

**dr. Polona OJSTERŠEK ZORČIČ\***  
**doc. dr. Matjaž GLAVAN\*\***

## **DOTOK SUSPENDIRANIH SNOVI V AKUMULACIJO LEDAVSKO JEZERO**

### **POVZETEK**

Dotok in odlaganje suspendiranih snovi v akumulacijah povzroča preglavice lastnikom in upravljavcem po vsem svetu. Akumulacije izgubljajo koristno prostornino, spreminja se hidromorfologija akumulacij in z njimi povezani biokemijski procesi, kar onemogoča doseganje dobre ekološke kakovosti oziroma potenciala, kot ga predpisuje Vodna direktiva (2000/60/EC). Znano je, da so suspendirane snovi v vodnih telesih posledica erozije tal v vodozbirnem območju vendar je, zaradi kompleksnih procesov premeščanja s prispevnih površin, težko napovedati količino, ki prispe v akumulacijo. S pomočjo modela SWAT smo na vodozbirnem območju akumulacije Ledavsko jezero pokazali, da se v povprečju s površinskim odtokom po posameznih odsekih struge reke Ledave, letno premešča med 0,09 in 0,42 t/ha suspendiranih snovi in da znaša povprečni letni dotok suspendiranih snovi, tik pred izlivom v akumulacijo, 2457,3 t. Glede na ta podatek smo lahko izračunali, da bo 'razpolovna doba' akumulacije dosežena čez 55 let, čeprav so problemi, ki ovirajo večnamensko uporabo Ledavskega jezera izraženi že danes. Prispevek predstavlja del projekta 'Izbira in umeščanje ukrepov v vodozbirno območje akumulacijskih jezer', ki sta ga med leti 2011 in 2015 financirala podjetje Savaprojekt d.d. in Javna agencija Spirit Slovenija.

### **UVOD**

Večina suspendiranih snovi v akumulacijo prispe kot posledica erozije tal zaradi padavin (vodna erozija) in kasnejšega premeščanja po vodotoku. Kot dotok suspendiranih snovi razumemo količino, ki v določenem času prispe s prispevnih površin v vodno telo. V kolikor želimo uspešno zmanjšati dotok suspendiranih snovi, moramo razumeti kompleksne procese sproščanja, premeščanja in odlaganja suspendiranih snovi med vodozbirnim območjem in akumulacijo. Ker se lahko suspendirane snovi dolvodno premeščajo skozi daljše časovno obdobje, je potrebno razlikovati med količino, ki se premešča v vodozbirnem območju in količino, ki prispe do zadrževalnika. Številne študije poročajo, da se največji delež premešča prav s kmetijskih površin. Collins in sod. (2009) so na primer pokazali, da erozija tal na kmetijskih zemljiščih prispeva 76 %, erozija brežin 15 %, spiranje iz urbanih površin 6 % in točkovni viri 3 % suspendiranih snovi v vodotoku. Vendar Morgan (2005) opozarja, da se lahko ti podatki zelo razlikujejo glede na geografsko lego, podnebne razmere, topografijo, tip tal in rabo zemljišč.

V preteklih desetletjih so se za napovedovanje izgube tal in določanje dotoka suspendiranih snovi uveljavili procesno utemeljeni modeli. Med številnimi modeli se uspešno uporablja Soil and water assessment Tool (SWAT, Arnold in sod., 1998). Namen tega prispevka je, s pomočjo modela SWAT določiti dotok suspendiranih snovi v akumulacijo Ledavsko jezero in napovedati kdaj bo dosežena 'razpolovna doba' akumulacije.

---

\* dr. Polona OJSTERŠEK ZORČIČ, univ.dipl.ing.kraj.arh., Savaprojekt d.d., \*\* doc. dr. Matjaž GLAVAN, univ.dipl.inž.agr., Biotehniška fakulteta Univerze v Ljubljani

