

# TRANSPORT SUSPENDIRANEGA MATERIALA V SLOVENSКИH REKAH

## Suspended sediment transportation in Slovene rivers

Florjana Ulaga\* UDK 551.31(497.4-11)

Povzetek Abstract

Na Agenciji RS za okolje izvajamo monitoring transporta suspendiranega materiala v slovenskih rekah. Skupna količina transportiranega suspendiranega materiala je v rečnem profilu na Muri v Gornji Radgoni v 50-letnem obdobju preseгла 32,6 milijona ton. Največji transport smo zabeležili leta 1972, ko je Mura skozi profil v enem letu odplavila kar 4,7 milijona ton suspendiranega materiala. Savinja je skozi profil v 50-ih letih odplavila 10,5 milijona ton. Izjemno je bilo leto 1997, ko je letna količina dosegla 1,3 milijona ton, kar je 12,6 % količine, prenesene v celotnem obdobju opazovanj. Vodozbirno zaledje vodomerne postaje Veliko Širje je precej manjše, zato je zanimiv zaključek, da bi se ob podobnih hidroloških razmerah površje porečja Savinje v tisoč letih znižalo kar za 70 mm, površje porečja Mure pa le za 21 mm.

The Agency RS for the Environment carries out monitoring of the transport of suspended sediment in Slovene rivers. The total amount of transported suspended sediment in the river profile on the Mura in Gornja Radgona in a 50-year period exceeded 32.6 million tons. We recorded the most transport in 1972, when the River Mura carried some 4.7 million tons of suspended sediment through the profile in a single year. The Savinja carried 10.5 million tons through the profile in 50 years. The exception was 1997, when the annual quantity reached 1.3 million tons, which is 12.6% of the amount transported in the entire period of observation. The catchment area of the hydro-measurement station at Veliko Širje is considerably smaller, so an interesting conclusion is that with similar hydrological conditions, the surface of the Savinje river basin has fallen by 70 mm over a thousand years, and the surface of the Mura river basin only by 21 mm.

## Uvod

Eden od potencialnih dejavnikov, ki vplivajo na obseg in intenziteto uničujočih učinkov voda, je rečni transport hribinskega materiala, ki nastane kot posledica rečne erozije, spiranja preperine, plazov in usadov, lahko pa tudi kot posledica umetnih vplivov v bližini rečne struge. Slovenske vode imajo značilen hudourniški režim in ob padavinah hitro narastejo, kar sproži erozijske procese. Posledica transporta materiala je spreminjanje pokrajine, povzročanje škode ob poplavih na kmetijskih zemljiščih, škoda na infrastrukturnih objektih, zapolnjevanje akumulacijskih bazenov, spremembe ob in v rečni strugi, zablantenje rečnega dna zaradi usedanja drobnih zrn in v končni fazi otežen naravni cikel kroženja vode, saj je oteženo dreniranje v podtalnico.

V celoti odplavljen rečni material imenujemo rečni nanos. Glede na velikost delcev in hitrost transporta ga delimo na lebdeče plavine v suspendirani obliki in na prodni material, ki se premika po rečnem dnu. Med tema dvema oblikama ni stroge meje. Ker se hkrati po rečnem dnu valijo večji delci, se v vodi premikajo tudi fini delci. S povečanjem hitrosti vode prehaja material z rečnega dna v suspenz, s tem pa se povečuje količina lebdečega nanosa, ki je na ta način ob visokovodnih stanjih močno povečana. Dinamiki gibanja plavin v vodi sledimo s spremljanjem pretoka v izbranem merskem profilu ter z merjenjem vsebnosti suspendiranega materiala v vzorcih vode. Produkt pretoka vode in vsebnosti suspendiranega materiala je transport suspendiranih snovi  $S$  (kg/s) skozi rečni profil na izbranem mestu vodotoka. Ta podatek je cilj spremljanj pretokov, odvzemanja vzorcev in laboratorijskih analiz na vodomernih postajah hidrološke mreže Urada za monitoring, Agencije RS za okolje.

\* Mag., Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Vojkova 1 b, Ljubljana, florjana.ulaga@gov.si

## Mreža postaj

Na Sektorju za hidrologijo izvajamo monitoring suspendiranega materiala na enajstih rekah. Dnevni odvzem vzorcev poteka na šestih vodomernih postajah: na Muri v Gornji Radgoni, na Savi v Radovljici in Hrastniku, na Savinji v Velikem Širju, na Sori v Suhi in na Vipavi v Mirnu. Poleg rednega vsakodnevnega odvzema poteka odvzem vzorcev ob izrednih hidroloških razmerah še na vodomernih postajah dopolnilne mreže, najpogosteje na Dravinji v Vidmu, na Sotli v Rakovcu, na Soči v Kobaridu, na Idrijci v Hoteški, na Bači v Bači pri Modreju in na Reki v Cerkvениkovem mlinu. Z analizami teh vzorcev dopolnilne mreže lažje in pravilneje vrednotimo podatke rednih meritev, hkrati pa rezultati predstavljajo pregled stanja ob visokovodnih razmerah po vsej Sloveniji.



