih poznanih tujih avtorjev. Ljubljana, Zveza vodnih skupnosti Slovenije.

Cameron, D., Kneale, P., See, L. 2002. An evaluation of traditional and a neural net modeling approach to flood forecasting for an upland catchment. *Hydrological Processes* 16: 1033-1046.

Chang, F.J., Chang, L.C., Huang, H.L. 2002. Real-time recurrent neural network for stream-flow forecasting. *Hydrological Processes* 16: 2577–2588.

Cherkassky, V., Krasnopolsky, V., Solomatine, D.P., Valdes, J. 2006. Computational intelligence in earth sciences and environmental applications. *Neural Networks Journal* 19: 113 – 121.

Dawson, C.W., Wilby, R.L. 1998. An artificial neural network approach to rainfall–runoff modeling. *Hydrological Sciences* 43: 47–67.

Dawson, C.W., Wilby, R.L. 2001. Hydrological modeling using artificial neural networks. *Progress in Physical Geography* 25: 80-108.

Freeze, R.A., Harlan, R.L. 1969, Blueprint for a physically-based digitally-simulated hydrological response model. *Journal of Hydrology* 9: 237-258.

Govindaraju, R.S., Ruo, A.R. 2000. *Artificial Neural Networks in Hydrology*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.

Hsu, K.L., Gupta, H.V., Sorooshian, S. 1995. Artificial neural network modeling of the rainfall–runoff process. *Water Resources Research* 31: 2517–2530.

Hydrological Engineering Center, 1990. HEC-1 Flood Hydrograph Package, Program Users Manual. Davis, C.A , US Army Corps of Engineers.

Kompare, B. 1995. The use of artificial intelligence in ecological modelling. Doktorska dizertacija. Copenhagen, Danska, Royal Danish School of Pharmacy.

Kompare, B., Steinman, F., Cerar, U., Dzeroski, S. 1997. Prediction of rainfall runoff from catchment by intelligent data analysis with machine learning tools within the artificial intelligence tools. *Acta Hydrotechnica* 16/17: 79–94.

Kubat, M., Bratko, I., Michalski, R.S. 1997. A review of machine learning methods. *Machine learning and data mining: methods and applications*. New York, John Wiley & Sons Ltd.

Maier, H.R., Dandy, G.C. 2000. Neural networks for the prediction and forecasting of water resources variables: a review of modelling issues and applications. *Environmental Modelling and Software* 15, 1: 101–124.

Minns, A.W., Hall, M.J. 1996. Artificial neural networks as rainfall–runoff models. *Hydrological Sciences* 41 3: 399–417.

Mitchell, T. 1997. *Machine Learning*. Boston, Massachusetts, USA, MIT Press, Inc.

McCulloch, W.S., Pitts, W. 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5: 115–133.

Quinlan, J. R. 1986. Induction of Decision Trees. *Machine Learning* 1: 81–106.

Quinlan, J. R. 1992. Learning with continuous classes. *Proc. Australian Joint Conference on Artificial Intelligence*: 343–348. Singapore, World Scientific.

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J. 1986. Learning representations by Back-propagating errors. *Nature* 323: 533–536.

Rusjan, S. and Mikoš, M. 2008. Assessment of hydrological and seasonal controls over the nitrate flushing from a forested watershed using a data mining technique, *Hydrology and Earth System Sciences* 12: 645-656.

Savske Elektrarne. 2008. Internet: <http://www.savske-elektrarne.si/>

See, L. A., Solomatine, D. P., Abrahart, R., Toth, E. 2007. Hydroinformatics: computational intelligence and technological developments in water science applications – Editorial. *Hydrological Sciences Journal* 52: 391–396.

Shamseldin, A.Y. 1997. Application of a neural network technique to rainfall–runoff modeling. *Journal of Hydrology* 199: 272–294.

Smith, J., Eli, R.N. 1995. Neural network models of rainfall–runoff process. *Journal of Water Resources Planning and Management* 121, 6: 499–508.

Solomatine, D.P., Dulal, K.N. 2003. Model tree as an alternative to neural network in rainfall–runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal* 48, 3: 399–411.

Solomatine, D.P., Siek, M.B. 2004. Flexible and optimal M5 model trees with applications to flow predictions. V: Proc. 6th Int. Conf. on Hydroinformatics. Singapore, World Scientific.

Solomatine, D.P., Xue, Y. 2004. M5 model trees and neural networks: application to flood forecasting in the upper reach of the Huai River in China. *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*. 9, 6: 491–501.

Solomatine, D. P., Ostfeld, A. 2008. Data-driven modelling: some past experiences and new approaches. *Journal of Hydroinformatics* 10, 1: 3-22.

Stuber, M., Gemmar, P. 1997. An approach for data analysis and forecasting with neuro fuzzy systems – demonstrated on flood events at river Mosel. V: Dortmund, Proc. International Conference on Computational Intelligence, 5th Fuzzy Days.

Štravs, L., Vidmar, A., Brilly, M. 2003. Empirična določitev časa propagacije valov v naravni strugi reke Save. V: Maribor, Zbornik – Mišičev vodarski dan.

Štravs, L., Kobold, M., Brilly, M. 2004. Modeli kratkoročnih napovedi pretokov visokih voda na Savinji. V: Maribor, Zbornik – Misicev vodarski dan.

Štravs, L., Šraj, M., Brilly, M. 2007. Uporaba metod strojnega učenja za modeliranje deleža prestreženih padavin na eksperimentalnem porečju reke Dragonje. V: Ljubljana, Zbornik Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko.

Tallaksen, L. M. 1995. A review of baseflow recession analysis. *Journal of Hydrology* 165: 349–370.



Wang, Y., Witten, I. H. 1997. Induction of model trees for predicting continuous classes. V: Singapore, Poster papers of the 9th European Conference on Machine Learning.

Witten, I.H., Frank, E. 2000. Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques with Java Implementations. San Francisco, USA, Morgan Kaufmann Publishers.

## **PRILOGA A – HIDROLOŠKE STATISTIKE ZA VODOMERNE POSTAJE NA REKI SAVI IN NJENIH GLAVNIH SLOVENSKIH PRITOKIH**

## Sava Dolinka – vodomerna postaja Jesenice



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 87.400 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Minimum: 3.412 (datum dogodka: 25-Feb-2002)  
Povprecje: 9.619  
Mediana: 7.988

Leto - 1991 - letni maximum: 28.600 (datum dogodka: 11-May-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 5.450 (datum dogodka: 25-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 10.847

Leto - 1992 - letni maximum: 49.900 (datum dogodka: 05-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 4.080 (datum dogodka: 20-Mar-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 10.184

Leto - 1993 - letni maximum: 54.000 (datum dogodka: 09-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 3.470 (datum dogodka: 23-Mar-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 8.491

Leto - 1994 - letni maximum: 23.339 (datum dogodka: 15-Sep-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 4.575 (datum dogodka: 26-Feb-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 9.434

Leto - 1995 - letni maximum: 27.543 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 4.428 (datum dogodka: 14-Jan-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 6.907

Leto - 1996 - letni maximum: 59.353 (datum dogodka: 18-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 4.077 (datum dogodka: 02-Mar-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 10.391

Leto - 1997 - letni maximum: 21.306 (datum dogodka: 08-Nov-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 3.728 (datum dogodka: 01-Nov-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 6.619

Leto - 1998 - letni maximum: 67.929 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 3.728 (datum dogodka: 25-Mar-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 9.838

Leto - 1999 - letni maximum: 60.841 (datum dogodka: 26-Oct-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 4.992 (datum dogodka: 19-Feb-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 10.603

Leto - 2000 - letni maximum: 87.400 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 4.900 (datum dogodka: 21-Feb-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 12.360

Leto - 2001 - letni maximum: 36.529 (datum dogodka: 08-Jan-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 4.652 (datum dogodka: 25-Dec-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 11.870

Leto - 2002 - letni maximum: 49.734 (datum dogodka: 19-Nov-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 3.412 (datum dogodka: 25-Feb-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 9.157

Leto - 2003 - letni maximum: 53.470 (datum dogodka: 01-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 4.860 (datum dogodka: 08-Apr-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 8.332

Mesec - 1 - mesečni maximum: 36.529 (datum dogodka: 08-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 3.923 (datum dogodka: 30-Jan-2002)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 8.035

Mesec - 2 - mesečni maximum: 15.243 (datum dogodka: 09-Feb-2001)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 3.412 (datum dogodka: 25-Feb-2002)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 5.874

Mesec - 3 - mesečni maximum: 27.297 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 3.470 (datum dogodka: 23-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 6.688

Mesec - 4 - mesečni maximum: 24.014 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 3.539 (datum dogodka: 01-Apr-2002)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 8.309

Mesec - 5 - mesečni maximum: 28.600 (datum dogodka: 11-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 3.760 (datum dogodka: 24-May-1993)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 9.600

Mesec - 6 - mesečni maximum: 27.543 (datum dogodka: 23-Jun-1996)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 3.760 (datum dogodka: 02-Jun-1993)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 9.700

Mesec - 7 - mesečni maximum: 38.426 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 4.210 (datum dogodka: 09-Jul-1993)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 10.133

Mesec - 8 - mesečni maximum: 43.412 (datum dogodka: 31-Aug-2003)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 4.400 (datum dogodka: 12-Aug-1993)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 8.206

Mesec - 9 - mesečni maximum: 29.423 (datum dogodka: 21-Sep-1999)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 4.430 (datum dogodka: 20-Sep-1992)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 8.205

Mesec - 10 - mesečni maximum: 67.929 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 3.880 (datum dogodka: 26-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 13.623

Mesec - 11 - mesečni maximum: 87.400 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 3.728 (datum dogodka: 01-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 16.282

Mesec - 12 - mesečni maximum: 49.900 (datum dogodka: 05-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 4.428 (datum dogodka: 15-Dec-1995)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 10.565

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	78.30
0.10	72.60
0.20	59.30
0.30	53.40
0.40	49.90
0.50	46.40
1.00	35.40
2.00	27.50
3.00	23.30
4.00	20.90
5.00	19.60
6.00	18.50
7.00	17.30
8.00	16.60
9.00	16.00
10.00	15.50
20.00	12.10
30.00	10.40
40.00	9.00
50.00	7.90
60.00	7.20
70.00	6.40
80.00	5.40
90.00	4.60
91.00	4.50
92.00	4.40
93.00	4.40
94.00	4.40
95.00	4.20
96.00	4.20
97.00	4.00
98.00	3.90
99.00	3.70
100.00	3.70

## Radovna – vodomerna postaja Podhom



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 84.100 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Minimum: 1.345 (datum dogodka: 16-Feb-1999)  
Povprečje: 7.312  
Mediana: 4.857

Leto - 1991 - letni maximum: 44.200 (datum dogodka: 11-May-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 1.990 (datum dogodka: 18-Feb-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 8.800

Leto - 1992 - letni maximum: 67.400 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 1.560 (datum dogodka: 24-Feb-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 7.850