## MATERIALI IN METODE DELA

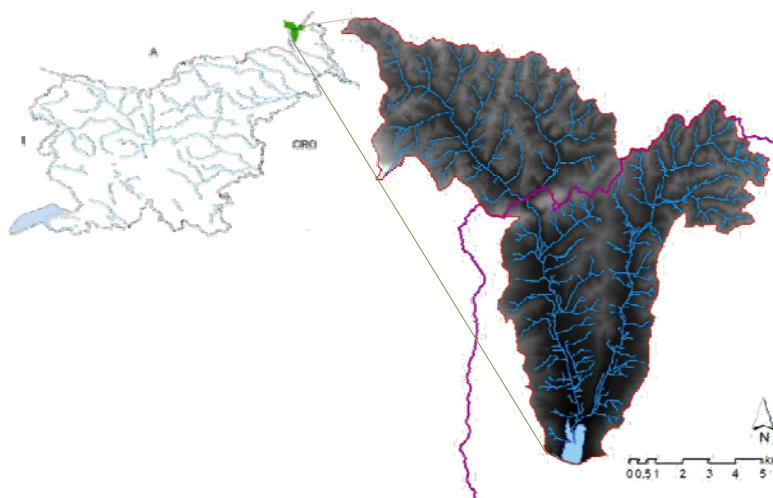
### OPIS OBMOČJA

Akumulacija Ledavsko jezero se nahaja na SV delu Slovenije in je del Krajinskega parka Goričko. Nastala je z izgradnjo pregrade na reki Ledavi kot zaščita pred poplavami. Po Pravilniku o določitvi in razvrstitvi vodnih teles površinskih voda (2005) se akumulacija uvršča med MPVT, s precej spremenjenimi hidrološkimi in morfološkimi značilnostmi glede na naravne razmere, zaradi katerih ne more dosegati dobrega ekološkega stanja. Hkrati Ledavsko jezero sodi v skupino stoječih voda, kjer je še vedno zaznati preobremenjenost s hranili, sredstvi za varstvo rastlin, nizko prosojnost (Secchijeva globina < 1 m), »cvetenje« alg in razraščanje makrofitov (Remec-Rekar, 2014). Morfološke spremembe zaradi odlaganja suspendiranih snovi so razvidne že na podlagi arhivskih aero- in ortofoto posnetkov (slika 1).



**Slika 1: Ledavsko jezero na aero- in ortofoto posnetkih med leti 1987 in 2011, kjer je opaziti širjenje delte in izginjanje zaliva v SZ delu zadrževalnika (Geodetski inštitut Republike Slovenije, Izdaja arhivskih aerosposnetkov)**

Vodozbirno območje Ledavskega jezera do jezua obsega 105,25 km<sup>2</sup>, od tega se 33,7 km<sup>2</sup> območja nahaja v Avstriji. Dobro tretjino (37,8 %) vodozbirnega območja pokrivajo kmetijska zemljišča, 36,7 % gozdovi, sledijo travniki (12,1 %) in trajni nasadi (3,4%). Preostalo pokrivajo kmetijska zemljišča v zaraščanju, pozidana in sorodna zemljišča, trstičje in vode. Največji del vodozbirnega območja prekrivajo srednje in zgornje-pliocenski prod, pesek in različne glin. Dno dolin vodotokov prekrivajo aluvialne ilovnate in peščeno ilovnate naplavine. Slabo tretjino (27,07 %) prekrivajo psevdoglejena distrična rjava tla in distrična rjava tla na pliocenskih sedimentih, ki so izprana in slabo rodovitna.



**Slika 2: Obravnavano vodozbirno območje Ledavskega jezera**

Sicer zahodni del Goriškega sodi med najbolj sušna območja Slovenije, kjer letno v povprečju pade 800 mm padavin. Vendar kratkotrajne in intenzivne padavine poleti ter dolgotrajne padavine z manjšo intenzivnostjo spomladi in jeseni, povečajo zmogljivost premeščanja tal s površinskim odtokom. Za ta

del Goriškega je značilna tudi najvišja relativna plazovna stopnja (Komac in Zorn, 2009), določena s preučevanjem razmerja med plazenjem in drugimi geomorfnimi procesi. V prispevku Zorn in Mikoš (2010) je predstavljena karta specifičnega sproščanja tal za celo Slovenijo, izdelana po metodi Komac in Zorn. Iz njenih rezultatov je razvidno, da se na tem območju prostorsko heterogeno v povprečju premešča med 0,3 t/ha/leto in 0,9 t/ha tal na leto.

