

Kretanje vučenog nanosa u šljunčanim koritima

Mehanizam kretanja vučenog nanosa u šljunčanim koritima donekle se razlikuje nago li kod korita s pjeskovitim dnom. Naime kod šljunčanih korita utjecaj forme dna nije toliko dominantan, te je **hrpavost dna vezana pretežno uz hrapavost površine**.

1

Jasno je da hrapavost utječe na profil brzine tečenja, a poznato je da je posmično naprezanje proporcionalno gradijentu horizontalne komponente brzine:

$$\tau_0 = \mu \frac{du}{dz} [N/m^2]$$

Gradijent horizontalne komponente brzine (nagib tangente na vertikalni profil brzine) ovisi o hrapavosti dna.

2

Kod šljunčanih korita hrapavost je moguće odrediti u funkciji promjera zrna čestice, za što postoji niz obrazaca raznih autora, a ovdje ćemo citirati obrazac koji je odredio Bray:

$$\frac{1}{f^{1/2}} = 1,36 \left(\frac{D}{d_{50}} \right)^{0,281}$$

Gdje je D dubina vode, a f koeficijent hrapavosti prema Darcy-Weisbachovoj formuli:

$$f = \frac{4\tau_0}{\frac{1}{2}\rho v^2}$$

3

Ako u gornju jednadžbu uvedemo izraz za prosječno posmično naprezanje:

$$\tau_0 = \rho g R I$$

Možemo izvesti da je brzina toka v jednaka:

$$v = \left(\frac{8gRI}{f} \right)^{1/2}$$

Spomenuta jednadžba za određivanje koeficijenta hrapavosti pokazala je najbolje poklapanje u istraživanju koje je proveo Chang (1980).

4

Za šljunčana korita srednjeg promjera zrna koji prelazi 16 mm nanos predstavlja uglavnom vučeni nanos. Razni istraživači su za takove uvjete tražili funkcijsku vezu između Shieldsovog broja i intenziteta pronosa nanosa (drugi i treći član iz jednadžbe 4.22). Parker (1979) je došao, temeljem istraživanja na seriji od više od 6000 podataka do odnosa:

$$\Phi = 11,2 \left(\frac{1}{\Psi} - 0,03 \right)^{4/5} \Psi^3$$

$$\frac{1}{\Psi} = \frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho)d}$$

Shieldsov broj

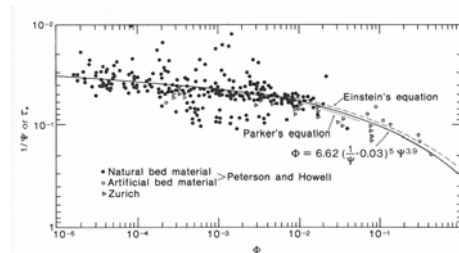
$$\Phi = \frac{q_s}{\sqrt{g\Delta d^3}}$$

Intenzitet pronosa nanosa

5

Changova istraživanja, temeljem podataka Meyer-Peterovih mjerenja u Zurichu na srednjem promjeru zrna od 28,6 mm, dala su nešto drugačiji oblik tog odnosa, odnosno:

$$\Phi = 6,62 \left(\frac{1}{\Psi} - 0,03 \right)^5 \Psi^{3,9}$$



u obadva je postupka granična vrijednost Shieldsovog parametra pri kojoj dolazi do pokretanja nanosa 0,03.

6

To znači da na pokretanje nanosa djeluje onaj dio posmičnih napreznja koji prelazi upravo tu vrijednost, odnosno primijenjen je DuBoysov pristup da je pronos nanosa proporcionalan „višku“ tangencijalnog napreznja

$$(\tau - \tau_c)$$

7

KRETANJE NANOSA – USPOREDBA I VREDNOVANJE FORMULA

Prilikom odabira postupka za procjenu pronosa nanosa treba biti vrlo oprezan. Razlog je u nepouzdanosti i ograničenju vezanih uz neuzimanje svih fizikalnih veličina u obzir i ekstrapolaciji podataka dobivenih na uskom rasponu vrijednosti. U nastavku dan je tablični prikaz raspona ulaznih vrijednosti fizikalnih veličina u istraživanjima za određivanje zakonitosti pronosa nanosa.