Leto - 1993 - letni maximum: 66.174 (datum dogodka: 23-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 1.509 (datum dogodka: 06-Apr-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 6.363

Leto - 1994 - letni maximum: 40.011 (datum dogodka: 15-Sep-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 2.038 (datum dogodka: 28-Dec-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 7.269

Leto - 1995 - letni maximum: 45.500 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 1.815 (datum dogodka: 22-Jan-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 6.712

Leto - 1996 - letni maximum: 59.102 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 1.477 (datum dogodka: 10-Mar-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 8.609

Leto - 1997 - letni maximum: 47.620 (datum dogodka: 08-Nov-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 1.779 (datum dogodka: 02-Nov-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 5.184

Leto - 1998 - letni maximum: 68.414 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 1.700 (datum dogodka: 28-Mar-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 7.675

Leto - 1999 - letni maximum: 61.411 (datum dogodka: 26-Oct-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 1.345 (datum dogodka: 16-Feb-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 6.992

Leto - 2000 - letni maximum: 84.100 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 1.640 (datum dogodka: 26-Feb-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 9.385

Leto - 2001 - letni maximum: 47.637 (datum dogodka: 08-Jan-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 2.161 (datum dogodka: 25-Dec-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 7.882

Leto - 2002 - letni maximum: 52.953 (datum dogodka: 19-Nov-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 1.562 (datum dogodka: 02-Feb-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 7.199

Leto - 2003 - letni maximum: 59.102 (datum dogodka: 02-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 1.948 (datum dogodka: 24-Mar-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 5.118

Mesec - 1 - mesečni maximum: 47.637 (datum dogodka: 08-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 1.481 (datum dogodka: 30-Jan-1999)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 4.239

Mesec - 2 - mesečni maximum: 9.238 (datum dogodka: 10-Feb-2001)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 1.345 (datum dogodka: 16-Feb-1999)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 2.543

Mesec - 3 - mesečni maximum: 39.014 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 1.477 (datum dogodka: 10-Mar-1996)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 5.019

Mesec - 4 - mesečni maximum: 52.311 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 1.509 (datum dogodka: 06-Apr-1993)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 9.071

Mesec - 5 - mesečni maximum: 44.200 (datum dogodka: 11-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 1.924 (datum dogodka: 26-May-1993)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 8.322

Mesec - 6 - mesečni maximum: 39.200 (datum dogodka: 28-Jun-1991)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 2.433 (datum dogodka: 11-Jun-1993)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 7.604

Mesec - 7 - mesečni maximum: 49.583 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 2.433 (datum dogodka: 10-Jul-1993)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 7.033

Mesec - 8 - mesečni maximum: 44.666 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 1.966 (datum dogodka: 24-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 4.757

Mesec - 9 - mesečni maximum: 45.500 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 2.071 (datum dogodka: 23-Sep-2003)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 6.467

Mesec - 10 - mesečni maximum: 68.414 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 1.860 (datum dogodka: 30-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 12.809

Mesec - 11 - mesečni maximum: 84.100 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 1.779 (datum dogodka: 02-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 13.190

Mesec - 12 - mesečni maximum: 67.400 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 1.815 (datum dogodka: 15-Dec-1995)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 6.486

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	68.80
0.10	67.40
0.20	61.70
0.30	59.10
0.40	55.60
0.50	53.00
1.00	42.30
2.00	32.10
3.00	26.10
4.00	22.80
5.00	20.30
6.00	18.60
7.00	17.70
8.00	16.70
9.00	15.60
10.00	14.80
20.00	9.80
30.00	7.40
40.00	6.00
50.00	4.80
60.00	4.00
70.00	3.20
80.00	2.60
90.00	2.10
91.00	2.10
92.00	2.00
93.00	2.00
94.00	1.90
95.00	1.90
96.00	1.80
97.00	1.70
98.00	1.60
99.00	1.50
100.00	1.50



## Sava Bohinjka – vodomerna postaja Bodešče



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 323.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Minimum: 2.582 (datum dogodka: 04-Aug-2003)  
Povprečje: 21.573  
Mediana: 11.462

Leto - 1991 - letni maximum: 194.000 (datum dogodka: 20-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 4.910 (datum dogodka: 02-Jan-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 27.655

Leto - 1992 - letni maximum: 319.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 2.950 (datum dogodka: 27-Aug-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 26.903

Leto - 1993 - letni maximum: 245.000 (datum dogodka: 07-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 2.730 (datum dogodka: 14-Aug-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 20.442

Leto - 1994 - letni maximum: 212.715 (datum dogodka: 15-Sep-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 4.095 (datum dogodka: 06-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 18.878

Leto - 1995 - letni maximum: 135.249 (datum dogodka: 24-Dec-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 3.035 (datum dogodka: 06-Nov-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 18.811

Leto - 1996 - letni maximum: 212.715 (datum dogodka: 22-Jun-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 3.396 (datum dogodka: 06-Mar-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 26.657

Leto - 1997 - letni maximum: 289.083 (datum dogodka: 07-Nov-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 4.134 (datum dogodka: 29-Oct-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 18.573

Leto - 1998 - letni maximum: 249.483 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 3.396 (datum dogodka: 07-Feb-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 21.650

Leto - 1999 - letni maximum: 232.764 (datum dogodka: 26-Oct-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 4.134 (datum dogodka: 09-Feb-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 18.084

Leto - 2000 - letni maximum: 323.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 3.330 (datum dogodka: 24-Jan-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 26.544

Leto - 2001 - letni maximum: 203.328 (datum dogodka: 08-Jan-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 3.783 (datum dogodka: 30-Aug-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 22.156

Leto - 2002 - letni maximum: 220.051 (datum dogodka: 18-Oct-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 3.783 (datum dogodka: 03-Jan-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 19.316

Leto - 2003 - letni maximum: 267.802 (datum dogodka: 02-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 2.582 (datum dogodka: 04-Aug-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 14.743

Mesec - 1 - mesečni maximum: 203.328 (datum dogodka: 08-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 3.330 (datum dogodka: 24-Jan-2000)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 12.548

Mesec - 2 - mesečni maximum: 51.839 (datum dogodka: 27-Feb-1997)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 3.130 (datum dogodka: 23-Feb-1993)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 6.843

Mesec - 3 - mesečni maximum: 189.846 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 3.130 (datum dogodka: 08-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 17.148

Mesec - 4 - mesečni maximum: 156.477 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 3.580 (datum dogodka: 01-Apr-1993)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 24.608

Mesec - 5 - mesečni maximum: 131.000 (datum dogodka: 11-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 6.843 (datum dogodka: 18-May-2003)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 27.658

Mesec - 6 - mesečni maximum: 212.715 (datum dogodka: 22-Jun-1996)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 3.372 (datum dogodka: 24-Jun-2003)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 20.417

Mesec - 7 - mesečni maximum: 195.560 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 3.372 (datum dogodka: 16-Jul-2003)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 17.777

Mesec - 8 - mesečni maximum: 120.924 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 2.582 (datum dogodka: 04-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 10.163

Mesec - 9 - mesečni maximum: 212.715 (datum dogodka: 15-Sep-1994)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 2.582 (datum dogodka: 21-Sep-2003)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 20.617

Mesec - 10 - mesečni maximum: 255.000 (datum dogodka: 18-Oct-1992)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 4.134 (datum dogodka: 29-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 39.265

Mesec - 11 - mesečni maximum: 323.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 3.035 (datum dogodka: 06-Nov-1995)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 42.974

Mesec - 12 - mesečni maximum: 319.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 4.485 (datum dogodka: 26-Dec-1994)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 18.266

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	317.00
0.10	291.00
0.20	267.00
0.30	245.00
0.40	223.00
0.50	212.00
1.00	159.00
2.00	120.00
3.00	100.00
4.00	83.70
5.00	73.30
6.00	65.70
7.00	59.30
8.00	53.30
9.00	49.50
10.00	46.00
20.00	27.20
30.00	19.30
40.00	14.80
50.00	11.40
60.00	9.10
70.00	7.70
80.00	6.00
90.00	4.90
91.00	4.60
92.00	4.50
93.00	4.50
94.00	4.20
95.00	4.10
96.00	3.80
97.00	3.70
98.00	3.50
99.00	3.30
100.00	3.30

## Tržiška Bistrica – vodomerna postaja Preska



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 43.200 (datum dogodka: 21-Nov-2000)  
Minimum: 1.641 (datum dogodka: 21-Aug-1993)  
Povprecje: 4.799  
Mediana: 3.750

Leto - 1991 - letni maximum: 19.900 (datum dogodka: 20-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 2.530 (datum dogodka: 21-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 5.593

Leto - 1992 - letni maximum: 35.700 (datum dogodka: 05-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 2.190 (datum dogodka: 20-Sep-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 4.949

Leto - 1993 - letni maximum: 37.386 (datum dogodka: 22-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 1.641 (datum dogodka: 21-Aug-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 4.589

Leto - 1994 - letni maximum: 19.347 (datum dogodka: 15-Sep-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 1.868 (datum dogodka: 20-Feb-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 4.635

Leto - 1995 - letni maximum: 18.720 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 1.841 (datum dogodka: 03-Dec-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 4.240

Leto - 1996 - letni maximum: 29.097 (datum dogodka: 18-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 1.988 (datum dogodka: 03-Mar-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 5.847

Leto - 1997 - letni maximum: 20.628 (datum dogodka: 20-Dec-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 1.977 (datum dogodka: 01-Jun-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 4.285

Leto - 1998 - letni maximum: 37.672 (datum dogodka: 06-Oct-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 2.197 (datum dogodka: 20-Mar-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 5.218

Leto - 1999 - letni maximum: 38.742 (datum dogodka: 26-Oct-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 1.741 (datum dogodka: 21-Feb-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 4.723

Leto - 2000 - letni maximum: 43.200 (datum dogodka: 21-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 1.860 (datum dogodka: 29-Feb-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 5.381

Leto - 2001 - letni maximum: 20.276 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 2.330 (datum dogodka: 25-Dec-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 5.218

Leto - 2002 - letni maximum: 23.472 (datum dogodka: 22-Nov-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 2.199 (datum dogodka: 18-Jan-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 4.378

Leto - 2003 - letni maximum: 27.124 (datum dogodka: 01-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 2.193 (datum dogodka: 25-Sep-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 3.325

Mesec - 1 - mesečni maximum: 18.138 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 2.045 (datum dogodka: 30-Jan-1999)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 4.094

Mesec - 2 - mesečni maximum: 7.413 (datum dogodka: 09-Feb-2001)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 1.741 (datum dogodka: 21-Feb-1999)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 3.045

Mesec - 3 - mesečni maximum: 25.700 (datum dogodka: 24-Mar-1992)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 1.988 (datum dogodka: 03-Mar-1996)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 4.154

Mesec - 4 - mesečni maximum: 24.721 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 2.197 (datum dogodka: 01-Apr-1998)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 5.589