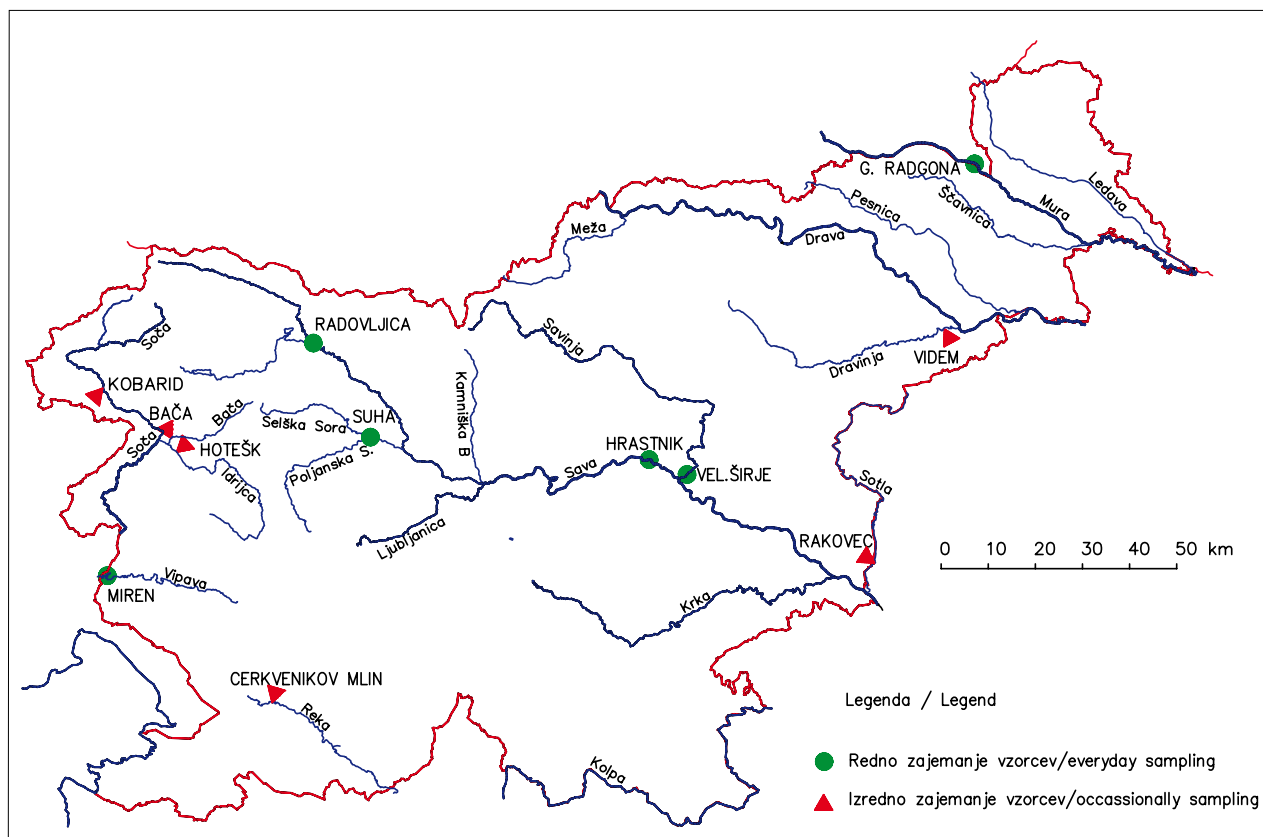
Slika 2. Odvzem vzorcev z batometrom (foto: F. Ulaga)

Figure 2. Sample taking with bathometer (photo: F. Ulaga)

## Povečana vsebnost suspendiranega materiala v avgustu 2005

Ob izrednih hidroloških razmerah se poleg povečanega pretoka rek močno poveča tudi vsebnost suspendiranega materiala v vodi. V času visokih vod med 20. in 30. avgustom 2005 so bili vzorci odvzeti na vodomernih postajah primarne in sekundarne mreže monitoringa

suspendiranega materiala, poleg tega pa še na dodatnih 19 vodomernih postajah dopolnilne mreže. Tako je bilo skupno odvzetih in analiziranih 130 vzorcev. Nekateri rezultati analiz so vidni v preglednicah 1 in 2. Avgustovske obilne padavine so se odražale v povečani vsebnosti suspendiranega materiala rek vzhodne Slovenije. Na postajah dopolnilne mreže v spodnjem toku Save, v Mirni in v Radulji so bile vsebnosti glede na povprečje slovenskih rek [ $50 \text{ g/m}^3$ ] zelo velike. Vzorci, odvzeti v



