

prof. dr. Mitja BRILLY *

doc. dr. Mojca ŠRAJ*

mag. Anja HORVAT**

mag. Andrej VIDMAR*

mag. Maja KOPRIVŠEK*

HIDROLOŠKA ŠTUDIJA REKE MURE

UVOD

V letu 2011 smo v sodelovanju s hidrološkimi službami Avstrije, Slovenije, Hrvaške in Madžarske izvedli hidrološko študijo reke Mure, ki vsebuje opis porečja Mure ter analizi padavin in pretokov. Analiza padavin je bila izdelana na osnovi podatkov iz 99 meteoroloških postaj, analiza pretokov pa na osnovi podatkov iz 24 hidroloških postaj; obe za obdobje 1961-2005. Več podatkovnih nizov ni bilo popolnih, na nekaterih merilnih mestih so se meritve začele po letu 1961.

Glavnina analize pretokov je bila izdelana na osnovi podatkov o mesečnih pretokih in je zajemala sezonsko porazdelitev pretokov, analizo sprememb srednjih letnih pretokov, Q95%, izračunan na podlagi srednjih dnevni vrednosti, korelacije med postajami, specifični pretok, homogenost podatkov, linearne in nelinearne trende, verjetnostne analize poplav ter nizkih pretokov in koeficient odtoka. Na osnovi teh analiz smo porečje Mure razdelili na zgornji, srednji in spodnji tok.

Izdelana je bila tudi pregledna karta porečja Mure in vzdolžni prerez reke Mure. Podatki o velikosti prispevnih površin in stacionaži rek so bili določeni z geografskim informacijskim sistemom porečja, izdelanim za potrebe projekta.

Ugotovitve hidrološke študije reke Mure so dobra osnova za nadaljnje usklajeno sodelovanje držav na porečju Mure.

OSNOVNE ZNAČILNOSTI POREČJA MURE

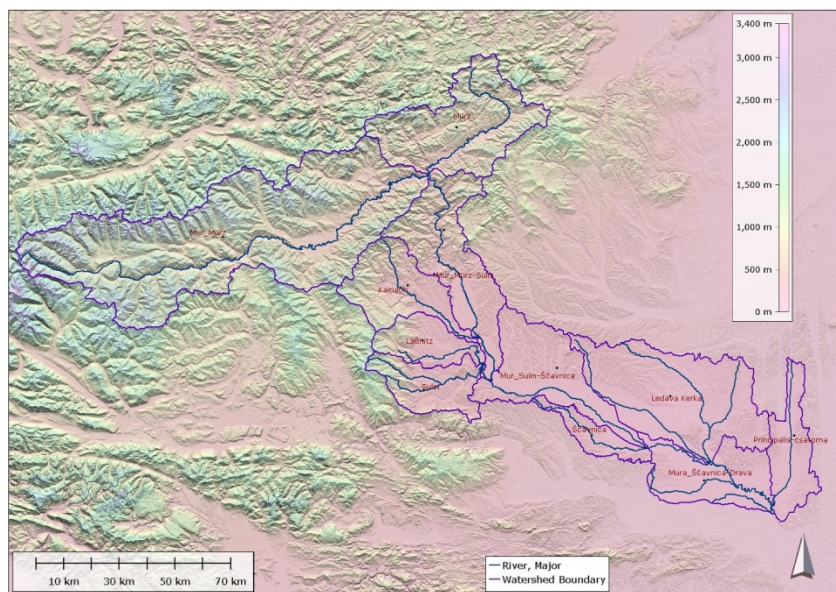
Opis porečja

Mura (madžarsko Mura, nemško Mur, hrvaško Mura, prekmursko Mūra, Möra) je reka, ki izvira v Radstadtskih Turah v Avstriji na nadmorski višini 1898 m. Reka Mura sprva teče proti vzhodu in severovzhodu, nato pa nad mestom Bruck an der Mur zavije proti jugu, skozi Gradec mimo Šentilja do avstrijsko-slovenske meje. Po meji teče do Radgone, nato skozi Slovenijo, potem po slovensko-hrvaški meji do hrvaško-madžarske meje in po njej, na Hrvaškem pa se pri Legradu kot levi pritok izlije v Dravo pri nadmorski višini 130 m. Vzdolž toka prečka Mura različne višinske stopnje (slika 1). Njena skupna dolžina je 465 km, od tega je v Avstriji 295 km, 35 km na meji med Slovenijo in Avstrijo, 98 km v Sloveniji, 30 km na meji med Hrvaško in Slovenijo in 48 km na meji med Hrvaško in Madžarsko. Celotno porečje meri 14371 km², od tega 10341 km² pripada Avstriji, 1400 km² Sloveniji, 590 km² Hrvaški in 2040 km² Madžarski.

Večji kraji ob Muri so: Murau, Judenburg, Gradec, Cmurek (Mureck), Gornja Radgona, Radenci in Mursko Središče.