Mesec - 5 - mesečni maximum: 19.200 (datum dogodka: 11-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 1.901 (datum dogodka: 30-May-1993)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 5.004

Mesec - 6 - mesečni maximum: 24.277 (datum dogodka: 22-Jun-1996)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 1.977 (datum dogodka: 01-Jun-1997)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 4.590

Mesec - 7 - mesečni maximum: 29.807 (datum dogodka: 14-Jul-1998)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 1.901 (datum dogodka: 09-Jul-1993)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 4.639

Mesec - 8 - mesečni maximum: 18.853 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 1.641 (datum dogodka: 21-Aug-1993)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 3.630

Mesec - 9 - mesečni maximum: 19.347 (datum dogodka: 15-Sep-1994)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 2.010 (datum dogodka: 24-Sep-2000)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 4.209

Mesec - 10 - mesečni maximum: 38.742 (datum dogodka: 26-Oct-1999)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 2.159 (datum dogodka: 29-Oct-1995)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 6.477

Mesec - 11 - mesečni maximum: 43.200 (datum dogodka: 21-Nov-2000)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 1.988 (datum dogodka: 02-Nov-1995)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 7.300

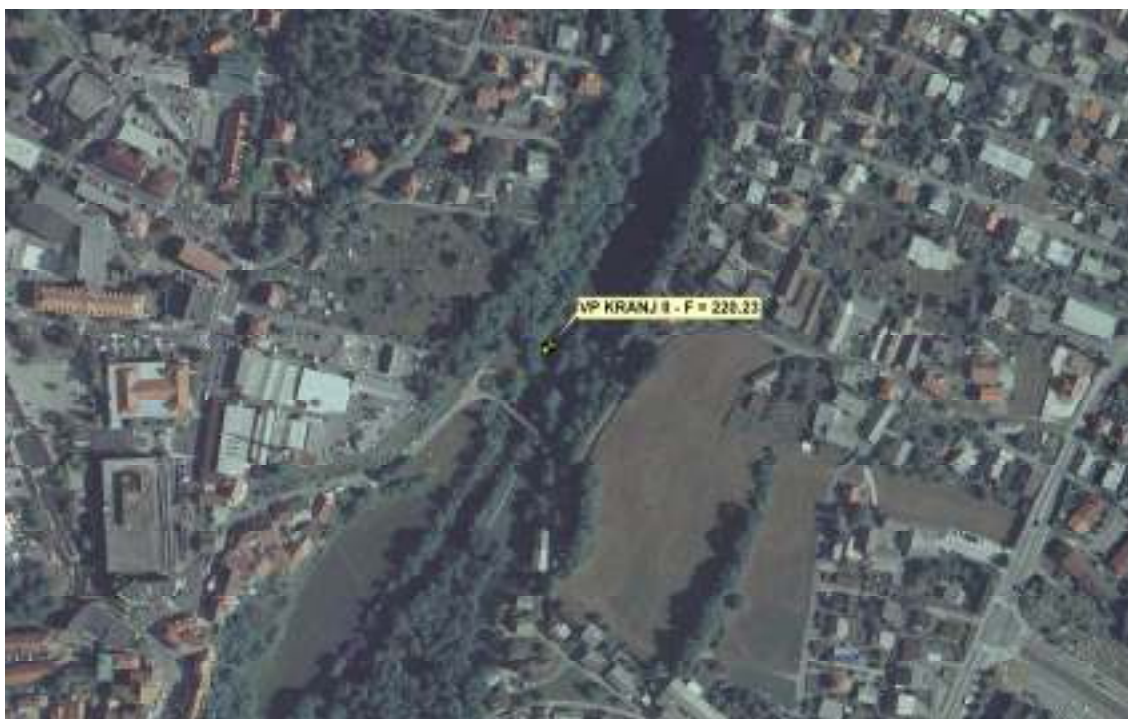
Mesec - 12 - mesečni maximum: 35.700 (datum dogodka: 05-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 1.841 (datum dogodka: 03-Dec-1995)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 4.781

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	37.60
0.10	37.30
0.20	29.80
0.30	26.30
0.40	25.70
0.50	23.70
1.00	19.80
2.00	15.00
3.00	13.10
4.00	11.60
5.00	10.50
6.00	9.80
7.00	9.10
8.00	8.70
9.00	8.30
10.00	8.00
20.00	6.00
30.00	5.00
40.00	4.30
50.00	3.70
60.00	3.20
70.00	3.00
80.00	2.60
90.00	2.40
91.00	2.30
92.00	2.30
93.00	2.30
94.00	2.30
95.00	2.20
96.00	2.10
97.00	2.10
98.00	2.10
99.00	2.00
100.00	2.00

## Kokra – vodomerna postaja Kranj



Število podatkov: 2192

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-1996

Maksimum: 110.741 (datum dogodka: 18-Nov-1996)  
Minimum: 0.037 (datum dogodka: 16-Aug-1992)  
Povprecje: 5.028  
Mediana: 3.580

Leto - 1991 - letni maximum: 45.400 (datum dogodka: 05-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 0.889 (datum dogodka: 12-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 5.821

Leto - 1992 - letni maximum: 81.000 (datum dogodka: 05-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 0.037 (datum dogodka: 16-Aug-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 4.632

Leto - 1993 - letni maximum: 63.072 (datum dogodka: 22-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 0.335 (datum dogodka: 07-Jun-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 3.385

Leto - 1994 - letni maximum: 30.909 (datum dogodka: 05-Jan-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 1.059 (datum dogodka: 17-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 4.452

Leto - 1995 - letni maximum: 30.541 (datum dogodka: 23-Dec-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 0.839 (datum dogodka: 07-Aug-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 4.758

Leto - 1996 - letni maximum: 110.741 (datum dogodka: 18-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 1.726 (datum dogodka: 15-Sep-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 7.116

Mesec - 1 - mesecni maximum: 30.909 (datum dogodka: 05-Jan-1994)  
Mesec - 1 - mesecni minimum: 0.820 (datum dogodka: 11-Jan-1993)

Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 3.978

Mesec - 2 - mesečni maximum: 10.441 (datum dogodka: 18-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 0.756 (datum dogodka: 23-Feb-1993)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 2.775

Mesec - 3 - mesečni maximum: 31.700 (datum dogodka: 25-Mar-1992)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 0.543 (datum dogodka: 21-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 3.836

Mesec - 4 - mesečni maximum: 19.300 (datum dogodka: 01-Apr-1992)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 0.641 (datum dogodka: 01-Apr-1993)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 5.288

Mesec - 5 - mesečni maximum: 31.200 (datum dogodka: 04-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 0.499 (datum dogodka: 28-May-1993)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 5.646

Mesec - 6 - mesečni maximum: 32.700 (datum dogodka: 28-Jun-1991)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 0.335 (datum dogodka: 07-Jun-1993)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 4.964

Mesec - 7 - mesečni maximum: 49.451 (datum dogodka: 02-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 0.458 (datum dogodka: 29-Jul-1992)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 4.227

Mesec - 8 - mesečni maximum: 25.066 (datum dogodka: 12-Aug-1996)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 0.037 (datum dogodka: 16-Aug-1992)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 2.677

Mesec - 9 - mesečni maximum: 27.001 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 0.224 (datum dogodka: 20-Sep-1992)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 3.859

Mesec - 10 - mesečni maximum: 63.072 (datum dogodka: 22-Oct-1993)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 0.224 (datum dogodka: 03-Oct-1992)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 7.699

Mesec - 11 - mesečni maximum: 110.741 (datum dogodka: 18-Nov-1996)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 1.232 (datum dogodka: 04-Nov-1995)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 9.655

Mesec - 12 - mesečni maximum: 81.000 (datum dogodka: 05-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 1.249 (datum dogodka: 16-Dec-1994)  
Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 5.659

Krivilja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	81.00
0.10	63.00
0.20	53.60
0.30	49.40
0.40	46.10
0.50	45.40
1.00	31.10
2.00	22.30
3.00	17.50
4.00	15.60
5.00	13.60
6.00	12.10
7.00	11.10
8.00	10.50
9.00	9.90
10.00	9.60
20.00	6.80
30.00	5.40
40.00	4.40
50.00	3.50
60.00	2.70
70.00	2.00
80.00	1.50
90.00	0.90



91.00	0.80
92.00	0.70
93.00	0.60
94.00	0.60
95.00	0.60
96.00	0.50
97.00	0.40
98.00	0.30
99.00	0.20
100.00	0.20

## Sora – vodomerna postaja Medvode



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 439.039 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Minimum: 4.090 (datum dogodka: 27-Jul-1995)  
Povprecje: 24.446  
Mediana: 14.862

Leto - 1991 - letni maximum: 219.000 (datum dogodka: 04-May-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 8.950 (datum dogodka: 09-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 28.022

Leto - 1992 - letni maximum: 284.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 7.810 (datum dogodka: 07-Feb-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 24.057

Leto - 1993 - letni maximum: 276.565 (datum dogodka: 22-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 5.303 (datum dogodka: 06-Aug-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 21.593

Leto - 1994 - letni maximum: 159.751 (datum dogodka: 31-Dec-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 4.629 (datum dogodka: 06-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 19.741

Leto - 1995 - letni maximum: 207.027 (datum dogodka: 01-Jan-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 4.090 (datum dogodka: 27-Jul-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 30.985

Leto - 1996 - letni maximum: 439.039 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 6.313 (datum dogodka: 31-Jul-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 34.452

Leto - 1997 - letni maximum: 188.538 (datum dogodka: 08-Nov-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 7.458 (datum dogodka: 11-Sep-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 20.936

Leto - 1998 - letni maximum: 294.271 (datum dogodka: 06-Oct-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 8.654 (datum dogodka: 18-Feb-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 27.824

Leto - 1999 - letni maximum: 104.424 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 7.747 (datum dogodka: 07-Aug-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 21.446

Leto - 2000 - letni maximum: 330.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 7.750 (datum dogodka: 07-Jul-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 28.336

Leto - 2001 - letni maximum: 267.068 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 5.577 (datum dogodka: 18-Aug-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 23.809

Leto - 2002 - letni maximum: 247.341 (datum dogodka: 22-Nov-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 6.747 (datum dogodka: 04-Jan-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 20.380

Leto - 2003 - letni maximum: 237.739 (datum dogodka: 27-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 4.486 (datum dogodka: 14-Aug-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 16.183

Mesec - 1 - mesečni maximum: 207.027 (datum dogodka: 01-Jan-1995)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 6.747 (datum dogodka: 04-Jan-2002)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 26.330

Mesec - 2 - mesečni maximum: 155.816 (datum dogodka: 18-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 7.547 (datum dogodka: 23-Feb-1993)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 18.273

Mesec - 3 - mesečni maximum: 267.068 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 6.773 (datum dogodka: 06-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 24.714

Mesec - 4 - mesečni maximum: 104.424 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 6.946 (datum dogodka: 08-Apr-2002)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 27.715