Slika 1. Postaje monitoringa suspendiranega materiala

Figure 1. Stations of suspended sediment monitoring

2005	Reka	Vodomerna postaja	Vsebnost suspendiranega materiala c (g/m <sup>3</sup> )
22. 8.	Sava	Jesenice na Dol.	609,55
22. 8.	Sava	Čatež	352,37
22. 8.	Mirna	Martinja vas	101,11
22. 8.	Mirna	Jelovec	178,19
22. 8.	Radulja	Škocjan	145,42
23. 8.	Sotla	Rakovec	367,51
24. 8.	Prečna	Prečna	83,76
24. 8.	Krka	Podbukovje	5,27
24. 8.	Krka	Soteska	8,82
24. 8.	Višnja	Trebnja Gorica	6,68

Preglednica 1. Vsebnost suspendiranega materiala na vodomernih postajah dopolnilne mreže

Table 1. Suspended sediment concentration on stations with occasional sampling



Slika 3. Ročni odvzem vzorca (foto: M. Burger)

Figure 3. Sampling with bottle (photo: M. Burger)

Krki in nekaterih njenih pritokih ponovno izkazujejo kraški značaj rek z izredno majhnimi vsebnosti suspendiranih snovi tudi ob visokih vodah.

2005	Reka	Vodomerna postaja	2005 c (g/m <sup>3</sup> )	1985-2004 Povprečna obdobjna vsebnost c (g/m <sup>3</sup> )	1985-2004 Največja obdobjna vsebnost c (g/m <sup>3</sup> )
21. 8.	Bača	Bača pri Modreju	5,67	51	3086
22. 8.	Bača	Bača pri Modreju	45,41	51	3086
22. 8.	Idrijca	Hotešk	142,63	124	3743
27. 8.	Idrijca	Hotešk	200,77	124	3743

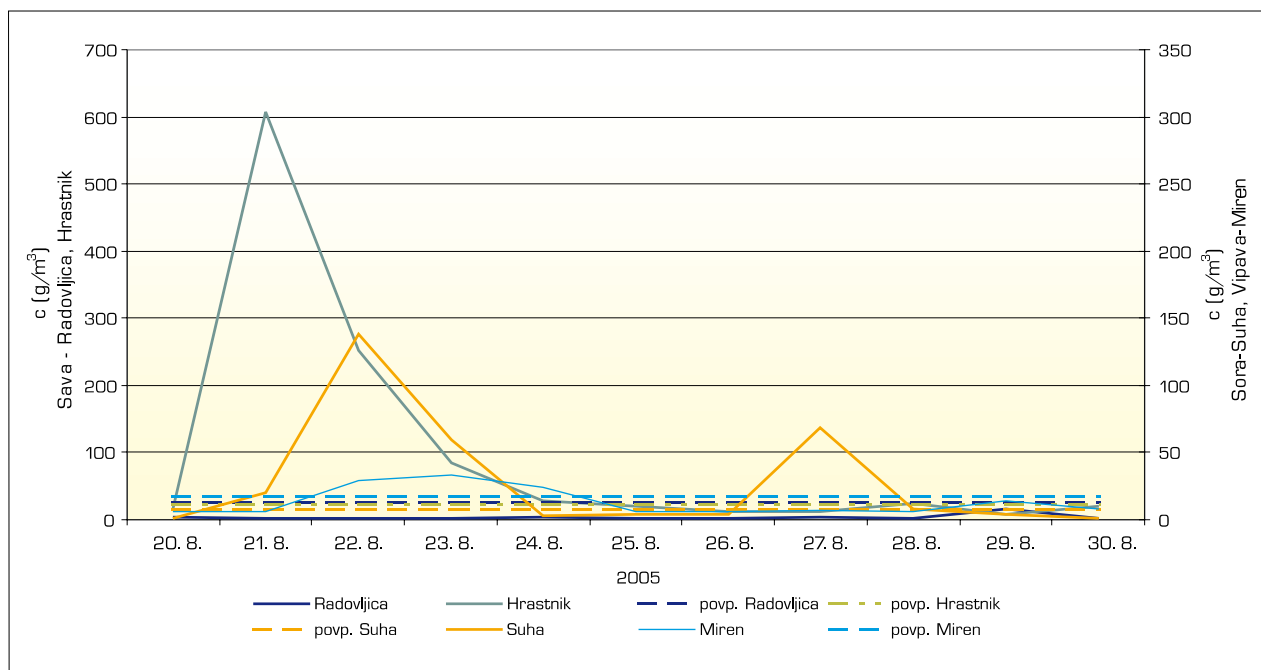
Preglednica 2. Vsebnost suspendiranega materiala v rekah zahodne Slovenije