Vzdolž toka reka Mura prečka več različnih klimatskih območij in ima zaradi različnih nadmorskih višin tudi spremenljiv rečni režim. Razmerje med nadmorsko višino in površino porečja je prikazano na sliki 2

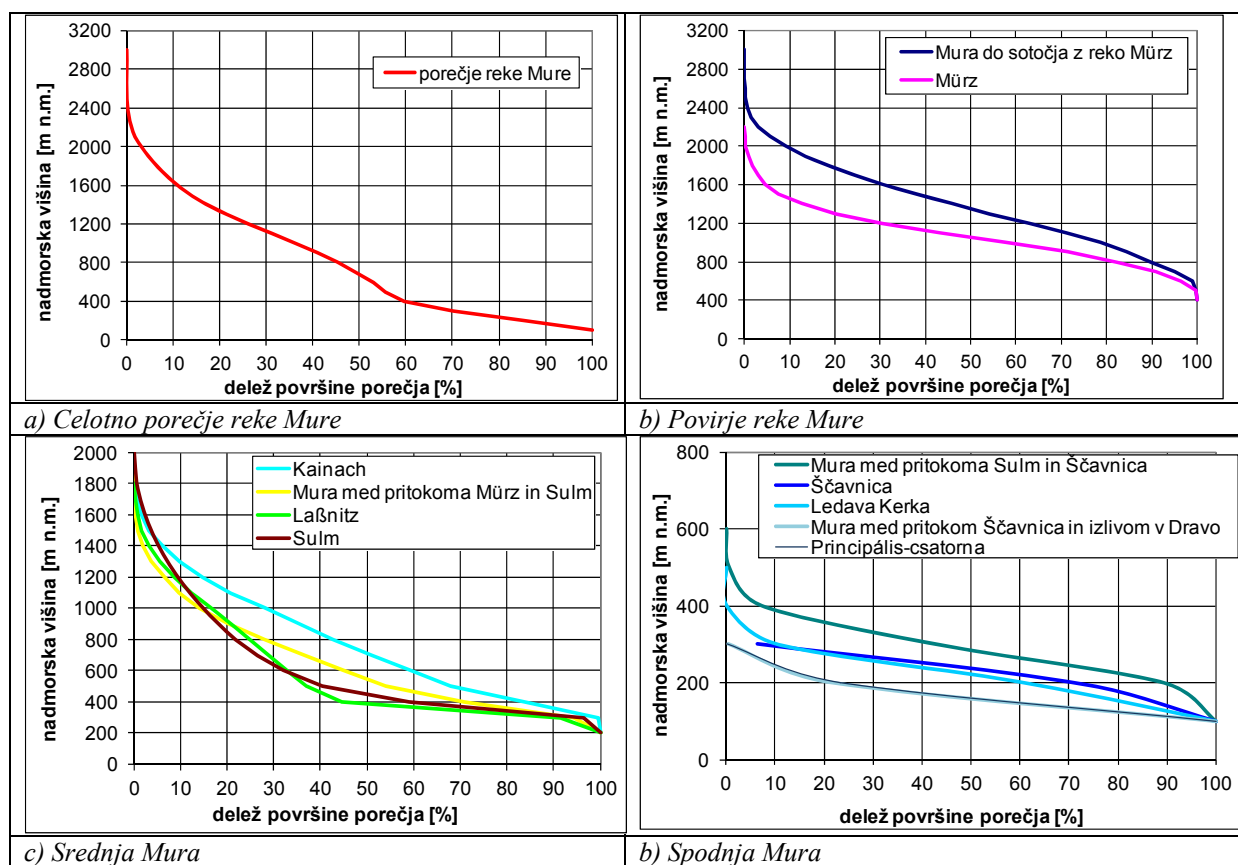
* prof. dr. Mitja BRILLY, univ. dipl. inž. grad., *doc. dr. Mojca ŠRAJ, univ. dipl. inž. grad, *mag Andrej VIDMAR, univ. dipl. inž. grad., *mag. Maja KOPRIVŠEK, univ. dipl. inž. vod. kom. inž., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana, **mag. Anja HORVAT, univ. dipl. inž. vod. kom. inž., Ministrstvo za okolje in prostor, Inšpektorat Republike Slovenije za okolje in prostor, Dunajska 47, 1000 Ljubljana



Slika 1: Relief porečja

Nadmorska višina porečja je med 130 in 3076 m n. m. Na krivulji odnosa med nadmorsko višino in deležem površine porečja je značilna prelomnica pri 400 m n. m. in 60 % površine porečja (slika 2a). Glede na topografske, morfološke in hidrološke lastnosti smo porečje razdelili na tri območja:

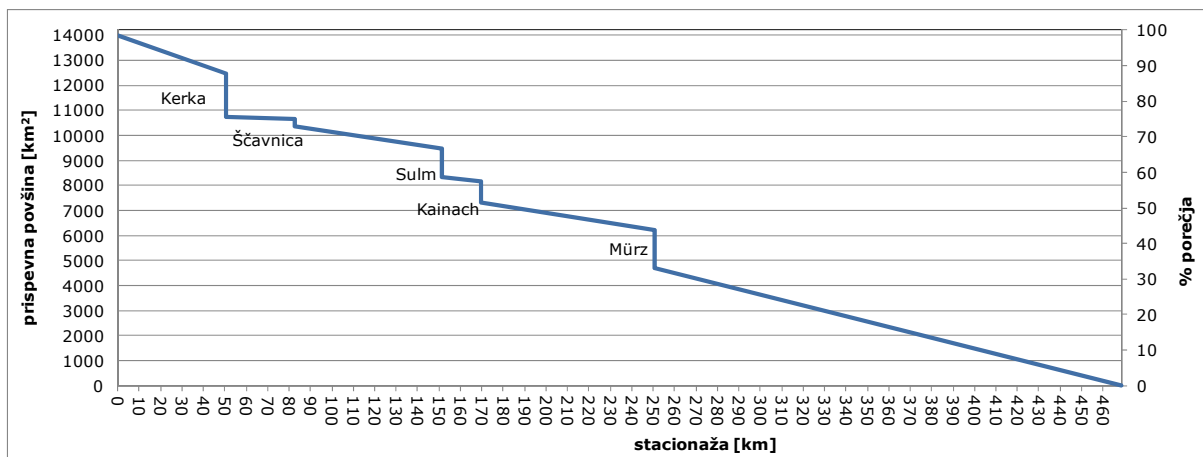
- povirje, ki zajema alpsko območje nadmorskih višin nad 470 m n. m. in sega od izvira reke Mure do sotočja z reko Mürz;
- srednji del reke Mure, ki obsega porečje med pritokoma Mürz in Sulm;
- spodnji del porečja, ki se prične dolvodno od pritoka reke Sulm in sega do vtoka Mure v reko Dravo.



Slika 2: Krivulja odnosa med nadmorsko višino in deležem površine porečja (v %) za posamezna območja porečja reke Mure

Povirje in srednji del porečja zajemata alpsko gorovje in hribovje na prehodu v Panonsko nižino ter se v celoti nahajata v Avstriji. Spodnji del porečja Mure zajema predvsem nižinski, panonski del porečja, ki se nahaja na območju vseh štirih držav: Avstrije, Slovenije, Hrvaške in Madžarske.

Velikost prispevnih površin vzdolž toka reke Mure je prikazana na sliki 3, iz katere je razvidno, da ima med pritoki reka Kerka največjo prispevno površino.



Slika 3: Velikost prispevnih površin vzdolž Mure

V preglednici 1 so zbrane glavne značilnosti porečja reke Mure.

Preglednica 1: Značilnosti porečja reke Mure

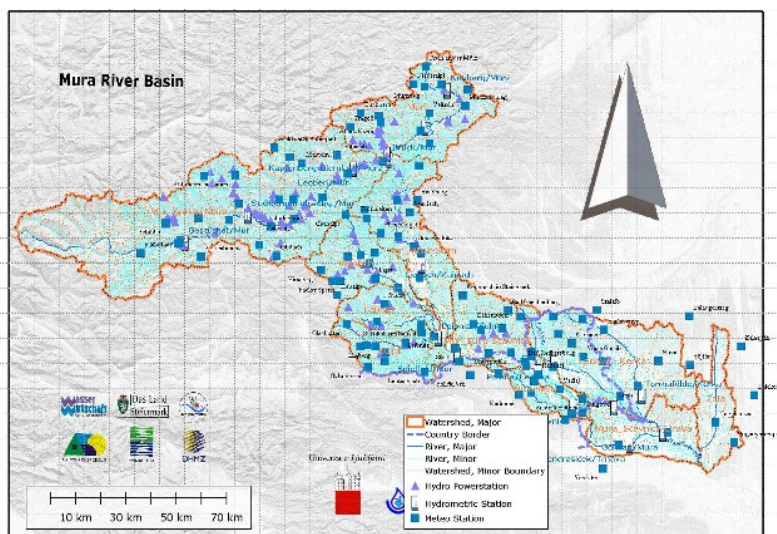
Vodotok	Smer pritoka	Skupna površina [km ²]	Nadmorska višina izvira/sotočja [m n. m.]	Nadmorska višina sotočja [m n.m.]	Dolžina pritoka/ odseka Mure [km]	Višinska razlika [m]	Padec [%]
Mura od izvira do pritoka Mürz		4711	1898	476	218	1422	6.5
Mürz	leva	1506	895	476	83.3	419	5.0
Mura med pritokoma Mürz in Kainach		1081	476	293	81.3	183	2.3
Kainach	desna	853	1723	293	64.3	1430	22.2
Mura med pritokoma Kainach in Sulm		181	293	259	18.2	34	1.9
Sulm	desna	1122	1718	259	64.3	1459	22.7
Mura med pritokoma Sulm in Ščavnica		887	259	173	68.4	86	1.3
Ščavnica	desna	293	376	173	58.4	203	3.5
Mura med pritokoma Ščavnica in Kerka		92	173	147	32.4	26	0.8
Kerka	leva	1762	359	147	69.3	212	3.1
Mura med pritokom Kerke in izlivom v Dravo		1490	147	130	50.4	17	0.3

Pregledna karta porečja Mure

Izdelana je bila pregledna digitalna karta porečja Mure z vrisano rečno mrežo, lokacijami hidroloških in meteoroloških postaj, razvodnicami - meje vodozbirnih območij za celo Muro in njene pritoke, ter ostalimi pomembnimi hidrološkimi parametri, v merilu 1:200 000. Naročniki so za izdelavo pregledne digitalne karte prispevali razpoložljive GIS-podatke iz vsake države za nadaljnjo obdelavo, nekateri podatki so bili dodatno pridobljeni iz spleta.