## Dotok suspendiranih snovi in ohranjanje koristne prostornine

Kot omenjeno v uvodu se z odlaganjem suspendiranih snovi v akumulacijah izgublja koristna prostornina, spreminja hidromorfologija ter z njo povezani biogeokemični procesi. Za akumulacije je ohranjanje koristne prostornine nujno, saj se s tem zagotavlja osnovni namen in posredno tudi ekološki potencial. Da bi ugotovili v kolikšni meri dotok suspendiranih snovi v akumulacijo vpliva na izgubo koristne prostornine, smo uporabili empirično metodo s katero lahko predvidimo zmogljivost prestrezanja ( $TE$ ) suspendiranih snovi. Med najpogosteje uporabljenimi je danes Brunova krivulja (Brune, 1953), ki temelji na razmerju med kapaciteto zadrževalnika in pritokom vode ( $C/I$ ). Brunovo krivuljo lahko zapišemo s pomočjo enačb 1 in 2:

$$TE = 1 - \frac{0,5}{\sqrt{\Delta\tau_r}}$$

Enačba 1

Kjer je  $TE$  zmogljivost prestrezanja zapisana v % in  $\Delta\tau_r$  sprememba zadrževalnega časa vode v letih, izračunana kot:

$$\Delta\tau_r = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} C_i}{I}$$

Enačba 2

Pri tem je  $C$  koristna prostornina akumulacije ( $m^3$ ) in  $I$  dotok suspendiranih snovi v akumulacijo ( $m^3$ /leto).

Merilo o katerem govorimo je 'razpolovna doba' ki ne pomeni polovice do popolne zapolnitve koristne prostornine, temveč le prelomno točko, od katere naprej sta namen in funkcija zadrževalnika ogrožena.

## Nastavitve in zagon modela SWAT

Za preučevanje erozijskih procesov in njihovega vpliva na dotok suspendiranih snovi v akumulacijo smo uporabili model SWAT 2012. Za zagon modela je potreben nabor prostorskih (digitalni model višin, raba zemljišč, lastnosti tal, mreža vodotokov) in podnebnih podatkov (padavine, temperatura, sončno obsevanje, relativna zračna vlažnost in hitrost vetra). Programski vmesnik ArcSWAT na podlagi prostorskih podatkov in merilnih mest, točkovnih virov obremenitev in glavne točke iztoka iz povodja, prispevno območje razdeli na podpovodja. Podpovodja nato na podlagi enkratne kombinacije tipa tal, rabe zemljišč in naklona, razdeli na hidrološke odzivne enote (HOE). SWAT za izračun izgube tal uporablja enačbo MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation, Williams, 1975), v kateri je energija padavin zamenjana z dejavnikom površinskega odtoka.

Prostorske podatke in podatke o rabi zemljišč smo za Avstrijo pridobili od pripadajočih občin in na Zavodih za geoinformacijski sistem dežel Štajerske in Gradišanskega (GIS Steiermark in GIS Burgenland). Za območje Slovenije smo na Ministrstvu za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano (MKGP) pridobili karto dejanske rabe kmetijskih in gozdnih zemljišč, ki je oblikovana iz podatkov GERK (grafična enota rabe zemljišča kmetijskega gospodarstva).

Digitalizirane pedološke karte tal smo za Slovenijo pridobili od Centra za pedologijo in varstvo okolja Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani in za Avstrijo od Centra za raziskave in preučevanje tal za gozd, naravne nevarnosti in krajino (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald,

Naturgefahren und Landschaft, BFW). Karte obeh držav smo nato, za obravnavano območje, združevali po posameznih slojih. Ob tem smo podatke o dnevni padavinah, minimalni/maksimalni temperaturi, sončnem obsevanju, relativni zračni vlažnosti in hitrosti vetra) pridobili iz obstoječih padavinskih, klimatskih in meteoroloških postaj Avstrije in Slovenije, ki sta jih zagotovila Agencija RS za okolje (ARSO) in Centralni zavod za meteorologijo in geodinamiko (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ZAMG). Za simulacijo hidroloških procesov premeščanja suspendiranih snovi, hranil in onesnaževal so potrebni še podatki o načinu obdelave tal in opraviilih (npr. kolobarjenje, mulčenje idr.), kar nam je zagotovila Kmetijsko svetovalna služba Cankova.