Table 2. Suspended sediment concentration in rivers of western Slovenia

2005 c (g/m <sup>3</sup> )	Mura Gornja Radgona	Savinja Veliko Širje	Sava Hrastnik	Sava Radovljica	Sora Suha	Vipava Miren
20. 8.	45,87	486,05	16,12	3,94	0,88	6,00
21. 8.	45,27	<b>5981,93</b>	<b>608,00</b>	2,47	19,74	6,23
22. 8.	<b>1246,44</b>	828,34	251,50	2,36	137,92	29,07
23. 8.	79,62	69,16	83,85	1,74	59,55	33,24
24. 8.	16,47	43,52	29,17	4,28	2,74	24,13
25. 8.	81,90	10,67	19,57	2,60	4,11	5,65
26. 8.	281,10	54,00	11,61	2,79	3,95	6,03
27. 8.	47,39	83,48	11,70	3,50	68,99	7,39
28. 8.	103,15	94,78	23,48	2,95	7,63	6,32
29. 8.	36,37	20,73	8,13	15,54	3,96	13,84
30. 8.	264,34	22,75	19,53	2,32	1,23	8,00
obdobje meritev	1955-2004	1955-2004	1997-2004	2004	2002-2004	1985-2004
obdobjno ovprečje	48,91	53,27	21,82	26,42	16,3	16,74

Preglednica 3. Vsebnost suspendiranega materiala v rekah primarne mreže monitoringa

Table 3. Suspended sediment concentration in rivers with daily sampling



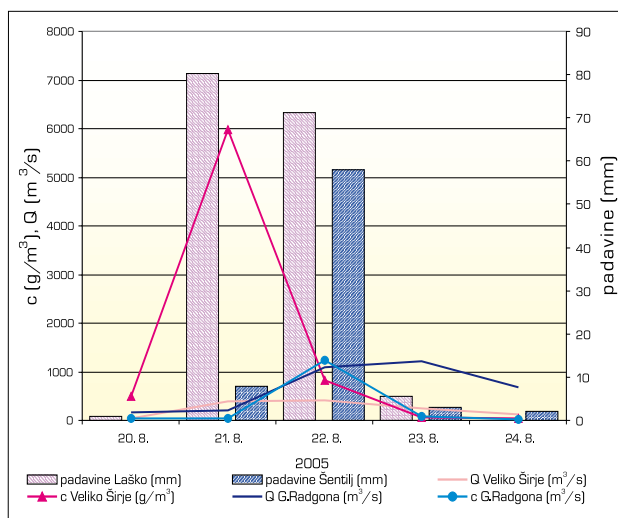
Slika 4. Vsebnost suspendiranega materiala v Savi, Sori in Vipavi  
 Figure 4. Suspended sediment concentration in Rivers Sava, Sora and Vipava

## Povečana vsebnost suspendiranega materiala v avgustu 2005

Ob izrednih hidroloških razmerah se poleg povečanega pretoka rek močno poveča tudi vsebnost suspendiranega materiala v vodi. V času visokih vod med 20. in 30. avgustom 2005 so bili vzorci odvzeti na vodomernih postajah primarne in sekundarne mreže monitoringa suspendiranega materiala, poleg tega pa še na dodatnih 19 vodomernih postajah dopolnilne mreže. Tako je bilo skupno odvzetih in analiziranih 130 vzorcev. Nekateri rezultati analiz so vidni v preglednicah 1 in 2. Avgustovske obilne padavine so se odražale v povečani vsebnosti suspendiranega materiala rek vzhodne Slovenije. Na postajah dopolnilne mreže v spodnjem toku Save, v Mirni in v Radulji so bile vsebnosti glede na povprečje slovenskih rek ( $50 \text{ g/m}^3$ ) zelo velike. Vzorci, odvzeti v Krki in nekaterih njenih pritokih ponovno izkazujejo kraški značaj rek z izredno majhnimi vsebnostmi suspendiranih snovi tudi ob visokih vodah.

Med desetdnevnim vzorčenjem nismo na nobeni vodomerni postaji dopolnilne mreže monitoringa izmerili izjemnih količin suspendiranega materiala. V rekah zahodne Slovenije je bila vsebnost suspendiranih snovi nad dolgoletnim povprečjem le v Idrijci, vendar je bila mnogo manjša od največje izmerjene vsebnosti 20-letnega obdobja.