Karta je izdelana z metodo prekrivanja in poudarjanja različnih slojev (zasenčevanja, prosojnosti, vrstni red slojev). Za podlago in globalno terensko orientacijo smo izdelali nov osenčen 3D-teren, ki smo ga

poimenovali »hidromorfološko izboljšani 3D-model«. »Hidromorfološko izboljšani« pomeni, da smo za ravninske predele, za kar smo izbrali naklone med 0 in 5 ločnih stopinj, senčili glede na naklon (»slope shading«), v hribovitih predelih pa smo senčili z navadnim dnevnim senčenjem (»daylight shading«).



Slika 4: Hidrološka karta - pregledna karta porečja Mure

Antropogeni vplivi

V spodnjem toku je reka Mura meandrirala po široki aluvialni ravnini in povzročala škodo na obdelovalnih površinah v neposredni bližini reke. Prvi zapisi o ureditvenih delih na Muri izvirajo iz druge polovice 18. stoletja. Posegi lokalnega značaja so bili izvedeni le v interesu zaščite takratnih veleposesti ob Muri.

V letih 1860 do 1874 so na tedanjem avstrijskem odseku reke Mure do Veržerja izvedli tako imenovano delno sistematično regulacijo, ki so jo sestavljala obrežna zavarovanja, jezbece, vodilne zgradbe in zapiranja stranskih rokavov. Cilj je bil preprečiti spremembe toka in zagotoviti splavarjenje. Ker pa vodogradbena situacija kljub temu ni bila zadovoljiva (objekti so bili vedno znova porušeni), so med letoma 1874 in 1891 izvedli sistematično regulacijo Mure. Pri tem so od izliva Sulma navzdol do ogrske meje (pri Veržerju) določili normalno širino 76 m, traso so čim bolj skrajšali in bregove utrdili ter jih pravilno oblikovali. Med letom 1891 in prvo svetovno vojno so kljub načrtovanim visokovodnim zaščitnim ukrepom izvajali le najnujnejša vzdrževalna dela. V Avstriji so izvedli desetletni gradbeni program (1927-1936), ki je vseboval ponovno regulacijo (po poškodbah zaradi večjih visokih voda) na širino dna 76 m. Zgrajene so bile vodilne zgradbe, povezovalne traverze in prekritja bregov. Struga reke je bila sistematično regulirana na odseku avstrijsko – slovenske meje (33,28 km) med prvo in drugo svetovno vojno. Izdelana sta bila tudi dva pragova za potrebe odvzema vode za papirno industrijo (Ceršek, Sladki vrh).

Na Madžarskem so pričeli izvajati ureditvena dela šele leta 1897, namen katerih je bil izoblikovanje enotne struge reke s stalnimi brežinami, znižanje vodostaja in zasipavanje starih rokavov. Leta 1927 so bila opravljena obsežna dela pri ureditvi posameznih meandrov na delu Mure na hrvaško–madžarski meji.

Obsežna dela na sistematičnih regulacijah reke na območju Slovenije so bila izvedena od leta 1972 do 1990 v dolžini 27,17 km do Bakovcev. Na delu reke Mure dolvodno od Murskega Središča, na meji med Hrvaško in Slovenijo, so bili posamezni meandri ločeni od glavne struge reke. Dela so se po letu 1978 nadaljevala tudi na meji med Hrvaško in Madžarsko, po skupnem načrtu. Delno je bila izvedena zaščita brežin na posameznih odsekih. Trenutno so v načrtu ureditvena dela na odseku Mure pred sotočjem z Dravo od 1 do 7 km stacionaže.