Mesec - 5 - mesečni maximum: 219.000 (datum dogodka: 04-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 6.747 (datum dogodka: 31-May-2003)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 20.262

Mesec - 6 - mesečni maximum: 122.525 (datum dogodka: 12-Jun-1995)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 5.022 (datum dogodka: 12-Jun-2003)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 16.050

Mesec - 7 - mesečni maximum: 173.323 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 4.090 (datum dogodka: 27-Jul-1995)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 14.951

Mesec - 8 - mesečni maximum: 134.804 (datum dogodka: 11-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 4.486 (datum dogodka: 14-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 12.041

Mesec - 9 - mesečni maximum: 178.797 (datum dogodka: 09-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 5.022 (datum dogodka: 21-Sep-2003)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 21.371

Mesec - 10 - mesečni maximum: 294.271 (datum dogodka: 06-Oct-1998)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 6.152 (datum dogodka: 03-Oct-2003)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 35.266

Mesec - 11 - mesečni maximum: 439.039 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 5.797 (datum dogodka: 14-Nov-1995)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 46.907

Mesec - 12 - mesečni maximum: 284.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 6.747 (datum dogodka: 17-Dec-2001)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 29.384

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	320.00
0.10	294.00
0.20	267.00
0.30	237.00
0.40	219.00
0.50	194.00
1.00	161.00
2.00	121.00
3.00	99.40
4.00	83.50
5.00	77.90
6.00	70.20
7.00	63.10
8.00	57.20
9.00	52.50
10.00	48.60
20.00	30.50
30.00	22.10
40.00	17.70
50.00	14.80
60.00	12.60
70.00	10.90
80.00	9.30
90.00	7.90
91.00	7.70
92.00	7.40
93.00	7.20
94.00	6.70
95.00	6.70
96.00	6.30
97.00	6.00
98.00	5.50
99.00	5.30
100.00	5.30

## Sava – vodomerna postaja Medno



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 949.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Minimum: 16.600 (datum dogodka: 21-Aug-1993)  
Povprecje: 76.701  
Mediana: 54.732

Leto - 1991 - letni maximum: 398.000 (datum dogodka: 21-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 31.500 (datum dogodka: 24-Aug-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 89.732

Leto - 1992 - letni maximum: 667.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 21.100 (datum dogodka: 27-Sep-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 80.219

Leto - 1993 - letni maximum: 596.000 (datum dogodka: 23-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 16.600 (datum dogodka: 21-Aug-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 64.448

Leto - 1994 - letni maximum: 394.844 (datum dogodka: 15-Sep-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 30.480 (datum dogodka: 10-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 75.140

Leto - 1995 - letni maximum: 398.080 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 28.147 (datum dogodka: 05-Nov-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 76.668

Leto - 1996 - letni maximum: 570.330 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 34.006 (datum dogodka: 17-Feb-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 95.262

Leto - 1997 - letni maximum: 542.899 (datum dogodka: 08-Nov-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 26.407 (datum dogodka: 27-Oct-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 60.425

Leto - 1998 - letni maximum: 745.990 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 27.694 (datum dogodka: 14-Feb-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 86.041

Leto - 1999 - letni maximum: 469.317 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 26.397 (datum dogodka: 21-Feb-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 71.182

Leto - 2000 - letni maximum: 949.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 26.600 (datum dogodka: 14-Sep-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 94.998

Leto - 2001 - letni maximum: 566.663 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 25.060 (datum dogodka: 26-Aug-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 82.806

Leto - 2002 - letni maximum: 498.241 (datum dogodka: 19-Nov-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 21.173 (datum dogodka: 08-Jan-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 67.422

Leto - 2003 - letni maximum: 636.144 (datum dogodka: 02-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 20.456 (datum dogodka: 05-Aug-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 52.665

Mesec - 1 - mesečni maximum: 496.518 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 21.173 (datum dogodka: 08-Jan-2002)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 66.354

Mesec - 2 - mesečni maximum: 133.099 (datum dogodka: 27-Feb-1997)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 22.400 (datum dogodka: 27-Feb-1993)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 45.635

Mesec - 3 - mesečni maximum: 566.663 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 19.900 (datum dogodka: 02-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 68.305

Mesec - 4 - mesečni maximum: 469.317 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 25.900 (datum dogodka: 10-Apr-1993)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 85.630

Mesec - 5 - mesečni maximum: 365.000 (datum dogodka: 04-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 26.600 (datum dogodka: 23-May-1993)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 79.332

Mesec - 6 - mesečni maximum: 314.000 (datum dogodka: 28-Jun-1991)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 24.242 (datum dogodka: 14-Jun-2003)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 65.195

Mesec - 7 - mesečni maximum: 471.556 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 19.500 (datum dogodka: 05-Jul-1993)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 61.217

Mesec - 8 - mesečni maximum: 400.269 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 16.600 (datum dogodka: 21-Aug-1993)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 45.377

Mesec - 9 - mesečni maximum: 398.080 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 21.100 (datum dogodka: 27-Sep-1992)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 66.238

Mesec - 10 - mesečni maximum: 745.990 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 26.407 (datum dogodka: 27-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 115.105

Mesec - 11 - mesečni maximum: 949.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 27.283 (datum dogodka: 01-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 138.602

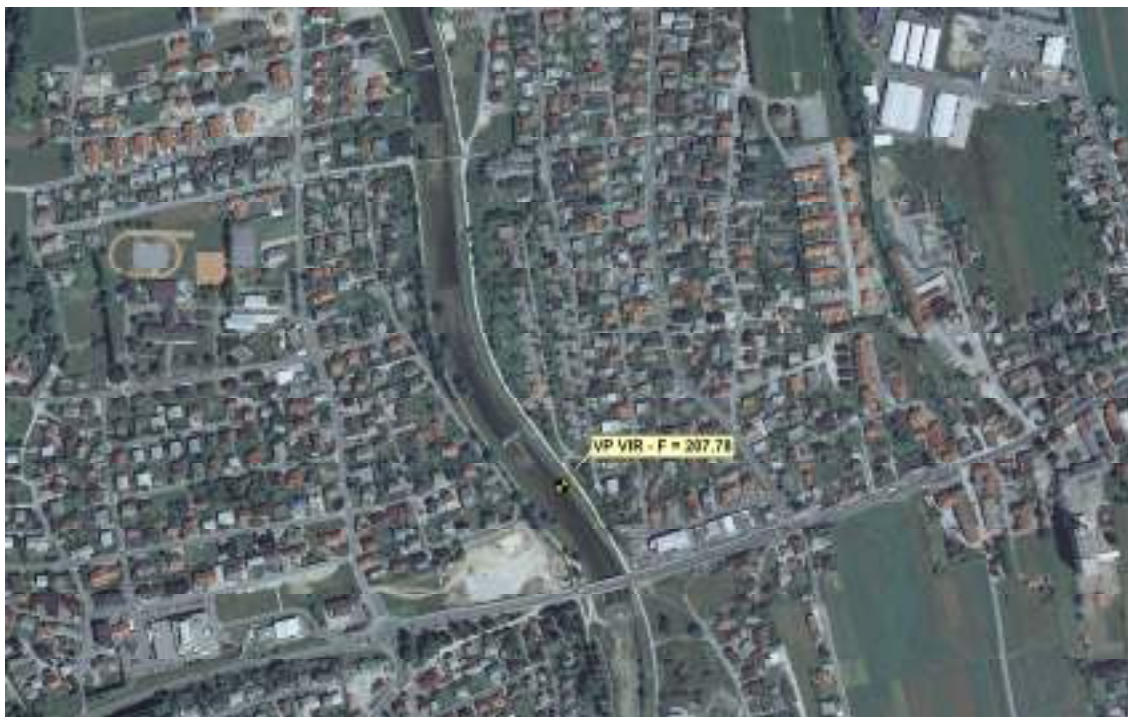
Mesec - 12 - mesečni maximum: 667.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 25.899 (datum dogodka: 15-Dec-2001)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 82.228

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	745.00
0.10	735.00
0.20	657.00
0.30	590.00
0.40	566.00
0.50	522.00
1.00	398.00
2.00	305.00
3.00	248.00
4.00	218.00
5.00	194.00
6.00	177.00
7.00	164.00
8.00	155.00
9.00	147.00
10.00	139.00
20.00	97.20
30.00	78.50
40.00	64.60
50.00	54.70
60.00	46.90
70.00	41.10
80.00	36.00
90.00	30.30
91.00	29.90
92.00	29.00
93.00	28.50
94.00	27.60
95.00	27.10
96.00	26.60
97.00	25.30
98.00	24.20
99.00	21.90
100.00	21.90

## Kamniška Bistrica – vodomerna postaja Vir



Število podatkov: 4717

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Feb-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 80.300 (datum dogodka: 22-Oct-1993)  
Minimum: 0.040 (datum dogodka: 25-Aug-2003)  
Povprečje: 4.973  
Mediana: 2.400

Leto - 1991 - letni maximum: 68.400 (datum dogodka: 20-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 0.499 (datum dogodka: 02-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 6.843

Leto - 1992 - letni maximum: 79.200 (datum dogodka: 17-Nov-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 0.058 (datum dogodka: 18-Mar-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 5.160

Leto - 1993 - letni maximum: 80.300 (datum dogodka: 22-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 0.053 (datum dogodka: 01-Apr-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 3.603

Leto - 1994 - letni maximum: 48.138 (datum dogodka: 29-Oct-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 0.254 (datum dogodka: 17-Feb-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 5.247

Leto - 1995 - letni maximum: 53.632 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 0.054 (datum dogodka: 19-Oct-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 5.657

Leto - 1996 - letni maximum: 58.728 (datum dogodka: 02-Jul-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 0.541 (datum dogodka: 13-Feb-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 6.750

Leto - 1997 - letni maximum: 72.331 (datum dogodka: 08-Nov-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 0.225 (datum dogodka: 15-Apr-1997)



Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 4.316

Leto - 1998 - letni maximum: 75.561 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 0.225 (datum dogodka: 30-Mar-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 5.959

Leto - 1999 - letni maximum: 31.713 (datum dogodka: 11-Jul-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 0.541 (datum dogodka: 01-Jan-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 4.407

Leto - 2000 - letni maximum: 78.600 (datum dogodka: 16-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 0.225 (datum dogodka: 29-Feb-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 5.431

Leto - 2001 - letni maximum: 53.669 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 0.152 (datum dogodka: 24-Dec-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 5.160

Leto - 2002 - letni maximum: 51.708 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 0.152 (datum dogodka: 21-Jan-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 4.064

Leto - 2003 - letni maximum: 54.707 (datum dogodka: 27-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 0.040 (datum dogodka: 25-Aug-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 2.199

Mesec - 1 - mesečni maximum: 46.749 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 0.152 (datum dogodka: 26-Jan-1992)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 3.444

Mesec - 2 - mesečni maximum: 24.095 (datum dogodka: 27-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 0.195 (datum dogodka: 01-Feb-1992)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 1.762