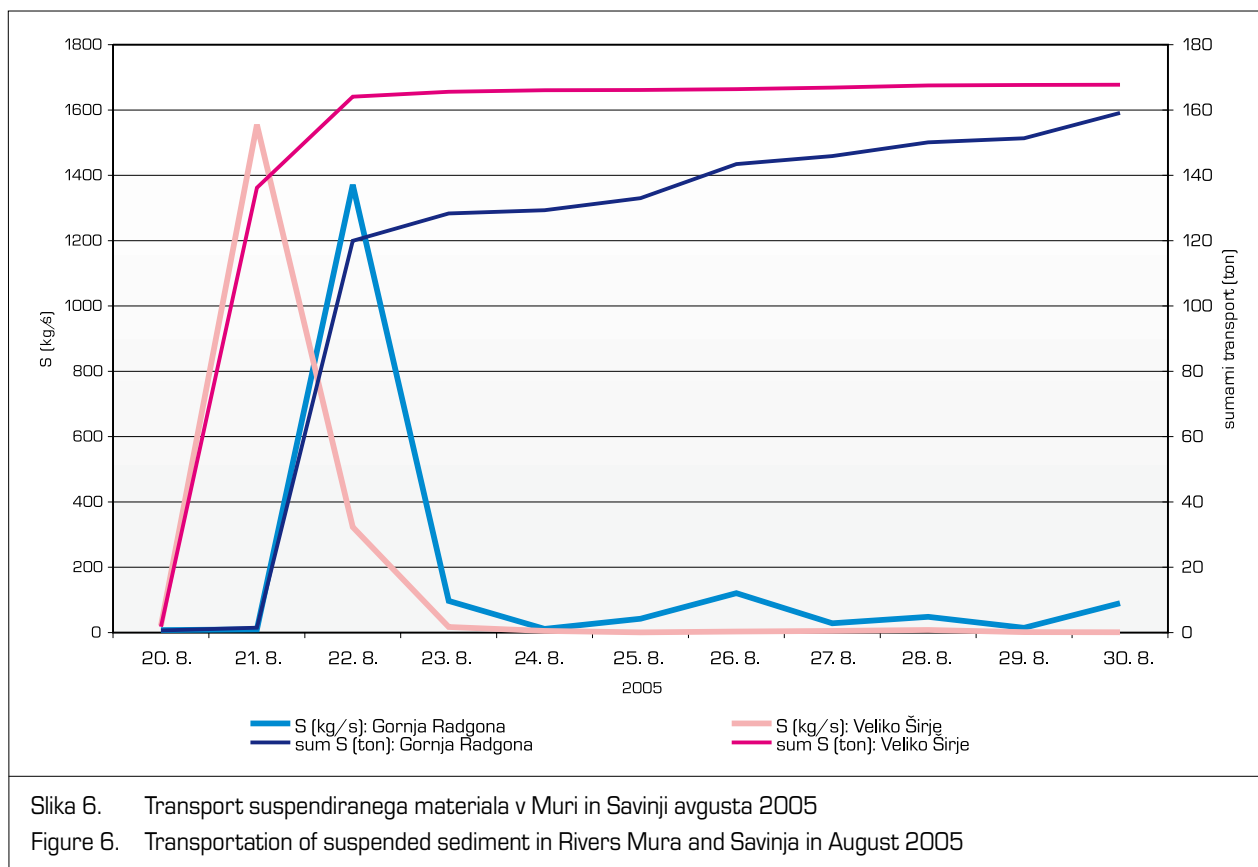
Na postajah z dnevnim odvzemom vzorcev je bila vsebnost suspendiranega materiala v avgustu pogosto



Slika 5. Vsebnost suspendiranega materiala, pretok in padavine za Savinjo in Muro  
 Figure 5. Suspended sediment concentration, discharge and precipitation for Rivers Savinja and Mura

nadpovprečna. V Sori in Vipavi je bila povprečna vsebnost presežena le tri dni. V Savi v Radovljici je bila vsebnost suspendiranega materiala v vseh analiziranih vzorcih zelo majhna, kar je tudi odraz manjše količine avgustovskih padavin v zahodnem delu Slovenije. V Savi v Hrastniku je največja vsebnost, izmerjena 21. avgusta, 28-krat presežla obdobjno povprečje in je bila nadpovprečno velika še naslednjih nekaj dni.

V vzhodnem delu Slovenije, kjer so bile padavine v avgustu močno povečane, smo na postajah primarne mreže izmerili velike količine suspendiranega materiala



Slika 6. Transport suspendiranega materiala v Muri in Savinji avgusta 2005  
Figure 6. Transportation of suspended sediment in Rivers Mura and Savinja in August 2005