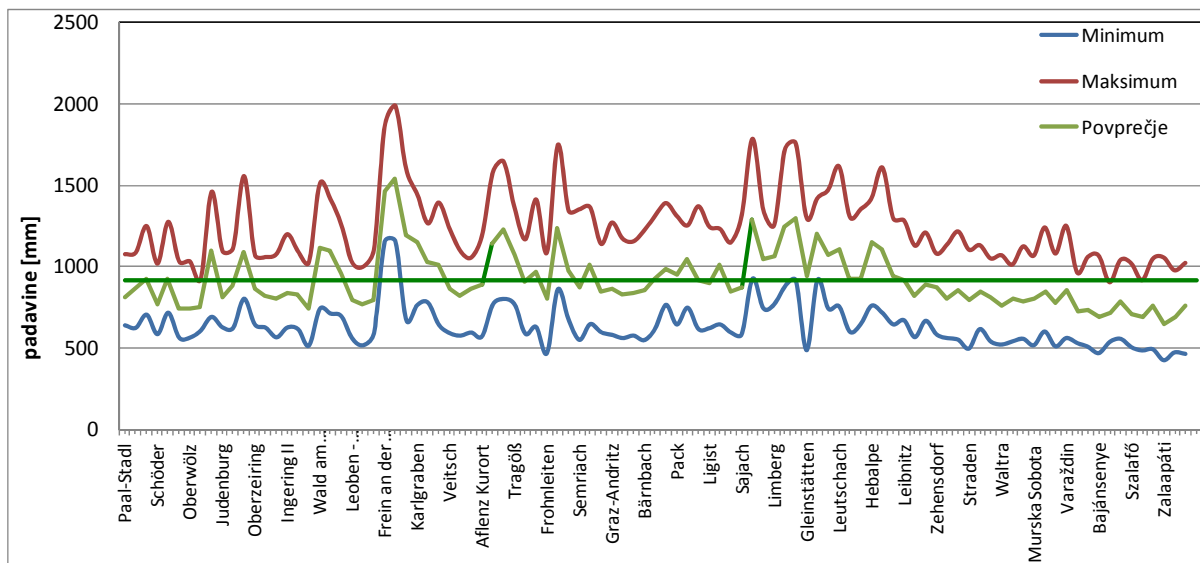
V Avstriji je zgrajena veriga hidroelektrarn med mestoma Bodendorf in Spielfeld. Veriga hidroelektrarn je načrtovana tudi dolvodno od meje Slovenije z Avstrijo. Hidroelektrarne na Muri so bile zgrajene in

začele obratovati v obdobju 1931 do 1998. Sistem elektrarn ne razpolaga z večjimi zmogljivostmi za zbiranje in zadrževanje vode, tako da je njihov vpliv na visoke pretoke zanemarljiv. Vpliv je opazen pri srednjih in še posebno pri nizkih pretokih, saj v času nizkih vodostajev prihaja do dnevnega nihanja vodnih gladin za 5 do 15 cm.

GLAVNE KLIMATSKE ZNAČILNOSTI POREČJA MURE

Padavinski podatki so bili pridobljeni za 99 meteoroloških postaj (83 avstrijskih, 2 slovenski, 3 hrvaške in 11 madžarskih). Od skupno 99 postaj so bili popolni nizi podatkov za obdobje 1961-2005 na voljo za 57 meteoroloških postaj, ostali nizi pa so bili pomanjkljivi.

Analizirali smo mesečne in letne podatke.

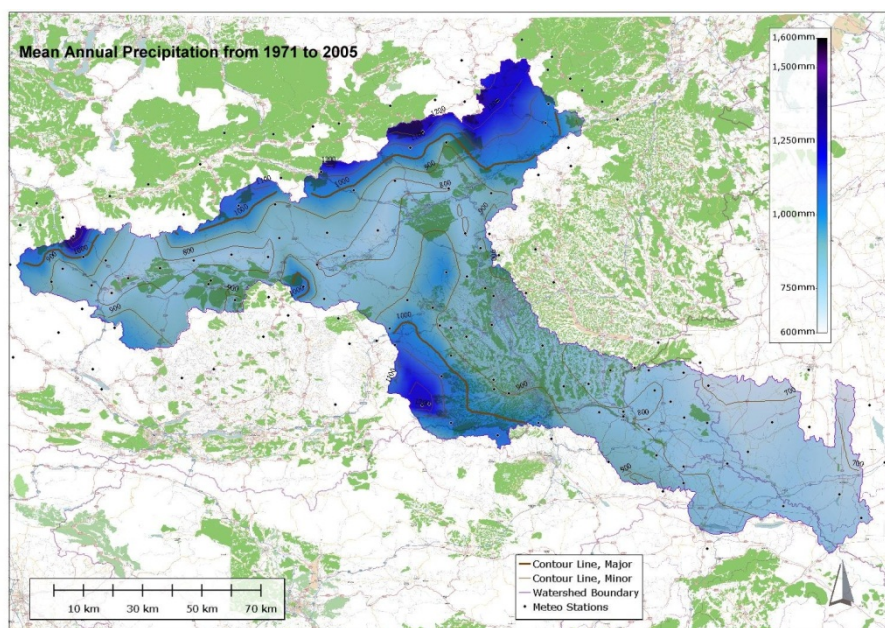


Slika 5: Povprečne letne, minimalne letne in maksimalne letne vsote padavine za obdobje 1961-2005

V severnem delu porečja pade največja količina padavin, v povprečju več kot 1000 mm/leto, v južnem, na Madžarskem, pa bistveno manj, pribl. 700 mm/leto. Letna količina padavin se zmanjšuje vzdolž toka reke. Največja letna količina padavin je bila izmerjena na postaji Niederalpl (1987 mm) v letu 2005, najmanjša pa na postaji Zalaapati (422 mm) v letu 2000.

Povprečna količina padavin na porečju Mure je 920 mm/leto (slika 5). Hribovito zaledje v zgornjem delu porečja prejme največ padavin, prav tako pade nadpovprečna količina v hribovitem srednjem delu, zahodno od Gradca. Količina padavin pa močno upade, ko Mura preide na ravnine Slovenije, Hrvaške in Madžarske.