Po oblikovanju podatkovnih baz in vnosu podatkov je sledil zagon modela. Z modelom smo vodozbirno območje Ledavskega jezera razdelil na 18 podpovodij in 5758 HOE. V modeliranje smo zajeli obdobje 8 let (2006 - 2013). Kalibracijo in validacijo smo izvedli avtomatsko s pomočjo uporabe SUFI-2 algoritma v programu SWAT-CUP. Za dokončno zadovoljivo ujemanje smo kalibracijo izvajali še ročno. Pri kalibraciji modela (2006-2010 za pretok, 2013-2014 za suspendirane snovi) in validaciji (2011-2013 za pretok), se je na podlagi statističnih kazalcev ( $E_{NS}$  – Nash-Suttcliffe indeks učinkovitosti, PBIAS - procent BIAS in  $R^2$  - koeficient determinacije) izkazalo, da model dobro oziroma zelo dobro napoveduje pretok in suspendirane snovi (preglednica 1).

**Preglednica 1: Primerjava statističnih kazalcev za obdobje kalibracije (2006-2010) za pretok, validacije (2011-2013) za pretok in kalibracije za suspendirane snovi (2013-2014)**

STATISTIČNI KRITERIJI	KALIBRACIJA - PRETOK			VALIDACIJA - PRETOK	KALIBRACIJA SUSPENDIRANE SNOVI		Sprejemljive vrednosti (Moriasi in sod. 2007; van Liew in sod., 2003)
	leto	mesec	dan	dan	mesec	dan	
$E_{NS}$	0,996	0,493	0,571	0,5	0,57	0,38	0 - 1 0 = optimum
PBIAS	-5,29	-5,19	-5,29	14,08	-14,09	17,69	± 25% za pretok ± 50 % za TSS
$R^2$	0,701	0,618	0,571	0,525	0,64	0,39	> 0,5

## REZULTATI IN DISKUSIJA

### Erozija tal

Z rezultati simulacije modela SWAT smo na prispevnem območju lahko raziskali dejavnike erozije tal. Na sliki 3 je prostorski prikaz povprečne letne količine suspendiranih snovi (t/ha/leto) za obdobje 2006-2013, ki se s površinskim odtokom premešča iz HOE in podpovodij.

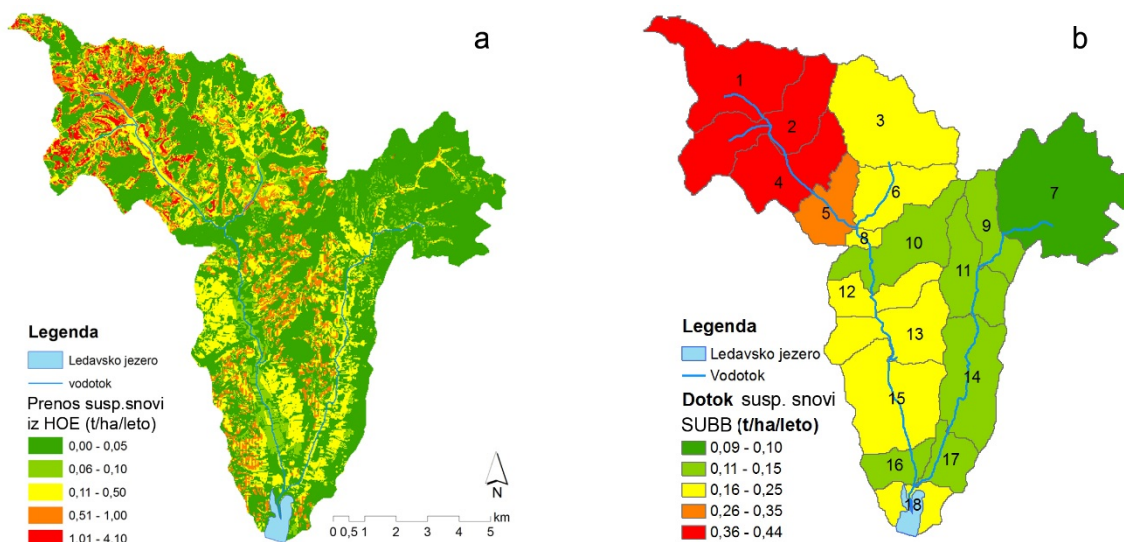
Povprečna letna količina suspendiranih snovi, ki se premešča na nivoju HOE znaša 0,28 t/ha, medtem ko lahko na določenih HOE doseže tudi 4,10 t/ha. Najvišja povprečna letna vrednost izgube tal v obdobju modeliranja je zabeležena v letu 2009 (preglednica 2). V tem letu so ob padavinskih dogodkih najvišje vrednosti dosegle tudi 18,17 t/ha, kar kaže na velik vpliv padavin na erozijske procese.