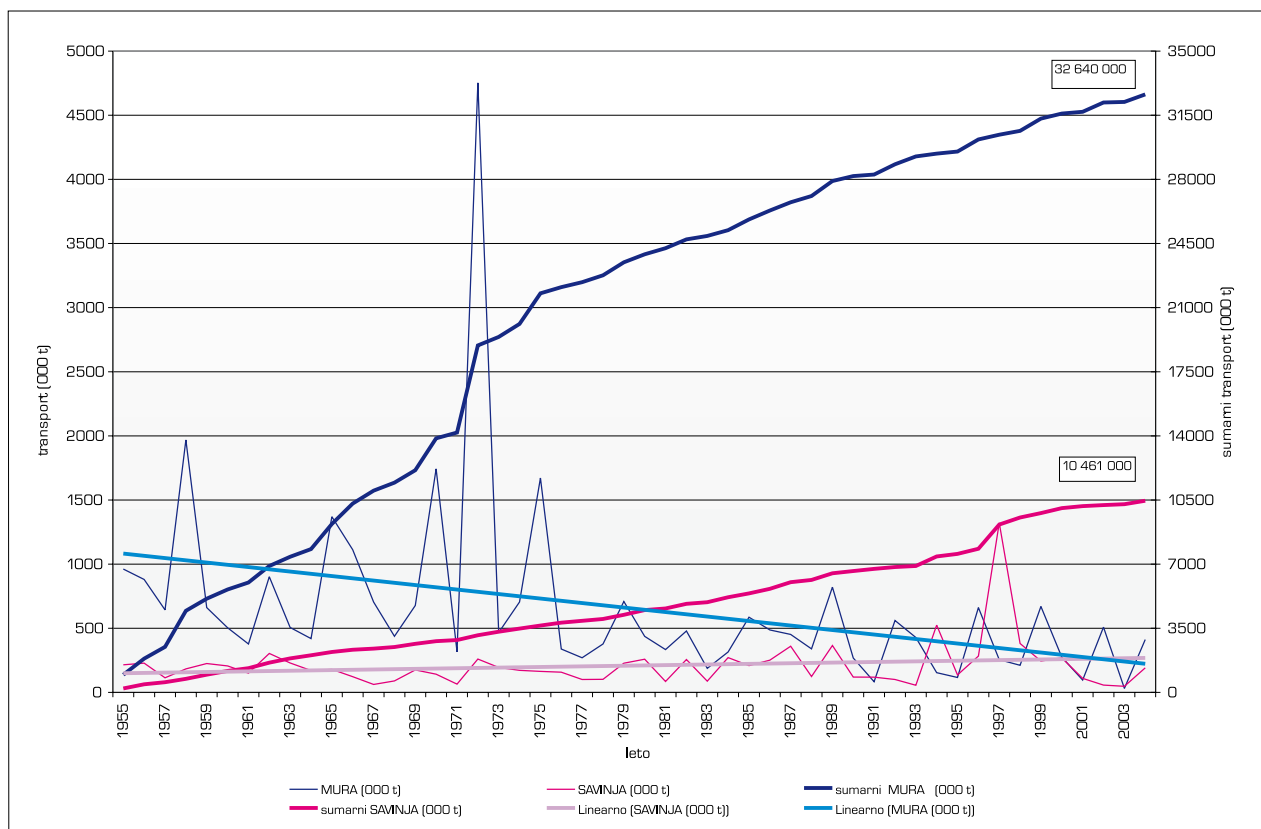
v odvzetih vzorcih. V Savinji smo izmerili  $5982 \text{ g/m}^3$ , kar je 113-kratni presežek povprečne obdobjne vsebnosti. To je v Savinji v obdobju spremljanja od leta 1955 tretja največja izmerjena vsebnost suspendiranega materiala. Največja je bila izmerjena leta 1994 in sicer  $9574 \text{ g/m}^3$ , novembra leta 2000 pa  $6026 \text{ g/m}^3$ . V Muri je največja izmerjena vsebnost 22. avgusta 25-krat presegla obdobjno povprečje, vendar kljub izredno visokim vodam nismo zabeležili izjemno velikih vsebnosti suspendiranega materiala glede na rezultate analiz 50-letnega vzorčenja.

Odnos med pretokom vode in vsebnostjo suspendiranega materiala v reki ni vedno linearen, ob močno povečanih padavin avgusta 2005 pa je bilo ujemanje hidroloških parametrov zelo dobro. Na sliki 5 so prikazane padavine za območje vodomernih postaj na Savinji in Muri. Na meteoroloških postajah v Laškem in v Šentilju v Slovenskih Goricah so bile padavine najmočnejše 21. in 22. avgusta, takrat pa so bili znatno povečani tudi pretoki rek. Največje vsebnosti suspendiranega materiala v vodi smo izmerili v istih dneh.