Letna količina padavin je po porečju zelo različno porazdeljena. Za izdelavo karte padavin so bile izračunane povprečne letne količine za obdobje 1971-2005 (slika 6). Maksimalne letne količine v tem obdobju se gibljejo med 1800 mm v povirju na severnem delu porečja in 900 mm na južnem ravninskem delu porečja.

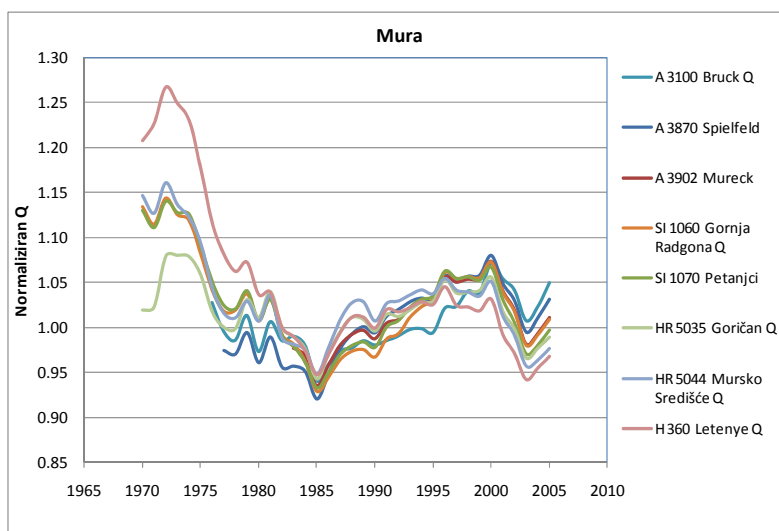


Slika 6: Karta srednjih letnih padavin

ANALIZA PRETOKOV

Opravljenе so bile statistične analize podatkov o pretokih. Izračunane so bile naslednje vrednosti: srednja vrednost, mediana, modus, standardna deviacija, divergenca, pogostost, odklon, variacija, minimum, maksimum, vsota, število podatkov, meja zaupanja (95%), Q(95%) za minimalne mesečne podatke, Q(95%) za srednje mesečne podatke in Q(95%) za maksimalne mesečne podatke za vsako hidrološko postajo. Hidrogrami, trendi in krivulje trajanja pretokov so bili grafično prikazani za minimalne, srednje in maksimalne mesečne podatke za vsako postajo.

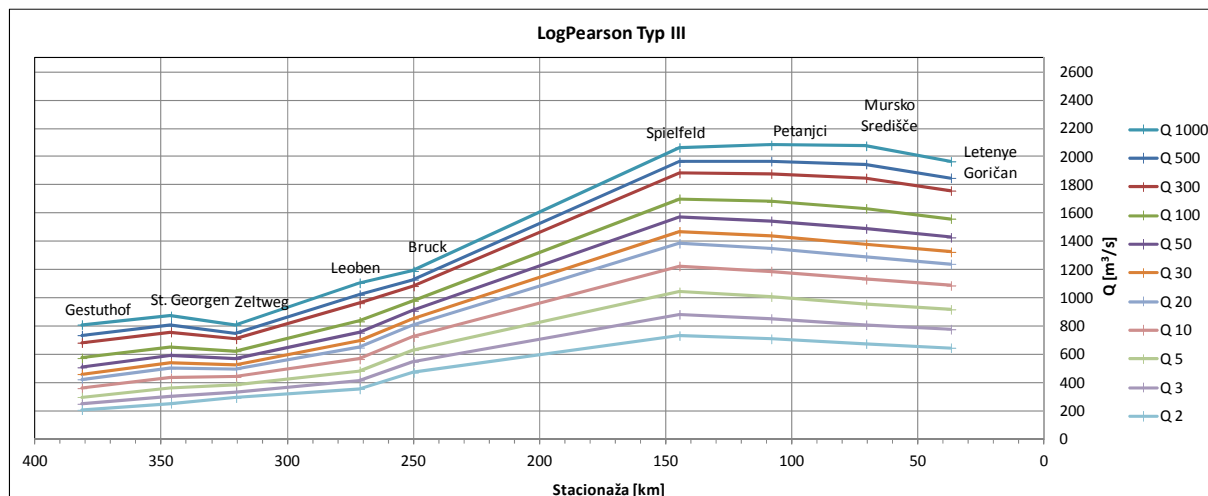
Med vsemi postajami so bile izračunane korelacije za srednje, minimalne in maksimalne vrednosti pretokov, za vse postaje pa je bil izračunan tudi specifični pretok za srednji, minimalni in maksimalni mesečni pretok. Izvedena je bila tudi analiza homogenosti (slika 7) in trendov pretokov.