Količina suspendiranih snovi na iztoku iz podpovodja predstavlja vsoto vrednosti izračunanih za HOE znotraj podpovodja. Iz slike 3b je razvidno, da se letno v povprečju največja količina suspendiranih snovi (0,36 - 0,44 t/ha/leto) premešča v podpovodjih 1, 2 in 4 sledi podpovodje 5 (0,28 t/ha/leto). Najmanjša količina suspendiranih snovi (0,09 t/ha/leto) se premešča na površnem odseku struge Lukaj potoka (podpovodje 7).

Za podpovodja 1, 2, 4 in 5 je značilno, da njive na naklonih nad 11 % pokrivajo več kot tretjino površine. Hkrati tla z visokim deležem melja in glin (gleji, psevdogleji) pokrivajo več kot 60 % površin. V povprečju se na nivoju HOE največ suspendiranih snovi (0,50 t/ha/leto) prenese na naklonih med 11 in 24 %. Glede na rabo zemljišč se v povprečju letno največ suspendiranih snovi (0,60 t/ha) prenese iz njiv z osuševalnimi sistemi, sledijo njive s 0,40 t/ha letno. Med najbolj erodibilnimi tipi tal so se izkazali gleji in psevdogleji, ki se nahajajo na 11,4 % površin, sledijo oglejena ter psevdoglejena tla (32,5 %).

**Preglednica 2: Vrednosti in odstopanja od povprečnih letnih količin suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se iz HOE premeščajo s površinskim odtokom v prispevnem območju Ledavskega jezera**

Prenos sedimenta iz HOE SYLD (t/ha/leto)									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2006-2013
<b>Povprečje</b>	0,35	0,17	0,25	0,68	0,21	0,20	0,14	0,22	<b>0,28</b>
<b>Mediana</b>	0,12	0,07	0,11	0,25	0,08	0,06	0,06	0,08	<b>0,13</b>
<b>Maks. (t/ha)</b>	7,61	3,95	6,78	18,17	5,53	8,19	2,86	6,76	<b>18,17</b>
<b>St. odklon</b>	0,66	0,29	0,46	1,30	0,38	0,47	0,25	0,43	<b>0,64</b>
Povprečna količina padavin (mm/leto)									
<b>Povprečje</b>	781,35	857,94	790,45	1069,97	875,28	677,97	785,37	997,05	<b>854,42</b>



**Slika 3: Povprečne letne vrednosti suspendiranih snovi (t/ha/leto), ki se premeščajo iz HOE (a) in iz podpovodij (b)**

### Dotok suspendiranih snovi

Zaradi pomanjkanja podatkov o odtoku iz zadrževalnika za obdobje kalibracije in validacije (2003-2013), zadrževalnika nismo zajeli v modeliranje s SWAT. Zato smo pri analizi rezultatov upoštevali podatke o dotoku suspendiranih snovi v podpovodje 18, kjer se nahaja dotok v zadrževalnik Ledavsko jezero.

V SWAT je vsak odsek struge vodotoka povezan s podpovodjem. Na določenem odseku vstopajo obremenitve iz pripadajočega podpovodja, h kateri se prištejejo obremenitve iz odseka struge vodotoka gorvodno. Povprečna letna količina suspendiranih snovi (t/leto) v reki Ledavi, ki se premešča iz kontrolnih prevez na iztokih iz podpovodij, je odvisna od koncentracije suspendiranih snovi v rečnem toku in pretoka vode v rečnem odseku (preglednica 3). Na količino suspendiranih snovi v vodi vpliva še vrsta drugih dejavnikov kot so bočna erozija struge, poraščenost struge in premeščanje plavin znotraj struge z vodnim tokom. Iz preglednice 3 je razvidno, da se količina suspendiranih snovi v strugi dolvodno v smeri iztoka v zadrževalnik postopoma povečuje. Izjema je količina v kontrolnih prevezih podpovodij 9, 11, 14 in 17, kjer so majhne tudi letne količine prenesenih suspendiranih snovi s prispevnih površin. Na teh podpovodjih Lukaj potoka gozd pokriva dobro tretjino površin. Prevladujejo distrična rjava tla, ki so pogosto izprana in z majhnim deležem glinenih delcev. Na kontrolnem prerezu iz podpovodja 7 je najmanjša povprečna letna količina suspendiranih snovi (t/leto) in najnižji povprečni letni pretok ( $m^3/s$ ). Čeprav je podpovodje 7 največje med vsemi v prispevnem območju, obsega površni del Lukaj potoka, kjer je 68% zemljišč poraslih z gozdom.