Mesec - 3 - mesečni maximum: 53.669 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 0.058 (datum dogodka: 18-Mar-1992)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 3.516

Mesec - 4 - mesečni maximum: 29.002 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 0.053 (datum dogodka: 01-Apr-1993)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 4.507

Mesec - 5 - mesečni maximum: 63.700 (datum dogodka: 11-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 0.602 (datum dogodka: 24-May-1993)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 6.075

Mesec - 6 - mesečni maximum: 34.600 (datum dogodka: 28-Jun-1991)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 0.322 (datum dogodka: 03-Jun-1993)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 5.283

Mesec - 7 - mesečni maximum: 58.728 (datum dogodka: 02-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 0.150 (datum dogodka: 16-Jul-2003)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 4.150

Mesec - 8 - mesečni maximum: 51.708 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 0.040 (datum dogodka: 25-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 2.698

Mesec - 9 - mesečni maximum: 53.632 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 0.083 (datum dogodka: 01-Sep-1992)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 4.222

Mesec - 10 - mesečni maximum: 80.300 (datum dogodka: 22-Oct-1993)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 0.054 (datum dogodka: 19-Oct-1995)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 7.928

Mesec - 11 - mesečni maximum: 79.200 (datum dogodka: 17-Nov-1992)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 0.225 (datum dogodka: 01-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 10.620

Mesec - 12 - mesečni maximum: 66.700 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 0.152 (datum dogodka: 24-Dec-2001)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 5.215

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	78.60
0.10	73.10
0.20	66.70
0.30	58.70
0.40	57.70
0.50	52.90
1.00	40.00
2.00	29.60
3.00	24.10
4.00	21.40
5.00	18.70
6.00	16.00
7.00	14.80
8.00	13.10
9.00	12.30
10.00	11.40
20.00	7.00
30.00	4.70
40.00	3.30
50.00	2.30
60.00	1.60
70.00	1.00
80.00	0.60
90.00	0.30
91.00	0.30
92.00	0.30
93.00	0.30
94.00	0.20
95.00	0.20
96.00	0.20
97.00	0.10
98.00	0.10
99.00	0.00
100.00	0.00

## Ljubljana – vodomerna postaja Moste



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 319.075 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Minimum: 4.484 (datum dogodka: 25-Aug-2003)  
Povprecje: 54.019  
Mediana: 33.206

Leto - 1991 - letni maximum: 296.000 (datum dogodka: 21-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 5.350 (datum dogodka: 19-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 55.567

Leto - 1992 - letni maximum: 280.000 (datum dogodka: 31-Oct-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 6.020 (datum dogodka: 28-Sep-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 58.488

Leto - 1993 - letni maximum: 309.000 (datum dogodka: 23-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 6.020 (datum dogodka: 20-Aug-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 50.088

Leto - 1994 - letni maximum: 247.154 (datum dogodka: 29-Oct-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 8.022 (datum dogodka: 10-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 54.570

Leto - 1995 - letni maximum: 249.049 (datum dogodka: 05-Mar-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 12.432 (datum dogodka: 17-Aug-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 66.913

Leto - 1996 - letni maximum: 258.387 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 12.432 (datum dogodka: 24-Aug-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 72.125

Leto - 1997 - letni maximum: 233.711 (datum dogodka: 04-Dec-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 5.329 (datum dogodka: 29-Oct-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 49.657

Leto - 1998 - letni maximum: 319.075 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 8.546 (datum dogodka: 30-Mar-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 53.489

Leto - 1999 - letni maximum: 187.862 (datum dogodka: 19-Apr-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 8.075 (datum dogodka: 17-Sep-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 53.061

Leto - 2000 - letni maximum: 250.000 (datum dogodka: 09-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 5.370 (datum dogodka: 15-Sep-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 53.927

Leto - 2001 - letni maximum: 246.335 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 4.498 (datum dogodka: 30-Aug-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 54.562

Leto - 2002 - letni maximum: 221.273 (datum dogodka: 24-Oct-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 9.672 (datum dogodka: 03-Aug-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 48.399

Leto - 2003 - letni maximum: 227.017 (datum dogodka: 27-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 4.484 (datum dogodka: 25-Aug-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 31.344

Mesec - 1 - mesečni maximum: 246.335 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 10.146 (datum dogodka: 20-Jan-2002)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 66.800

Mesec - 2 - mesečni maximum: 224.887 (datum dogodka: 27-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 7.540 (datum dogodka: 25-Feb-1993)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 45.437

Mesec - 3 - mesečni maximum: 249.049 (datum dogodka: 05-Mar-1995)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 6.580 (datum dogodka: 09-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 53.625

Mesec - 4 - mesečni maximum: 194.904 (datum dogodka: 08-Apr-1996)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 9.039 (datum dogodka: 01-Apr-1998)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 62.201

Mesec - 5 - mesečni maximum: 244.000 (datum dogodka: 05-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 9.737 (datum dogodka: 30-May-2003)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 43.005

Mesec - 6 - mesečni maximum: 174.000 (datum dogodka: 08-Jun-1991)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 5.706 (datum dogodka: 13-Jun-2003)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 32.811

Mesec - 7 - mesečni maximum: 219.461 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 5.379 (datum dogodka: 26-Jul-2003)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 25.240

Mesec - 8 - mesečni maximum: 205.273 (datum dogodka: 29-Aug-1995)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 4.484 (datum dogodka: 25-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 18.237

Mesec - 9 - mesečni maximum: 214.092 (datum dogodka: 21-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 4.484 (datum dogodka: 08-Sep-2003)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 39.700

Mesec - 10 - mesečni maximum: 309.000 (datum dogodka: 23-Oct-1993)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 5.329 (datum dogodka: 29-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 76.449

Mesec - 11 - mesečni maximum: 319.075 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 5.743 (datum dogodka: 01-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 101.460

Mesec - 12 - mesečni maximum: 261.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 10.146 (datum dogodka: 21-Dec-2001)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 83.149

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	300.00
0.10	292.00
0.20	274.00
0.30	266.00
0.40	261.00
0.50	250.00
1.00	233.00
2.00	214.00
3.00	197.00
4.00	184.00
5.00	174.00
6.00	163.00
7.00	155.00
8.00	147.00
9.00	140.00
10.00	133.00
20.00	87.80
30.00	58.40
40.00	43.80
50.00	33.20
60.00	25.00
70.00	19.50
80.00	14.90
90.00	10.00
91.00	9.50
92.00	9.00
93.00	8.40
94.00	7.90
95.00	7.50
96.00	7.10
97.00	6.70
98.00	6.30
99.00	5.60
100.00	5.60

## Sava – vodomerna postaja Hrastnik



Število podatkov: 3652

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1994  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 1423.137 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Minimum: 30.804 (datum dogodka: 13-Aug-2003)  
Povprečje: 152.758  
Mediana: 112.744

Leto - 1994 - letni maximum: 623.210 (datum dogodka: 29-Oct-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 44.023 (datum dogodka: 10-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 147.327

Leto - 1995 - letni maximum: 775.896 (datum dogodka: 24-Dec-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 50.737 (datum dogodka: 15-Aug-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 167.671

Leto - 1996 - letni maximum: 1128.073 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 62.560 (datum dogodka: 09-Sep-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 187.534

Leto - 1997 - letni maximum: 813.438 (datum dogodka: 08-Nov-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 37.463 (datum dogodka: 04-Nov-1997)  
Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 132.240

Leto - 1998 - letni maximum: 1423.137 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 43.169 (datum dogodka: 01-Apr-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 165.699

Leto - 1999 - letni maximum: 707.182 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 54.081 (datum dogodka: 20-Sep-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 153.704

Leto - 2000 - letni maximum: 1255.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 39.900 (datum dogodka: 15-Sep-2000)

Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 171.806

Leto - 2001 - letni maximum: 964.639 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 40.666 (datum dogodka: 26-Aug-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 165.711

Leto - 2002 - letni maximum: 728.658 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 42.042 (datum dogodka: 20-Jan-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 136.009

Leto - 2003 - letni maximum: 810.672 (datum dogodka: 02-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 30.804 (datum dogodka: 13-Aug-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 99.727

Mesec - 1 - mesečni maximum: 964.639 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 42.042 (datum dogodka: 20-Jan-2002)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 173.444

Mesec - 2 - mesečni maximum: 479.915 (datum dogodka: 27-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 51.215 (datum dogodka: 12-Feb-1998)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 118.603

Mesec - 3 - mesečni maximum: 910.440 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 44.886 (datum dogodka: 28-Mar-1998)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 154.843

Mesec - 4 - mesečni maximum: 707.182 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 43.169 (datum dogodka: 01-Apr-1998)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 175.815

Mesec - 5 - mesečni maximum: 418.758 (datum dogodka: 04-May-1996)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 53.115 (datum dogodka: 18-May-2003)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 137.831

Mesec - 6 - mesečni maximum: 397.804 (datum dogodka: 12-Jun-1995)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 39.045 (datum dogodka: 14-Jun-2003)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 117.244

Mesec - 7 - mesečni maximum: 928.655 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 35.161 (datum dogodka: 27-Jul-2003)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 113.240

Mesec - 8 - mesečni maximum: 728.658 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 30.804 (datum dogodka: 13-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 85.690

Mesec - 9 - mesečni maximum: 662.134 (datum dogodka: 20-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 35.919 (datum dogodka: 23-Sep-2003)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 132.607

Mesec - 10 - mesečni maximum: 1265.538 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 39.851 (datum dogodka: 29-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 185.312

Mesec - 11 - mesečni maximum: 1423.137 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 37.463 (datum dogodka: 04-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 255.403

Mesec - 12 - mesečni maximum: 775.896 (datum dogodka: 24-Dec-1995)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 46.212 (datum dogodka: 25-Dec-2001)  
Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 182.237

#### Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	1265.00
0.10	1128.00
0.20	1064.00
0.30	964.00
0.40	904.00
0.50	841.00
1.00	670.00

2.00	520.00
3.00	453.00
4.00	413.00
5.00	380.00
6.00	353.00
7.00	331.00
8.00	316.00
9.00	300.00
10.00	288.00
20.00	210.00
30.00	164.00
40.00	134.00
50.00	112.00
60.00	96.20
70.00	83.00
80.00	71.00
90.00	58.00
91.00	56.00
92.00	54.00
93.00	52.20
94.00	50.20
95.00	48.40
96.00	46.60
97.00	44.00
98.00	41.40
99.00	38.20
100.00	38.20



## Savinja – vodomerna postaja Veliko Širje



Število podatkov: 3652

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1994  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 1037.110 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Minimum: 4.095 (datum dogodka: 23-Aug-2003)  
Povprecje: 39.085  
Mediana: 24.959

Leto - 1994 - letni maximum: 391.967 (datum dogodka: 31-Dec-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 11.488 (datum dogodka: 06-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 38.398