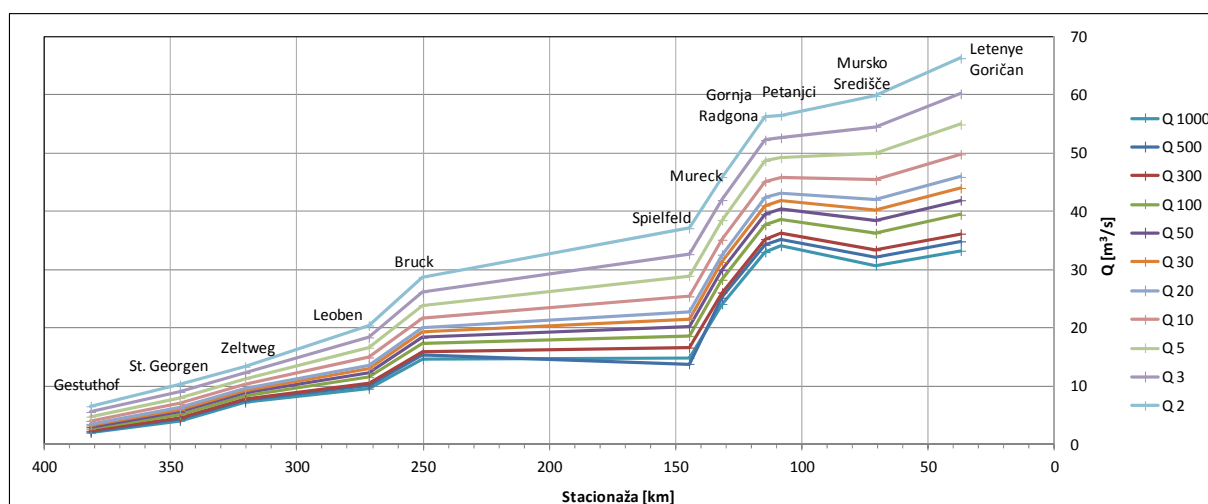
Slika 7: Homogenost izbranih postaj s podatki pretokov

Karakteristični pretoki so bili izračunani s programom za statistične analize HEC-SSP 1.1 (2009). Maksimalni pretoki so bili analizirani s porazdelitvami Log Pearson Tip III (slika 8), Log Normal in Pearson Tip III. Teoretični pretoki s povratnimi dobami 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 300, 500 in 1000 let so bili ocenjeni s 95 % mejo zaupanja. Nizki pretoki so bili analizirani s porazdelitvijo Log Normal in porazdelitvijo Pearson Tip III (slika 9), ki se običajno uporabljata pri tovrstnih analizah. Porazdelitev

EVI (Gumbel) v splošnem ni priporočljiva za analizo minimalnih pretokov, saj na spodnjem robu daje možne negativne vrednosti. Pri analizi smo se osredotočili na verjetnost pojava. Teoretični nizki pretoki s povratnimi dobami 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 300, 500 in 1000 let so bili ocenjeni s 95-% mejo zaupanja.

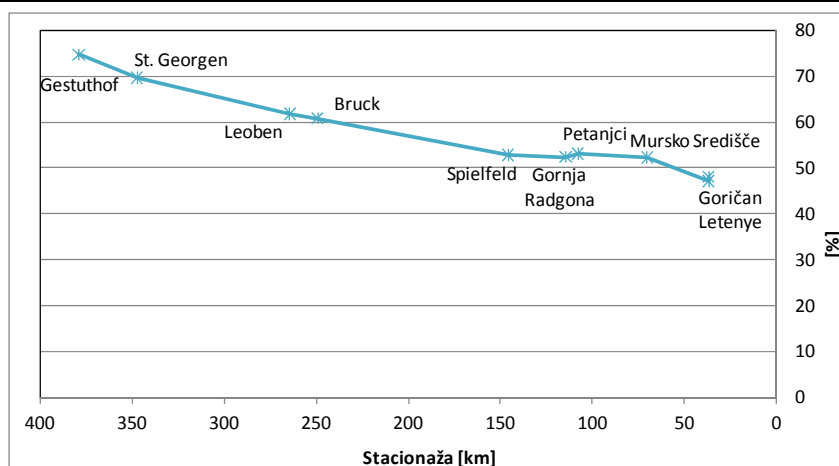


Slika 8: Vz dolžni profili za Q 1000, 500, 300, 100, 50, 30, 20, 10, 5, 3 in 2, izračunani po Log Pearsonovi tip III porazdelitvi



Slika 9: Vz dolžni profili za Q 1000, 500, 300, 100, 50, 30, 20, 10, 5, 3 in 2 za nizke vode, izračunani po izbrani porazdelitvi

Koeficient odtoka (slika 10) je bil izračunan za srednji letni pretok za izbrano obdobje, za katero so bili na razpolago vsi podatki (1971-2005).



Slika 10: Koeffizient odtoka vzdolž reke Mure

ZAKLJUČEK

Zahvaljujoč hidrološkim službam vseh štirih držav, ki so sodelovale pri izdelavi študije o porečju reke Mure, je bila izdelana hidrološka analiza s podatki, zbranimi za 24 postaj s pretoki in za 99 dežemernih postaj za obdobje 1961-2005.