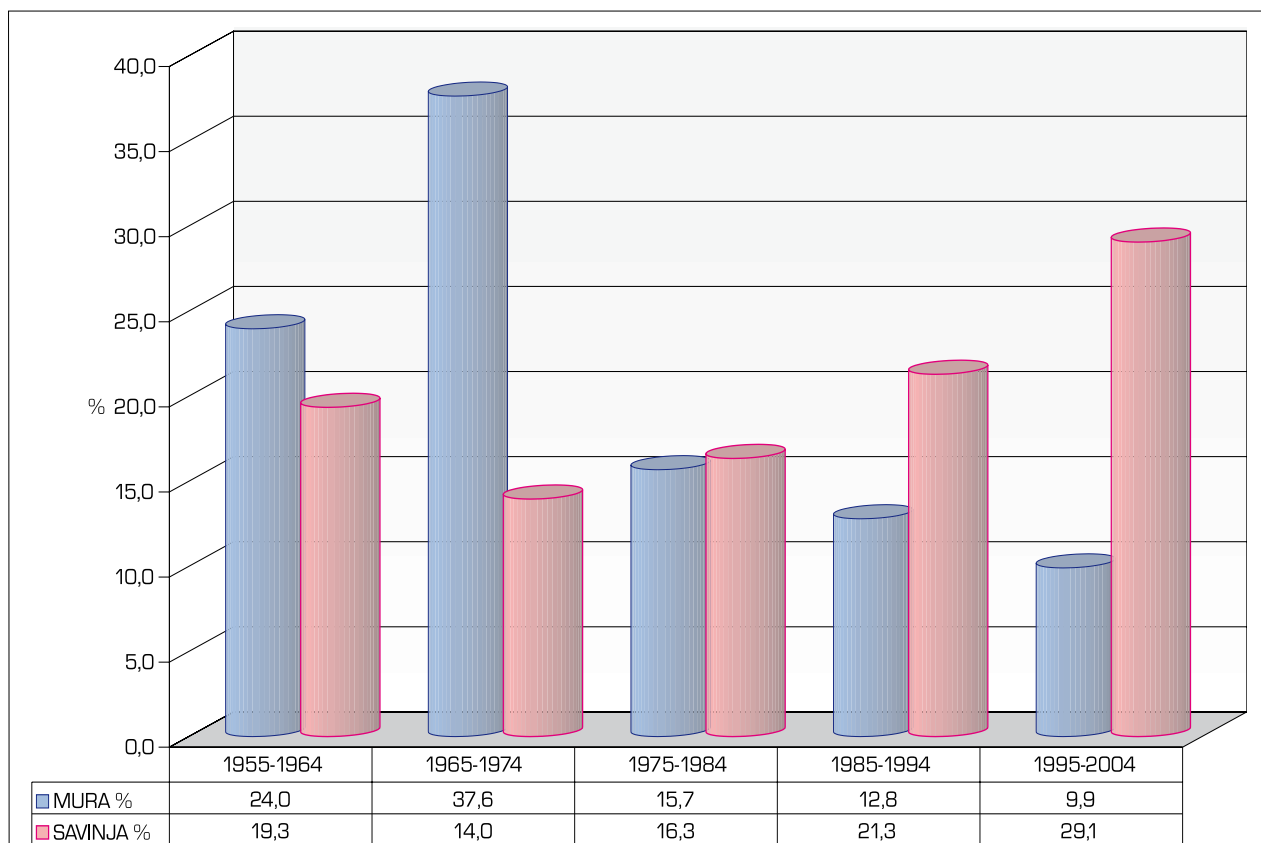
2005	S (kg/s) Mura-Gornja Radgona	S (kg/s) Savinja-Veliko Širje	Dnevni S (kg) Mura-Gornja Radgona	Dnevni S (kg) Savinja-Veliko Širje
20. 8.	7,57	20,90	654	1806
21. 8.	9,73	1555,30	841	134.378
22. 8.	1371,08	323,05	118.462	27.912
23. 8.	97,13	17,29	8392	1494
24. 8.	11,36	5,22	982	451
25. 8.	42,59	0,85	3680	74
26. 8.	120,87	3,35	10.444	289
27. 8.	28,44	5,18	2457	447
28. 8.	48,48	7,96	4189	688
29. 8.	14,55	1,35	1257	116
30. 8.	89,88	1,21	7765	104
		vsota	159.122	167.759

Preglednica 4. Količina odplavljenega suspendiranega materiala v desetih dneh avgusta 2005  
Table 4. Amount of suspended sediment transportation in August 2005





Slika 7. Petdesetletni niz spremljanja suspendiranega materiala v Muri in v Savinji  
 Figure 7. Fifty years of monitoring of suspended sediment transportation in the River Mura and in River Savinja



Slika 8. Spreminjanje količin prenesenega suspendiranega materiala  
 Figure 8. Changing quantities of suspended sediment transportation

## Transport suspendiranega materiala v Muri in Savinji

Ob povečanju pretoka in hitrosti vode po avgustovskih obilnih padavinah v letu 2005 je bil v rekah vzhodne Slovenije bistveno povečano tudi transport suspendiranega materiala. V preglednici 4 so rezultati produkta odvzetega vzorca in ob istem času izmerjenega pretoka. Količina dnevno transportiranega materiala je izražena v kg. V enajstih dneh je Mura prenesla skozi rečni profil 159 ton materiala. V vzorcu, odvzetem 22. avgusta, je bila vsebnost suspendiranih snovi izredno velika. Količina transportiranega materiala v enem dnevu je tako predstavljala kar 74,4 %, kar je 118,5 ton. Savinja je v istem času prenesla 167 ton materiala, od tega 80 % 21. avgusta. V enem dnevu je bilo tako skozi rečni profil transportiranih 134,4 ton materiala.

Ob pregledu rezultatov meritev preteklih let lahko zaključimo, da so bile razmere v avgustu 2005 nedvomno hidrološko zanimive. Mura je v enem dnevu večjo količino materiala kakor lani prenesla le 8. maja leta 1985, ko je trenutni transport znašal 1578 kg/s, dnevni pa 136,3 ton. V Savinji je bil v preteklem obdobju izreden hidrološki dogodek zabeležen leta 1998, ko je 5. novembra trenutni transport znašal 2311 kg/s, dnevni pa kar 199,7 ton. Podatki so zanimivi predvsem ob upoštevanju dejstva, da je to le količina suspendiranega materiala v vodi, celotna masa transportiranega materiala v visokovodnem stanju pa je precej večja.