Leto - 1995 - letni maximum: 436.602 (datum dogodka: 15-Sep-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 9.528 (datum dogodka: 08-Aug-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 45.708

Leto - 1996 - letni maximum: 555.525 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 11.648 (datum dogodka: 19-Jun-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 55.630

Leto - 1997 - letni maximum: 256.726 (datum dogodka: 04-Dec-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 8.064 (datum dogodka: 01-Nov-1997)  
Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 36.282

Leto - 1998 - letni maximum: 1037.110 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 8.735 (datum dogodka: 22-Jun-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 45.459

Leto - 1999 - letni maximum: 354.971 (datum dogodka: 21-May-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 13.773 (datum dogodka: 17-Sep-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 44.338

Leto - 2000 - letni maximum: 407.000 (datum dogodka: 07-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 7.710 (datum dogodka: 31-Aug-2000)

Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 35.567

Leto - 2001 - letni maximum: 399.070 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 8.237 (datum dogodka: 25-Dec-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 37.292

Leto - 2002 - letni maximum: 252.677 (datum dogodka: 06-Dec-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 8.651 (datum dogodka: 24-Jun-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 30.507

Leto - 2003 - letni maximum: 199.283 (datum dogodka: 02-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 4.095 (datum dogodka: 23-Aug-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 21.634

Mesec - 1 - mesečni maximum: 399.070 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 8.790 (datum dogodka: 18-Jan-2002)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 41.594

Mesec - 2 - mesečni maximum: 243.419 (datum dogodka: 27-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 9.376 (datum dogodka: 04-Feb-2002)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 28.821

Mesec - 3 - mesečni maximum: 291.243 (datum dogodka: 03-Mar-1995)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 10.963 (datum dogodka: 29-Mar-1998)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 38.753

Mesec - 4 - mesečni maximum: 259.168 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 9.376 (datum dogodka: 08-Apr-2002)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 45.586

Mesec - 5 - mesečni maximum: 354.971 (datum dogodka: 21-May-1999)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 7.937 (datum dogodka: 19-May-2003)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 32.059

Mesec - 6 - mesečni maximum: 194.735 (datum dogodka: 13-Jun-1994)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 5.437 (datum dogodka: 24-Jun-2003)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 30.555

Mesec - 7 - mesečni maximum: 555.525 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 4.758 (datum dogodka: 21-Jul-2003)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 33.935

Mesec - 8 - mesečni maximum: 240.084 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 4.095 (datum dogodka: 23-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 26.035

Mesec - 9 - mesečni maximum: 436.602 (datum dogodka: 15-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 6.068 (datum dogodka: 08-Sep-2003)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 40.159

Mesec - 10 - mesečni maximum: 400.138 (datum dogodka: 07-Oct-1998)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 7.636 (datum dogodka: 03-Oct-2003)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 46.109

Mesec - 11 - mesečni maximum: 1037.110 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 8.064 (datum dogodka: 01-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 57.941

Mesec - 12 - mesečni maximum: 391.967 (datum dogodka: 31-Dec-1994)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 8.237 (datum dogodka: 25-Dec-2001)  
Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 47.124

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	555.00
0.10	407.00
0.20	384.00
0.30	354.00
0.40	335.00
0.50	280.00
1.00	242.00
2.00	187.00

3.00	153.00
4.00	133.00
5.00	116.00
6.00	106.00
7.00	96.40
8.00	89.30
9.00	81.70
10.00	77.10
20.00	50.70
30.00	37.50
40.00	30.30
50.00	24.90
60.00	20.90
70.00	17.30
80.00	14.20
90.00	11.10
91.00	10.80
92.00	10.30
93.00	10.00
94.00	9.70
95.00	9.30
96.00	9.00
97.00	8.30
98.00	7.00
99.00	5.40
100.00	5.40

## Krka – vodomerna postaja Podbočje



Število podatkov: 4748

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2003

Maksimum: 356.000 (datum dogodka: 24-Oct-1993)  
Minimum: 4.505 (datum dogodka: 20-Jul-2003)  
Povprecje: 49.183  
Mediana: 28.846

Leto - 1991 - letni maximum: 352.000 (datum dogodka: 22-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 8.050 (datum dogodka: 21-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 48.447

Leto - 1992 - letni maximum: 312.000 (datum dogodka: 01-Nov-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 7.930 (datum dogodka: 19-Aug-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 50.304

Leto - 1993 - letni maximum: 356.000 (datum dogodka: 24-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 7.050 (datum dogodka: 21-Aug-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 50.229

Leto - 1994 - letni maximum: 259.170 (datum dogodka: 14-Jun-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 10.338 (datum dogodka: 12-Jul-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 46.375

Leto - 1995 - letni maximum: 277.289 (datum dogodka: 05-Mar-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 14.225 (datum dogodka: 16-Aug-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 63.339

Leto - 1996 - letni maximum: 212.801 (datum dogodka: 26-Sep-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 11.569 (datum dogodka: 24-Jul-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 60.570

Leto - 1997 - letni maximum: 248.548 (datum dogodka: 04-Dec-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 8.211 (datum dogodka: 29-Oct-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 38.672

Leto - 1998 - letni maximum: 279.929 (datum dogodka: 21-Oct-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 10.763 (datum dogodka: 27-Feb-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 45.848

Leto - 1999 - letni maximum: 290.143 (datum dogodka: 22-May-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 13.522 (datum dogodka: 05-Nov-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 61.134

Leto - 2000 - letni maximum: 281.000 (datum dogodka: 09-Oct-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 8.090 (datum dogodka: 13-Sep-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 41.332

Leto - 2001 - letni maximum: 245.127 (datum dogodka: 18-Sep-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 7.908 (datum dogodka: 30-Aug-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 49.114

Leto - 2002 - letni maximum: 303.426 (datum dogodka: 07-Dec-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 12.164 (datum dogodka: 11-Jul-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 54.342

Leto - 2003 - letni maximum: 127.448 (datum dogodka: 28-Nov-2003)  
Leto - 2003 - letni minimum: 4.505 (datum dogodka: 20-Jul-2003)  
Leto - 2003 - srednja letna vrednost: 29.667

Mesec - 1 - mesečni maximum: 262.846 (datum dogodka: 02-Jan-1995)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 10.900 (datum dogodka: 28-Jan-1992)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 57.592

Mesec - 2 - mesečni maximum: 258.062 (datum dogodka: 28-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 10.763 (datum dogodka: 27-Feb-1998)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 44.246

Mesec - 3 - mesečni maximum: 277.289 (datum dogodka: 05-Mar-1995)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 9.450 (datum dogodka: 13-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 50.155

Mesec - 4 - mesečni maximum: 238.876 (datum dogodka: 14-Apr-2002)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 12.206 (datum dogodka: 02-Apr-1998)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 64.283

Mesec - 5 - mesečni maximum: 290.143 (datum dogodka: 22-May-1999)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 11.377 (datum dogodka: 15-May-2003)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 40.350

Mesec - 6 - mesečni maximum: 259.170 (datum dogodka: 14-Jun-1994)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 7.736 (datum dogodka: 25-Jun-2003)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 34.082

Mesec - 7 - mesečni maximum: 244.765 (datum dogodka: 12-Jul-1999)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 4.505 (datum dogodka: 20-Jul-2003)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 26.226

Mesec - 8 - mesečni maximum: 206.279 (datum dogodka: 29-Aug-1995)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 4.505 (datum dogodka: 12-Aug-2003)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 20.270

Mesec - 9 - mesečni maximum: 263.164 (datum dogodka: 16-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 5.275 (datum dogodka: 08-Sep-2003)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 41.690

Mesec - 10 - mesečni maximum: 356.000 (datum dogodka: 24-Oct-1993)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 8.211 (datum dogodka: 29-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 63.446

Mesec - 11 - mesečni maximum: 352.000 (datum dogodka: 22-Nov-1991)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 8.211 (datum dogodka: 02-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 74.399

Mesec - 12 - mesečni maximum: 303.426 (datum dogodka: 07-Dec-2002)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 10.505 (datum dogodka: 20-Dec-2003)

Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 73.593

Krivulja trajanja pretoka

Trajanje	Pretok [m <sup>3</sup> /s]
0.05	342.00
0.10	326.00
0.20	303.00
0.30	290.00
0.40	281.00
0.50	276.00
1.00	249.00
2.00	217.00
3.00	199.00
4.00	183.00
5.00	170.00
6.00	157.00
7.00	146.00
8.00	136.00
9.00	126.00
10.00	119.00
20.00	72.10
30.00	47.80
40.00	36.50
50.00	28.80
60.00	23.40
70.00	19.30
80.00	15.60
90.00	11.80
91.00	11.40
92.00	11.00
93.00	10.50
94.00	10.00
95.00	9.50
96.00	9.30
97.00	8.70
98.00	8.00
99.00	6.80
100.00	6.80

## Sava – vodomerna postaja Jesenice na Dolenjskem



Število podatkov: 4383

Zacetek analiziranega obdobja : 01-Jan-1991  
Konec analiziranega obdobja : 31-Dec-2002

Maksimum: 2430.000 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Minimum: 51.400 (datum dogodka: 24-Aug-1993)  
Povprečje: 268.135  
Mediana: 192.000

Leto - 1991 - letni maximum: 2204.000 (datum dogodka: 21-Nov-1991)  
Leto - 1991 - letni minimum: 74.000 (datum dogodka: 21-Sep-1991)  
Leto - 1991 - srednja letna vrednost: 289.466

Leto - 1992 - letni maximum: 1762.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Leto - 1992 - letni minimum: 53.200 (datum dogodka: 30-Aug-1992)  
Leto - 1992 - srednja letna vrednost: 274.653

Leto - 1993 - letni maximum: 2306.000 (datum dogodka: 24-Oct-1993)  
Leto - 1993 - letni minimum: 51.400 (datum dogodka: 24-Aug-1993)  
Leto - 1993 - srednja letna vrednost: 222.898

Leto - 1994 - letni maximum: 1188.000 (datum dogodka: 31-Dec-1994)  
Leto - 1994 - letni minimum: 74.300 (datum dogodka: 07-Aug-1994)  
Leto - 1994 - srednja letna vrednost: 252.239

Leto - 1995 - letni maximum: 1371.000 (datum dogodka: 24-Dec-1995)  
Leto - 1995 - letni minimum: 77.000 (datum dogodka: 15-Aug-1995)  
Leto - 1995 - srednja letna vrednost: 299.208

Leto - 1996 - letni maximum: 1776.000 (datum dogodka: 19-Nov-1996)  
Leto - 1996 - letni minimum: 90.400 (datum dogodka: 17-Jun-1996)  
Leto - 1996 - srednja letna vrednost: 332.069

Leto - 1997 - letni maximum: 1213.000 (datum dogodka: 04-Dec-1997)  
Leto - 1997 - letni minimum: 63.500 (datum dogodka: 31-Oct-1997)