8

Izraz	Promje r zrna	Srednji promjer zrna	Specif. gustoća mase zrna (ρ_s/ρ_w)	Brzina toka vode	Dubina ili hidraulički radijus (R)	Pad linije energije	Širina korita	Temp. vode
	d [mm]	d_m [mm]	s [t/m ³]	V [m/s]	D [m]	I [m/m]	B [m]	T [°C]
Ackers-White (tab.)	0.04 - 7.0		1.0 - 2.7	0.02 - 2.1	0.003 - 0.43	0.00006 - 0.037	0.07 - 1.2	8 - 32
Englund-Hansen (tab.)		0.19 - 0.93		0.2 - 1.9	0.06 - 0.4	0.000055 - 0.019		7 - 34
Laursen (prir.)		0.09 - 0.7		0.02 - 2.4	0.2 - 15.5	0.0000021 - 0.0019	19.2 - 1109	0 - 34
Laursen (tab.)		0.011 - 29		0.2 - 2.9	0.01 - 1.1	0.00025 - 0.025	0.07 - 2.0	8 - 28
Meyer-Peter Muller (tab.)	0.4 - 29		1.25 - 4.0	0.4 - 2.9	0.01 - 1.2	0.0004 - 0.02	0.15 - 2.0	
Tofaletti (prir.)	0.062 - 4.0	0.095 - 0.76		0.2 - 2.4	0.02 - 17.3 (R)	0.000002 - 0.0011	19.2 - 1109	0 - 34
Tofaletti (tab.)	0.062 - 4.0	0.45 - 0.91		0.2 - 1.9	0.02 - 0.33 (R)	0.00014 - 0.019	0.24 - 2.4	4 - 34
Yang (prir. pijesak)	0.15 - 1.7			0.2 - 2.0	0.01 - 15.2	0.000043 - 0.028	0.13 - 533	0 - 34
Yang (prir. šljunak)	2.5 - 7.0			0.4 - 1.6	0.02 - 0.22	0.0012 - 0.029	0.13 - 533	0 - 34

9

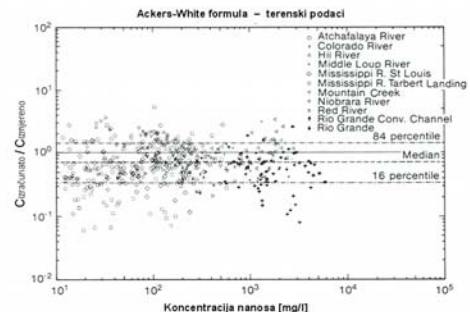
Već sama činjenica da su neki istraživači mjerili na fizikalnim modelima, a neki u laboratoriju, onemogućava nas u međusobnoj usporedbi.

Verifikacija postupaka treba biti provedena na mjerenjima u prirodi.

10

- velik broj formula za pronos nanosa – problem izbora pouzdane (relevantne) formule koja odgovara fizikalnim uvjetima
- pouzdanost formule s obzirom na:
 - glavne fizikalne uvjete
 - poopćenja, pojednostavljenja i pretpostavke
 - **usporedbu mjerenih i izračunatih vrijednosti pronosa nanosa**
- grafička usporedba metoda – primjeri

11



Slika 1: Omjer koncentracije predviđene Ackers-White formulom prema opaženim koncentracijama na terenu (Brownlie, 1981)