Izračun transporta suspendiranega materiala v Muri in v Savinji poteka neprekinjeno že 50 let. V obdobju med leti 1955 in 2004 je bilo na vodomernih postajah dveh omenjenih rek odvzetih približno po 20.500 vzorcev in opravljenih prav toliko laboratorijskih analiz. Na podlagi tolikšne količine podatkov lahko že s precejšnjo zanesljivostjo vrednotimo hidromorfološko dogajanje v porečjih. Rezultati neprekinjenega spremljanja pretokov in vsebnosti suspendiranega materiala ter izračunanega letnega transporta so za vodomerni postaji na Muri in na Savinji prikazani na sliki 7.

V nadaljevanju navajam nekatere značilnosti dolgoletnega obdobja spremljanja vsebnosti in transporta suspendiranega materiala. Največji transport smo zabeležili leta 1972, ko je Mura skozi profil odplavila kar 4,7 milijone ton suspendiranega materiala. Najmanj materiala je bilo transportiranega v zadnjem desetletju opazovanj, le slabih 10 %, ob čemer naj opozorim na sušna leta od 2001 do 2003. Trend spreminjanja transporta suspendiranega materiala po reki Muri je za 50-letno obdobje opazovanj padajoč, kakor je padajoč tudi trend količin vode v Pomurju za obdobje od 1955 do 1999 (Ulaga, 2002).

Savinja je v nasprotju z Muro največ materiala, dobrih 29 %, odplavila prav v zadnjem desetletju opazovanj. V letu 1997 je letna količina suspendiranega materiala dosegla 1,3 milijona ton, kar je 12,6 % odplavljenе količine

suspendiranega materiala v celotnem obdobju opazovanj. Trend spreminjanja transporta suspendiranega materiala v Savinji je rahlo naraščajoč, kakor je naraščajoč tudi trend visokovodnih konic na vodomerni postaji Veliko Širje (Ulaga, 2002).

Skupna količina transportiranega suspendiranega materiala v Muri je v obdobju 50 let preseгла 32,6 milijona ton. Glede na velikost vodozbirnega zaledja vodomerne postaje Gornja Radgona (dobrih 10.000 km<sup>2</sup>) lahko zaključimo, da bi se ob podobnih hidroloških razmerah površje v tisoč letih znižalo za 21 mm. Savinja je v istem obdobju odplavila skozi profil bistveno manj materiala kakor Mura, 10,5 milijona ton, vendar je vodozbirno zaledje vodomerne postaje Veliko Širje precej manjše (slaba 2000 km<sup>2</sup>). Ob podobnih hidroloških razmerah bi se tako površje porečja Savinje v tisoč letih znižalo za 70 mm. Pri interpretaciji teh vrednosti pa ne smemo pozabiti na dejstvo o geološki pestrosti zaledja, na selektivnost erozije, na korozijo na kraških območjih ter na relativno kratek niz podatkov v primerjavi z dolgo dobo, ki je potrebna za večino geomorfoloških sprememb.

## Sklepne misli

Eden od povzročiteljev naravnih nesreč je nedvomno tudi odplavljanje in transport hribinskega materiala, saj so številne škode na kmetijskih zemljiščih, infrastrukturnih objektih in v naseljih, posledica odlaganja rečnih nanosov. Vidnejši povzročitelj škode je ob visokih vodah prodni nanos, katerega količin na Agenciji ne preučujemo, pač pa ga določamo le empirično. Ob povečanju pretoka je v vodi povečana tudi vsebnost suspendiranega materiala. Skozi rečni profil odplavljena količina suspendiranih snovi je na ta način izjemna le nekajkrat na leto. Približno 70 % letno transportiranega materiala se skozi profil premesti v nekaj dneh, zato je toliko bolj pomembno redno spremljanje hidroloških parametrov na vodomernih postajah. Rezultat 50-letnega spremljanja transporta suspendiranega materiala v Muri in Savinji je prav zaradi rednega vzorčenja in sprotih analiz, vrednotenj, poročanj ter shranjevanja dokumentov, danes pred nami. Na ta način smo dodali še en košček k mozaiku razumevanja pokrajine in njenih vedno znova presenetljivih pojavov in procesov.

## Viri in literatura

1. Arhiv Sektorja za hidrologijo, Urad za monitoring, Agencija RS za okolje, MOP.
2. International Standard ISO 4363:2002; Measurement of liquid flow in open channels – Methods for measurement of characteristics of suspended sediment. Geneva.
3. Manual on sediment management and measurement. Report No.47, WMO-No. 948, Geneva, Switzerland.
4. Ulaga, F., 2002. Trendi spreminjanja pretokov slovenskih rek. V: Dela, 18. Ljubljana, Oddelek za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani. WMO, 2003.