1. Glede na značilnosti hidrološkega in klimatološkega režima lahko porečje razdelimo na tri dele: povirje reke Mure s porečjem Mürza, srednji del porečja do pritoka Sulm in spodnji del toka do sotočja z reko Dravo.
2. Sezonska nihanja pretokov delijo porečje na zgornji, srednji in spodnji tok. Sezonski režim pretokov reke se oblikuje v zgornjem delu porečja in se ne spreminja do vtoka v Dravo.
3. Specifični pretok in koeficient pretoka zvezno upadata vzdolž toka.
4. Linearni trendi padavin kažejo na statistično značilno naraščanje na severnem delu in statistično značilno upadanje v spodnjem delu porečja.
5. Linearni trendi temperatur kažejo na statistično značilno naraščanje temperatur v spodnjem delu porečja na treh postajah od petih.
6. Linearni trendi pretokov kažejo na naraščanje pretokov na severnem delu porečja in statistično značilno upadanje na južnem delu porečja.
7. Analiza maksimalnih pretokov, kaže na precejšnja odstopanja med posameznimi postajami vzdolž spodnjega toka reke. Vzrok je v pretočnih krivuljah posameznih postaj, ko se voda razlije po poplavnih območjih. Predlagamo, da se v obdobju poplav organizirajo sinhronizirane meritve pretokov in postaje opremijo s Dopplerjevimi merilniki hitrosti, ki lahko zvezno merijo spremembe hitrosti vode. Na ta način bi prišli do bolj homogeniziranih podatkov o maksimalnih pretokih.
8. Izvedene statistične analize in testi homogenosti kažejo, da so podatki vseh hidroloških postaj statistično značilno homogeni z izjemo hidrološke postaje Letenye.
9. Nelinearni trendi pretokov pritokov potrjujejo delitev porečja glede na hidrološki režim na zgornji, srednji in spodnji tok.
10. Koeficient odtoka značilno upada vzdolž toka od 80 - 10 %.

Ugotovitve hidrološke študije reke Mure so dobra osnova za nadaljnje usklajeno sodelovanje držav na porečju Mure.

LITERATURA

- Amt der Steiermärkischen Landesregierung (1988): Die nutzbaren Wasservorkommen der Steiermark. Steiermark-Information 8. Referat für wasserwirtschaftliche Rahmenplanung & Institut f. Umweltgeologie und Angewandte Geographie, Graz.
- ARSO, 1990. Površinski vodotoki in vodna bilanca Slovenije,, 1961-1990. Ljubljana 1990.
- Bauer, F. (1989): Die unterirdischen Abflußverhältnisse im Dachsteingebiet und ihre Bedeutung für den Karstwasserschutz.- Umweltbundesamt, Reports, UBA-89-28, 73 S., 7 Beil., Wien.

- Bergmann, H., J. Fank, T. Harum, W. Papesch, D. Rank, G. Richtig & H. Zojer (1996): Abflusskomponenten und Speichereigenschaften, Konzeptionen und Auswertemethoden.- Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 48, H 1/2, 27-45, Wien - New York (Springer).
- BIOMUR, 2010. Evropski projekt Varstvo biodiverzitete reke Mure v Sloveniji.
<http://www.bioMur.si/slo/projekt.aspx>
- Gamerith, W. & H. Stadler (1997): Hydrologische Untersuchungen an der Hochreichartquelle, eine der größten Blockgletscherquellen in den Niederen Tauern.- Ber. d. wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, 81, 81-89, Graz.
- Gattinger, T. (1969): Hydrogeologische Karte der Republik Österreich.- 1:1,000.000, Wien (Geolog. Bundesanstalt).
- Harum, T. & M. Probst (2001): Untersuchung des Speichervermögens verschiedener Gesteinskomplexe in ausgewählten Typuseinzugsgebieten der Steiermark.- Unveröff. Bericht Institut für Hydrogeologie und Geothermie, JOANNEUM RESEARCH, Graz.
- Maurin, V. & Zötl, J. (1964): Hydrogeologie und Verkarstung der Steiermark.- Atlas der Steiermark, 1:300.000, Graz.
- Penman, H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc.Roy.Soc. London.
- Schachtschabel, P., H.-P. Blume, G. Brümmer, K.-H. Hartge & U. Schwertmann (1992): Lehrbuch der Bodenkunde, 491 S., (ENKE) Stuttgart.
- Suette, G.: Landschaftsgliederung der Steiermark. – Unveröff. Ber., Amt der Stmk. LR, FA 3a, Graz 1998 (cum lit.)
- Zetinigg, H. (1999): Die Bedeutung artesischen Wassers für die Wasserversorgung in Österreich.- Österr. Wasser- und Abfallwirtschaft, 51, 11/12, 320-332, Wien.
- Zojer, H. & H. Zetinigg (1987): Beiträge zur Kenntnis der artesischen Wässer im Steirischen Becken. Ber. Wasserwirtsch. Rahmenplanung, 68, 181 S., Graz.
- Zötl, J. (1971): Wässer und Gewässer der Steiermark. In: Die Steiermark; Land, Leute, Leistung, S. 96 – 141, Graz.
- Zötl, J. (1974): „Die meteorologischen Verhältnisse der Steiermark“ in:
Generalplan der Wasserversorgung Steiermarks (Entwurfsstand 1973), Berichte der wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung, Band 29, Graz 1974.
- Zveza vodnih skupnosti Slovenije, 1989. Vodno gospodarske osnove, Ljubljana, 1989.