Povprečna letna količina suspendiranih snovi na dotoku v podpovodje 18 znaša 2457,30 t, kjer je model simuliral tudi največji povprečni letni pretok (0,61 m<sup>3</sup>/s). Le-to je razumljivo, saj se količina in tok vode dolvodno povečuje, tako kot se zaradi velikosti prispevne površine povečuje količina suspendiranih snovi. Dotok v podpovodje 18 je namreč kontrolni prerez na reki Ledavi tik za izlivom Lukaj potoka.

**Preglednica 3: Povprečne letne vrednosti za obdobje 2006-2013 v vodozbirnem območju Ledavskega jezera za padavine (mm), površinski odtok (mm), izgubo tal (t/ha/leto), koncentracijo suspendiranih snovi (mg TSS/l), pretok (m<sup>3</sup>/s) in količino suspendiranih snovi v reki Ledavi (t/ha). 18\_IN označuje dotok v podpovodje 18. Z odebeljeno je označenih pet najvišjih vrednosti.**

Podporečje	Padavine (mm)	Površinski odtok (mm)	Prenos suspendiranih snovi (t/ha/leto)	Koncentracija suspendiranih snovi (mg TSS/l)	Pretok (m <sup>3</sup> /s)	Količina suspendiranih snovi v reki (t/ha)
1	854,82	<b>71,54</b>	<b>0,42</b>	<b>48,64</b>	0,07	569,16
2	854,83	<b>76,99</b>	<b>0,44</b>	<b>36,96</b>	0,11	1013,30
3	822,39	45,43	0,18	<b>43,87</b>	0,06	191,80
4	854,83	<b>70,91</b>	<b>0,37</b>	<b>27,99</b>	0,15	1452,34
5	854,82	<b>69,84</b>	<b>0,28</b>	25,40	0,17	1259,76
6	822,39	53,45	0,20	<b>33,90</b>	0,09	386,23
7	822,39	32,28	0,09	1,95	0,06	29,42
8	822,39	<b>65,10</b>	0,16	26,10	0,26	1270,28
9	822,39	43,78	0,10	13,47	0,08	60,61
10	822,39	48,05	0,14	23,64	0,30	1481,55
11	822,39	41,63	0,12	11,39	0,10	127,04
12	822,39	47,67	0,15	22,16	<b>0,32</b>	<b>1628,80</b>
13	822,39	44,70	0,16	20,21	<b>0,35</b>	<b>1771,26</b>
14	<b>915,47</b>	51,22	0,13	9,49	0,15	222,31
15	<b>889,81</b>	56,04	<b>0,22</b>	20,31	<b>0,41</b>	<b>1969,03</b>
16	<b>889,81</b>	48,51	0,14	20,48	<b>0,43</b>	<b>2160,74</b>
17	<b>889,81</b>	43,45	0,11	7,95	0,17	269,69
<b>18_IN</b>	<b>889,81</b>	42,64	0,15	16,95	<b>0,61</b>	<b>2457,30</b>
<b>Povprečje:</b>	847,45	61,25	0,28	22,83	0,22	952,06

Po posameznih odsekih struge reke Ledave lahko opazimo, da je koncentracija suspendiranih snovi v reki Ledavi najvišja na odsekih, kjer se premešča največja količina s prispevnih površin. Ker je količina suspendiranih snovi odvisna od pretoka se količina suspendiranih snovi povečuje dolvodno. K temu najverjetneje prispeva tudi večja erodibilnost brežin v nižinskih delih vodotokov.

## Razpolovna doba

Na podlagi povprečnega letnega dotoka suspendiranih snovi in enačb 1-2 in zmogljivosti prestrezanja (TE) smo lahko izračunali 'razpolovno dobo' za akumulacijo Ledavsko jezero. Zmogljivost prestrezanja suspendiranih snovi (TE) v Ledavskem jezeru pri pri koristni prostornini  $2,42 \times 10^6 \text{ m}^3$  in srednjem pretoku iz zadrževalnika (1,26 m<sup>3</sup>/s) znaša 79,5 %. S povprečnim letnim dotokom 2457,3 t suspendiranih snovi je 'razpolovna doba' za Ledavsko jezero 93 let, kar sovpada s podatki, ki jih je navedel Dendy (1973). V raziskavi, ki jo je izvedel za 1105 akumulacij v Združenih državah Amerike, je ugotovil da je za akumulacije z volumnom med  $1,23 - 12,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  predvidena 'razpolovna doba' 91 let.