Leto - 1997 - srednja letna vrednost: 224.682

Leto - 1998 - letni maximum: 2430.000 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Leto - 1998 - letni minimum: 74.400 (datum dogodka: 02-Apr-1998)  
Leto - 1998 - srednja letna vrednost: 272.315

Leto - 1999 - letni maximum: 1082.955 (datum dogodka: 21-May-1999)  
Leto - 1999 - letni minimum: 94.333 (datum dogodka: 18-Sep-1999)  
Leto - 1999 - srednja letna vrednost: 273.348

Leto - 2000 - letni maximum: 1947.800 (datum dogodka: 08-Nov-2000)  
Leto - 2000 - letni minimum: 61.460 (datum dogodka: 30-Aug-2000)  
Leto - 2000 - srednja letna vrednost: 262.563

Leto - 2001 - letni maximum: 1719.360 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Leto - 2001 - letni minimum: 60.742 (datum dogodka: 31-Aug-2001)  
Leto - 2001 - srednja letna vrednost: 273.734

Leto - 2002 - letni maximum: 1190.952 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Leto - 2002 - letni minimum: 75.783 (datum dogodka: 20-Jan-2002)  
Leto - 2002 - srednja letna vrednost: 240.270

Mesec - 1 - mesečni maximum: 1719.360 (datum dogodka: 26-Jan-2001)  
Mesec - 1 - mesečni minimum: 75.783 (datum dogodka: 20-Jan-2002)  
Mesec - 1 - srednja mesečna vrednost: 280.522

Mesec - 2 - mesečni maximum: 1017.000 (datum dogodka: 27-Feb-1995)  
Mesec - 2 - mesečni minimum: 71.600 (datum dogodka: 25-Feb-1993)  
Mesec - 2 - srednja mesečna vrednost: 206.796

Mesec - 3 - mesečni maximum: 1321.953 (datum dogodka: 05-Mar-2001)  
Mesec - 3 - mesečni minimum: 64.200 (datum dogodka: 22-Mar-1993)  
Mesec - 3 - srednja mesečna vrednost: 257.957

Mesec - 4 - mesečni maximum: 963.572 (datum dogodka: 17-Apr-1999)  
Mesec - 4 - mesečni minimum: 74.400 (datum dogodka: 02-Apr-1998)  
Mesec - 4 - srednja mesečna vrednost: 302.820

Mesec - 5 - mesečni maximum: 1099.000 (datum dogodka: 05-May-1991)  
Mesec - 5 - mesečni minimum: 70.700 (datum dogodka: 26-May-1993)  
Mesec - 5 - srednja mesečna vrednost: 249.244

Mesec - 6 - mesečni maximum: 631.000 (datum dogodka: 14-Jun-1994)  
Mesec - 6 - mesečni minimum: 67.500 (datum dogodka: 02-Jun-1993)  
Mesec - 6 - srednja mesečna vrednost: 208.608

Mesec - 7 - mesečni maximum: 1545.000 (datum dogodka: 03-Jul-1996)  
Mesec - 7 - mesečni minimum: 63.500 (datum dogodka: 19-Jul-1993)  
Mesec - 7 - srednja mesečna vrednost: 180.895

Mesec - 8 - mesečni maximum: 1190.952 (datum dogodka: 12-Aug-2002)  
Mesec - 8 - mesečni minimum: 51.400 (datum dogodka: 24-Aug-1993)  
Mesec - 8 - srednja mesečna vrednost: 135.725

Mesec - 9 - mesečni maximum: 1279.000 (datum dogodka: 15-Sep-1995)  
Mesec - 9 - mesečni minimum: 53.200 (datum dogodka: 01-Sep-1992)  
Mesec - 9 - srednja mesečna vrednost: 222.012

Mesec - 10 - mesečni maximum: 2306.000 (datum dogodka: 24-Oct-1993)  
Mesec - 10 - mesečni minimum: 63.500 (datum dogodka: 31-Oct-1997)  
Mesec - 10 - srednja mesečna vrednost: 368.276

Mesec - 11 - mesečni maximum: 2430.000 (datum dogodka: 05-Nov-1998)  
Mesec - 11 - mesečni minimum: 63.600 (datum dogodka: 04-Nov-1997)  
Mesec - 11 - srednja mesečna vrednost: 452.693

Mesec - 12 - mesečni maximum: 1762.000 (datum dogodka: 06-Dec-1992)  
Mesec - 12 - mesečni minimum: 76.521 (datum dogodka: 25-Dec-2001)  
Mesec - 12 - srednja mesečna vrednost: 350.299

Krivulja trajanja pretoka  
Trajanje Pretok [m3/s]



0.05	2259.00
0.10	2168.00
0.20	1779.00
0.30	1657.00
0.40	1602.00
0.50	1558.00
1.00	1213.00
2.00	968.00
3.00	881.00
4.00	770.00
5.00	703.00
6.00	650.00
7.00	615.00
8.00	583.00
9.00	553.00
10.00	530.00
20.00	375.00
30.00	288.00
40.00	230.00
50.00	192.00
60.00	162.00
70.00	137.00
80.00	114.00
90.00	89.60
91.00	86.60
92.00	83.90
93.00	81.20
94.00	78.50
95.00	76.10
96.00	72.90
97.00	69.70
98.00	66.30
99.00	61.50
100.00	51.40

## PRILOGA B – REZULTATI MODELIRANJA ZA HIDROELEKTRARNE

### Primerjava rezultatov za HE Moste

Datum izdelave 7-dnevne napovedi	Povprečna napaka modela napovedi [%]					
	Model #1	Model #1 - korigiran	Model #2	Model #2 - korigiran	Model #3	Model #3 - korigiran
28-Oct-2005	5.7	0.6	3.0	1.3	8.1	1.4
29-Oct-2005	4.3	1.8	2.2	2.6	9.4	2.3
30-Oct-2005	1.6	2.5	2.5	1.6	14.2	1.7
03-Nov-2005	2.5	2.2	2.4	2.4	11.9	2.3
08-Nov-2005	2.1	5.6	2.0	4.8	13.9	5.0
07-Mar-2006	8.8	11.8	6.3	13.4	21.9	13.0
08-Mar-2006	8.3	8.9	6.2	9.3	21.2	9.2
09-Mar-2006	8.3	8.8	5.6	9.2	21.5	9.1
12-Mar-2006	4.6	2.5	2.6	2.6	18.5	2.6
13-Mar-2006	13.4	5.1	6.5	4.5	26.3	4.6
25-Jun-2006	6.4	9.7	8.6	8.9	18.4	8.8
04-Jul-2006	8.6	6.7	10.0	5.5	20.8	5.8
05-Jul-2006	8.2	1.9	9.5	1.3	20.4	1.4
11-Jul-2006	6.4	2.6	6.9	3.0	19.0	3.0
06-Aug-2006	9.8	8.4	9.2	7.1	22.1	7.3
07-Aug-2006	7.5	6.0	7.0	5.4	20.1	5.5
08-Aug-2006	13.2	6.5	11.9	6.0	25.2	6.1
17-Aug-2006	5.4	3.9	4.5	3.5	18.4	3.6
18-Aug-2006	9.5	5.8	7.6	5.4	22.1	5.5
21-Aug-2006	14.2	8.4	11.3	7.7	26.3	7.9
<b>Povprečna vrednost</b>	<b>7.4</b>	<b>5.5</b>	<b>6.3</b>	<b>5.3</b>	<b>19.0</b>	<b>5.3</b>
<b>Minimalna vrednost</b>	<b>1.6</b>	<b>0.6</b>	<b>2.0</b>	<b>1.3</b>	<b>8.1</b>	<b>1.4</b>
<b>Maksimalna vrednost</b>	<b>14.2</b>	<b>11.8</b>	<b>11.9</b>	<b>13.4</b>	<b>26.3</b>	<b>13.0</b>

### Primerjava rezultatov za HE Mavčiče

Datum izdelave 7-dnevne napovedi	Povprečna napaka modela napovedi [%]					
	Model #1	Model #1 - korigiran	Model #2	Model #2 - korigiran	Model #3	Model #3 - korigiran
01-Jan-2005	15.9	10.5	12.8	10.3	10.5	10.7
02-Jan-2005	18.8	14.1	16.9	14.1	13.3	14.4
07-May-2005	31.8	25.6	26.7	32.0	49.9	19.5
08-May-2005	22.1	12.1	20.7	14.7	41.5	10.6
21-May-2005	13.3	7.6	11.0	10.0	31.1	6.8
22-May-2005	8.4	12.4	8.5	16.2	21.5	9.4
24-May-2005	11.1	11.9	12.2	15.2	28.6	8.8
25-May-2005	7.5	11.0	8.9	13.5	19.1	9.6
26-May-2005	7.1	11.3	7.3	11.3	26.5	12.4
28-May-2005	3.2	16.9	3.2	17.2	19.1	15.2
29-May-2005	3.6	3.6	3.7	3.6	17.7	3.7

01-Jun-2005	8.2	5.6	9.3	5.5	27.4	5.7
04-Jun-2005	7.9	15.4	6.5	15.9	15.8	13.4
08-Jun-2005	5.8	11.1	4.0	11.0	17.1	10.0
09-Jun-2005	4.1	7.2	9.2	7.7	26.3	7.2
29-Oct-2005	6.5	10.6	4.3	10.2	15.7	11.3
09-Dec-2005	22.3	9.4	15.9	11.8	42.7	12.8
10-Dec-2005	15.2	14.0	12.2	10.4	34.3	20.1
11-Dec-2005	11.1	13.8	12.3	14.2	18.5	15.5
<b>Povprečna vrednost</b>	<b>11.8</b>	<b>11.8</b>	<b>10.8</b>	<b>12.9</b>	<b>25.1</b>	<b>11.4</b>
<b>Minimalna vrednost</b>	<b>3.2</b>	<b>3.6</b>	<b>3.2</b>	<b>3.6</b>	<b>10.5</b>	<b>3.7</b>
<b>Maksimalna vrednost</b>	<b>31.8</b>	<b>25.6</b>	<b>26.7</b>	<b>32.0</b>	<b>49.9</b>	<b>20.1</b>