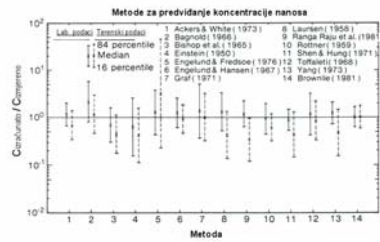
12

- u literaturi je mnogo autora napravilo usporedbu raznih formula
- jedan od njih je i Brownlie koji je usporedio 14 formula (Slika 2)
 - usporedba laboratorijskih (puna linija) i mjerenih terenskih podataka (crtkana linija)
 - poklapanje laboratorijskih i terenskih podataka kod Brownlie-ove formule – koeficijenti u formuli su određeni iz istih podataka



- problem - razni autori rade analize na istim setovima podataka

13



Slika 2: Usporedba metoda za predviđanje koncentracije nanosa. Vrijednost mediana, 16-tog i 84-tog percentila je bazirana na aproksimaciji log-normalnom distribucijom grešaka (Brownlie, 1981)

NAJBOLJE SE PODUDARA POSTUPAK BROWNLIE – VERIFIKACIJA POSTUPKA NA ISTOM SETU PODATAKA ! 14

Formula	Omjer izračunatog i izmjenog nanosa				Postotak testova sa omjerem između 1/11	
	Broj testova	Sredina	95%-ine granice pouzdanosti	Stand. devijacija		
Terenski (izmjenjeni) podaci						
Ackers-White	40	1.27	1.05	1.48	0.68	87.8
Engelund-Hansen	40	1.46	1.28	1.54	0.56	82.9
Laursen	40	0.65	0.49	0.80	0.48	56.1
MPME*	40	0.83	0.50	1.15	1.02	58.5
Yang	40	1.01	0.89	1.13	0.39	82.7
Bagnold	40	0.39	0.31	0.47	0.26	32.0
Meyer-Peter-Muller	40	0.24	0.22	0.27	0.09	0
Yalin	40	2.59	2.08	3.11	1.62	48.3
Laboratorijski podaci sa Di > 70						
Ackers-White	177	1.34	1.24	1.54	1.29	73.0
Engelund-Hansen	177	0.73	0.63	0.83	0.68	51.1
Laursen	177	0.81	0.73	0.88	0.51	71.4
MPME*	177	3.11	2.95	3.52	2.75	42.1
Yang	177	0.99	0.93	1.08	0.60	79.8
Bagnold	177	0.85	0.81	1.22	2.50	20.8
Meyer-Peter-Muller	177	0.40	0.39	0.47	0.49	18.5
Yalin	177	1.62	1.38	2.23	4.08	32.6
Laboratorijski podaci sa Di < 70						
Ackers-White	48	1.12	0.90	1.28	0.52	89.6
Engelund-Hansen	48	0.75	0.59	0.90	0.50	66.7
Laursen	48	1.04	0.76	1.32	0.89	79.2
MPME*	48	1.34	1.04	1.64	1.04	66.7
Yang	48	0.90	0.79	1.05	0.51	85.4
Bagnold	48	1.53	1.46	1.87	1.14	45.8
Meyer-Peter-Muller	48	1.03	1.00	1.27	0.83	72.9
Yalin	48	1.92	1.45	2.41	1.65	64.6

Tablica 1: Analiza omjera odstupanja distribucija 8 formula za pronos nanosa (Alonso, 1980)

* odnosi se na Meyer-Peter-Muller-ovu formulu za vučeni, a na Einstein-ovu za suspendirani nanos

15

ZAKLJUČAK

- pronos nanosa u prirodnim vodotocima vezan je uz varijable prikazane u raznim formulama
- gotovo sve formule sadrže koeficijente koji su određeni na stvarnim terenskim podacima
 - ti isti podaci ne smiju se koristiti kod usporedbe formula (slika 2 – Brownlie)
- pronos nanosa – nesigurnosti (nestalni hidrološki procesi, geološke heterogenosti, ...)
- jako je teško, ako ne i gotovo nemoguće, preporučiti jedan izraz (formulu) za univerzalnu primjenu
- od inženjera se očekuje da prouči teoretske i empirijske temelje svake formule
 - osnovne pretpostavke i fizikalna ograničenja
- **potrebno testiranje i kalibracija formula sa terenskim podacima**

16