Glede na to, da je preteklo že 38 let od izgradnje akumulacije Ledavsko jezero in da sediment še ni bil odstranjen, lahko predvidevamo, da bo 'razpolovna doba' dosežena čez 55 let.

## SKLEPI

V tem prispevku smo pokazali, da lahko s pomočjo modela SWAT uspešno določimo podpovodja s katerih se v reko Ledavo premešča največja količina suspendiranih snovi in da je koncentracija

suspendiranih snovi v vodi najvišja ravno na teh odsekih, kar potrjuje potrditve dosedanje ugotovitve avtorjev o vplivu erozijskih procesov na dotok suspendiranih snovi v vodna telesa.

Količina suspendiranih snovi v reki Ledavi se povečuje dolvodno v smeri akumulacije, saj se dolvodno povečuje pretok in erodibilnost brežin struge vodotoka. Hkrati je dotok suspendiranih snovi v nižinskih delih še vedno prisoten, čeprav v manjši meri kot v podpovodjih avstrijskega dela vodozbirnega območja. Premeščanje suspendiranih snovi v vodozbirnem območju je namreč večje v podpovodjih, kjer je večji delež površja prekrit z njivami, so prisotni gleji, psevdogleji ali oglejena tla in strmejša pobočja.

Pokazali smo lahko, da dotok suspendiranih snovi niha na časovni ravni in je odvisen od podnebnih razmer. Povprečna količina suspendiranih snovi, ki se premešča na nivoju hidrološke odzivne enote ali podpovodja, je višja v obdobjih intenzivnejših padavin, kar je pomemben dejavnik v obdobju podnebnih sprememb, ko se povečuje število izrednih padavinskih dogodkov.

Čeprav je podatek o količini suspendiranih snovi, ki v povprečju letno prispejo v Ledavsko jezero, le simulirana vrednost glede na dane razmere v okolju, smo lahko izračunali 'razpolovno dobo', ki dobro sovпада z raziskavo, ki jo je opravil Dendy (1973). Vsekakor bi za potrditev tega izračuna morali izvesti batimetrične analize.

Glede na hitro približevanje 'razpolovne dobe' in slab ekološki potencial akumulacije Ledavsko jezero, bi bilo smiselno pričeti z odstranjevanjem sedimenta. Vendar je v prihodnje potrebno načrtovati preventivne ukrepe za zmanjšanje prenosa suspendiranih snovi s prispevnih površin v vodna telesa, saj lahko le tako dolgoročno ohranjamo koristno prostornino akumulacij in zmanjšamo vnos onesnaževal vezanih na suspendirane snovi.

## LITERATURA

- Collins A.L., Anthony S.G., Hawley J., Turner T. 2009. The potential impact of projected change in farming by 2015 on the importance of the agricultural sector as a sediment source in England and Wales. *Catena*, 79: 243–250
- Dendy F. E., Champion W. A., Wilson R. B., 1973. Reservoir Sedimentation Surveys in the United States. 349 - 358 v: W. C. Ackermann G. F. White, and E. B. Worthington. *Man-made Lakes: Their Problems and Environmental Effects*, Washington D.C., Geophysical Monograph No. 17. American Geophysical Union: 838 str.
- Komac B., Zorn M. 2009. Plazovitost v Pomurju. V: Zbornik 20. zborovanja slovenskih geografov: 55 – 70
- Remec-Rekar Š. 2014. Ocena stanja jezer v Sloveniji v letu 2013. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje: 17 str.
- Moriasi D. N., Arnold J. G., Van Liew M. W., Binger R. L., Harmel R. D., Veith T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of ASABE*, 50: 885 - 900
- Van Liew M. W., Arnold J. G., Garbrecht J. D.. 2003. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Transaction of. ASAE*, 46: 1539-1551
- Williams J.R., (1975). Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: *Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources: Proceedings of the sediment-yield workshop, USDA Sedimentation Lab., Oxford, MS, November 28-30, 1972. ARS-S-40.*
- Zorn M., Mikoš M. 2010. Meritve površinske erozije tal v gozdu slovenske Istre. *Gozdarski vestnik*, 68: 361-381