### Primerjava rezultatov za HE Vrhovo

Datum izdelave 7-dnevne napovedi	Povprečna napaka modela napovedi [%]					
	Model #1	Model #1 - korigiran	Model #2	Model #2 - korigiran	Model #3	Model #3 - korigiran
09-Nov-2005	7.1	2.8	2.4	2.4	2.7	2.7
10-Nov-2005	10.8	4.8	4.4	3.9	4.8	4.6
11-Nov-2005	16.1	8.0	8.9	6.8	8.9	7.7
12-Nov-2005	8.9	2.6	1.8	3.2	2.0	2.7
13-Nov-2005	10.0	2.6	3.1	2.6	3.2	2.6
14-Nov-2005	13.4	6.2	5.0	5.1	5.5	5.9
17-Dec-2005	6.2	6.1	5.6	5.6	6.9	5.9
18-Dec-2005	12.2	12.7	10.6	10.7	7.7	12.0
20-Dec-2005	3.0	4.5	1.8	2.7	3.1	4.0
21-Dec-2005	3.6	5.8	3.6	4.9	5.2	5.4
22-Dec-2005	5.5	5.3	4.6	4.7	5.2	5.2
23-Dec-2005	6.5	6.7	5.6	6.0	6.1	6.5
24-Dec-2005	7.2	7.8	5.5	6.7	4.8	7.5
05-Jan-2007	7.3	6.0	5.0	5.5	5.7	5.9
06-Jan-2007	13.3	7.0	7.7	5.8	7.6	6.7
07-Jan-2007	20.3	11.7	13.3	10.3	13.4	11.4
08-Jan-2007	12.4	3.3	5.5	2.4	5.5	3.2
09-Jan-2007	16.1	7.8	9.0	6.7	9.0	7.6
10-Jan-2007	14.4	4.0	6.8	2.9	7.1	3.7
12-Jan-2007	9.5	3.5	1.5	4.5	1.7	3.7
13-Jan-2007	14.3	4.5	4.9	3.4	6.3	4.2
14-Jan-2007	10.6	2.1	1.2	3.1	2.4	2.3
28-Jan-2007	15.1	8.4	14.6	6.6	11.7	7.9
29-Jan-2007	11.6	4.3	11.0	2.9	8.1	3.9
14-Apr-2007	15.2	5.7	14.1	4.7	11.1	5.3
15-Apr-2007	14.5	4.8	12.9	3.5	10.2	4.4
16-Apr-2007	11.9	4.3	9.8	2.7	7.4	3.9
18-Apr-2007	7.5	4.0	4.8	4.2	2.9	4.0
19-Apr-2007	12.8	6.2	9.4	4.6	7.5	5.9
20-Apr-2007	14.4	6.5	10.5	5.2	9.0	6.2
21-Apr-2007	16.5	8.1	12.0	6.6	10.8	7.8

22-Apr-2007	17.4	10.0	13.1	8.8	11.6	9.7
23-Apr-2007	17.3	11.6	12.1	10.1	11.3	11.3
24-Apr-2007	14.8	9.1	9.9	7.9	8.7	8.8
06-May-2007	16.7	8.9	10.5	5.4	10.4	8.2
12-Jul-2007	9.9	35.3	16.9	40.1	17.3	36.1
13-Jul-2007	3.8	16.5	6.9	18.5	6.5	17.0
14-Jul-2007	17.4	4.1	6.9	6.0	8.3	4.6
15-Jul-2007	12.9	5.0	1.9	6.6	3.2	5.3
16-Jul-2007	6.3	11.2	8.6	12.6	6.9	11.4
02-Nov-2007	22.0	13.9	22.7	12.5	18.6	13.1
03-Nov-2007	9.4	2.9	9.3	3.1	5.9	2.9
04-Nov-2007	10.8	5.6	10.2	4.2	7.0	5.1
05-Nov-2007	13.8	3.3	13.1	3.2	9.7	3.3
06-Nov-2007	13.8	4.6	12.5	4.1	9.5	4.5
07-Nov-2007	14.6	6.2	12.9	5.2	10.0	5.8
08-Nov-2007	14.3	4.8	12.1	3.8	9.5	4.5
11-Nov-2007	15.0	12.8	11.5	10.0	9.6	12.3
13-Nov-2007	9.6	2.7	6.3	2.2	4.2	2.6
14-Nov-2007	10.8	7.6	7.2	6.2	4.8	7.2
16-Nov-2007	11.2	6.1	6.3	4.7	6.0	5.8
17-Nov-2007	13.8	11.3	8.5	10.1	7.3	11.0
<b>Povprečna vrednost</b>	<b>12.0</b>	<b>7.1</b>	<b>8.4</b>	<b>6.5</b>	<b>7.5</b>	<b>6.9</b>
<b>Minimalna vrednost</b>	<b>3.0</b>	<b>2.1</b>	<b>1.2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.7</b>	<b>2.3</b>
<b>Maksimalna vrednost</b>	<b>22.0</b>	<b>35.3</b>	<b>22.7</b>	<b>40.1</b>	<b>18.6</b>	<b>36.1</b>

## SLOVENSKI POVZETEK

Porečje Save obsega več kot polovico ozemlja Republike Slovenije. Na reki Savi je v trenutku pisanje magistrske naloge zgrajenih pet večjih hidroelektrarn, in sicer, hidroelektrarne Moste, Mavčiče, Medvode, Vrhovo in Boštanj. Določanje nizkih pretokov in raziskovanje sušnih pretokov je zelo pomembno za različne dejavnosti v okviru vodarstva. Suša s pomanjkanjem vode je namreč eden izmed največjih izzivov za upravljanje z vodami zaradi pomanjkanja vira, na katerega so vezani in od njega odvisni življenje in mnoge gospodarske dejavnosti. Varnost uporabnikov vode je tesno povezana z razpoložljivimi vodnimi viri, ki jih v času suš praviloma primanjkuje. Opredelitev količine razpoložljivih virov vode je osnovno izhodišče za načrtovanje in izkoriščanje vodnih virov v sušnih obdobjih.

V magistrski nalogi sem na podlagi uporabe hidrološkega znanja o dinamiki pretočnih količin v sušnih oziroma recesijskih obdobjih in uporabe metode strojnega učenja M5 razvil metodologijo razvoja enostavnih modelov napovedi nizkih pretokov. Metoda je bila implementirana in verificirana na podlagi uporabe podatkov vodomernih postaj na pritokih reke Save. Na podlagi tako razvitih modelov napovedi nizkih pretokov na pritokih reke Save sem razvil modele napovedi vtokov v akumulacije posameznih slovenskih hidroelektrarn na reki Savi v času hidroloških suš ter jih verificiral.

Za razvoj modelov v obliki regresijskih dreves, ki predstavljajo modele variabilnega recesijskega koeficienta  $k$ , sem v nalogi uporabil predvsem metodo strojnega učenja M5 iz programskega orodja WEKA. To orodje je bilo razvito na Univerzi Waikato na Novi Zelandiji (Witten & Frank, 2000). S tem, ko metodi strojnega učenja ponudimo dovolj vhodnih (atributov) in izhodnih podatkov, ki opisujejo modelirani proces, se le-ta iz posameznih primerov nauči vzorce obnašanja v okviru modeliranega procesa. Pri tem se celotni podatkovni prostor vhodnih spremenljivk deli na podprostore, katerih meje so v procesu razvoja modela optimizirane, znotraj posameznih podprostorov celotnega podatkovnega  $n$ -dimenzijskega prostora pa veljajo določeni vzorci, ki se jih lahko aproksimira z npr. nominalno ali konstantno numerično vrednostjo in linearno funkcijo.

Razviti so bili torej modeli napovedi nizkih pretokov za 7 dni vnaprej za večino slovenskih pritokov reke Save in na podlagi teh modelov so bili razviti tudi modeli 7-dnevnih napovedi nizkih pretokov na vtokih v akumulacije hidroelektrarn na reki Savi, katerih napako ocenjujem na približno 7-10%. Iz rezultatov v obliki modelov, ki so predstavljeni kot regresijska drevesa, se vidi, da nam o dinamiki vrednosti pretoka v naslednjih nekaj dneh več pove sprememba vrednosti pretoka ( $dQ$ ) kot pa sama vrednost pretoka v dnevu, ko se izdelava napoved ( $Q_t$ ). Model napovedi z variabilnim recesijskim koeficientom, ki ga izrazimo kot funkcijo vrednosti srednjega dnevnega pretoka ( $dQ$ ) in spremembe le-tega v dnevu izdelave napovedi ( $Q_t$ ), predstavlja z vidika obnašanja modelov napovedi nizkih pretokov izrazito izboljšavo.

Metode strojnega učenja za generiranje modelov v obliki odločitvenih dreves predstavljajo zelo uporaben in obetajoč pripomoček za iskanje novih znanj v podatkovnih bazah. Pri tem pa je potrebno poudariti, da je sam razvoj modela le eden izmed korakov pri iskanju novih znanj, saj izbor, zbiranje in priprava podatkov, nadzor nad razvojem modela in njegova

interpretacija, ki pa jih lahko opravi samo področni strokovnjak, predstavljajo prav tako pomembne stopnje razvoja novih znanj.

## ANGLEŠKI POVZETEK (SUMMARY)

In Slovenia the Sava River Basin comprises the central part of the country. There are five in-stream hydropower plants situated on the Slovenian part of the Sava River (hydropower plants Moste, Mavcice, Medvode, Vrhovo and Bostanj). Good and accurate long-term low flow forecasts are especially important in the fields of sustainable water management, water rights, water supply management, industrial use of freshwater, optimization of the reservoir operations for the production of electric energy and other water-related disciplines in the Sava River Basin. Aim of the work was to develop a model for forecasting 7-day ahead daily flows at the hydropower plants located on the Sava River.

Today, low flow forecasting is usually performed as an integrated part of calibrated rainfall-runoff models. In my work I developed a new methodology to develop empirical low flow forecasting models based on the conceptual knowledge of linear reservoir recession functions and the usage of the M5 machine learning method for the generation of regression and model trees. By feeding the M5 machine learning method with enough relevant input and output data about the modelled process, it can automatically learn the patterns underlying the modelled process from the data alone and it can divide the attribute data space into attribute subspaces where certain characteristic similarities or patterns exist. The division into attribute subspaces includes iterative splitting of data, and follows the goal of selecting and determining the splitting criterion at each decision node which maximises the distance between data groups at each split. The M5 machine learning method as it is implemented in the WEKA system, developed at the University of Waikato, New Zealand, was used in this research to generate regression tree models of the variable recession coefficient  $k$  to be used in the low-flow forecasting models for each gauging station. The algorithm of the original M5 method was invented by Quinlan and has been successfully used in hydrology in the last 10 years.

Low flow forecasting models for most of the Sava River's Slovenian tributaries were developed by using M5 machine learning method and integrated into the models for forecasting 7-day ahead daily flows at the hydropower plants located on the Sava River. Low flow forecasting models for hydropower stations produce a mean relative absolute error in the range of up to 7-10% when issuing 7-day ahead low flow forecasts. Verification of the low-flow forecasting models with the variable recession coefficient showed very good accuracy, especially when compared to the accuracy of the models with the constant (single-valued) recession coefficient, where the variability of the factors influencing the streamflow recession is not captured. From the structure of the regression trees generated, it can be learned that the degree of the flow rate change in the last 24 h tells us more about the streamflow recession dynamics in the next seven days than the flow rate at the time when the actual forecast is being issued.

Machine learning methods like M5 for generation of structurally transparent and explanatory regression tree models from the data have offered great promise in helping scientists in the process of model development. However, the development of hydrological models is only one of the steps in acquisition of new knowledge; the selection, collection and preparation of data, the control over the model development and the interpretation of the generated models by the scientists who understand the modelled processes are equally if not even more important.