

Koliko je Jadran doista opterećen antropogenim i prirodnim unosom tvari?

ZNAČENJE SEDIMENATA U ZAŠTITI MORA OD ZAGAĐENJA

Bogdan Sekulić i Ivan Sondi*

Kopneni izvori zagađenja su polivalentni. Putem otpadnih voda antropogenog porijekla te rijekama i površinskim ispiranjem unose se tokom godine goleme količine tvari u more. Među tim tvarima sedimenti su svakako najdominantniji.

U radu se daje procjena unosa voda i sedimenata od strane antropogenih i prirodnih izvora na slivnom području Jadranskog mora te njihovo značenje za okoliš. Jadran spada u niskoenergetske sedimentacijske okoliše sa slabim transportom sedimenata, a kako isti imaju veliku moć vezivanja zagađivala na sebe, širenje zagađenja na veće udaljenosti je znatno umanjeno. Riječni unos sedimenata u more za redove veličina nadmašuje antropogeni unos.

U radu je dat osvrt na demografsku naseljenost litorala istočne i zapadne obale Jadrana te značenje glavnih naselja u pogledu utjecaja na okoliš.

Ključne riječi: vode, antropogene, prirodne, stanovništvo, zagađivala, sedimenti, okoliš, Jadran

To What Extent is the Adriatic Sea Actually Burdened with Men-induced and Natural Inflow of Substances?

RELEVANCE OF SEDIMENTS IN PROTECTION OF THE SEA AGAINST POLLUTION

Land-based sources of pollution are polyvalent. Effluents of human origin, as well as by rivers and surface ablation, huge quantities of substances are carried into the sea every year. The most dominant among them are the sediments.

This paper presents an assessment of inflow of waters and sediments from man-created and natural sources in the river basin of the Adriatic sea, and the impact they have on the environment. The Adriatic sea belongs to the low-energy sediment environments with low-scale transport of sediments. Since they have a large capacity for binding the pollutants, spreading of pollution to wider areas is thereby significantly decreased. Inflow of sediments by rivers comparatively exceeds men-induced inflow. The paper also includes a demographic survey of population density of littorals on the east and west coast of the Adriatic sea, and the impact that the major towns have on the environment.

Key words: waters, men-induced, natural, population, pollutants, sediments, environment, the Adriatic Sea

* Dr. sc. Bogdan Sekulić & Dr. sc. Ivan Sondi, znanstveni suradnici Instituta "Ruder Bošković" Centar za istraživanje mora Zagreb, POB 1016., 10000 Zagreb

UVOD

Obalne zone, a poglavito riječna ušća, predstavljaju područja biogeokemijskog međudjelovanja kopna i mora. Ušća su područja odlaganja najvećeg dijela materijala, koji nastaje fizikalnim i kemijskim trošenjem stijena, a koji se u obliku suspendiranog i vučenog materijala, koloidne suspenzije i otopljenih kemijskih spojeva, prenosi u more. Lisitzin (1994) tvrdi da se 93-95% suspendiranog materijala i 20-40% otopljenih tvari taloži u ušćima. Velikim se rijekama uvijek pridaje prevladavajuće značenje u ukupnoj bilanci unosa materijala, no pretpostavlja se da male rijeke globalno sudjeluju sa značajnih 30% (Milliman i Syvitski, 1992).

Prijenos i odlaganje sitnozrnatog i suspendiranog materijala u riječnim ušćima uvjetovani su procesima flokulacije i sedimentacije suspendiranog materijala i otopljenih tvari (Eisma, 1981; Boldrin et al., 1989; Eisma i Cadee, 1991; Boldrin et al., 1992; Sondi et al., 1994; Sondi et al., 1995).

Sedimenti, suspendirani materijali i koloidi imaju visoki afinitet za vezivanje, odnosno koncentriranje, organskih i anorganskih zagađivala, koja su u vodene sustave unešena čovjekovom djelatnošću (Juračić et al., 1987; Eisma i Cadee, 1991; Stumm, 1992).

Na ušćima rijeka te mjestima manjih akvatorija gdje je prisutan pojačani antropogeni unos, vrijednosti koncentracija zagađivala mogu poprimiti dramatične vrijednosti osobito u bioti i sedimentima (Orio, 1986; El-Sayed el-Nady, 1986). Iako se na takvim mjestima koncentracije tvari u moru (npr. za metale) nalaze u prirodnim vrijednostima veličine nanograma, u bioti (živim organizmima) u veličini mikrograma, u sedimentima mogu poprimiti vrijednosti na tisuće miligramima, pa čak i više. Time ušća, kao i obalne zone predstavljaju područja intenzivnog odlaganja zagađivala koje se unose s kopna u more (Martin i Windom, 1991; GESAMP, 1993).

Iako se rijekama unose oko 2/3 svih zagađivala, ne treba zanemariti ni direktan utjecaj zagađenja s kopna: urbane sredine, industrijski pogoni, turistički objekti, dakle, svi objekti koje je čovjek izgradio na litoralnom rubu (GESAMP; 1977; 1987; 1989; 1993; Windom, 1992).

Iako su sedimenti ključni čimbenik u sprečavanju širenja najvećeg broja zagađivala koja s kopna dospijevaju u more, pojedine tvari, kao na primjer nutrijenti, imaju daleko slabiju moć vezivanja za sedimente pa analogno tome i veću prostornu distribuciju u moru (primjer rijeke Po) (Monitoring Programme of the Teastern Adriatic, 1993).

ZNAČENJE SEDIMENATA U VEZIVANJU ZAGAĐIVALA

Organski i anorganski spojevi unose se u prirodne vodene sustave u otopljenom, koloidnom i čestičnom obliku. Zagađivala koja se unose u otopljenom ili koloidnom obliku mogu se adsorpcijom vezati uz površine mineralnih ili organskih čestica suspendiranog materijala i sedimentata (Förstner i Wittmann, 1979; Duinker, 1980; Olsen et al., 1982; Juračić et al., 1987; Juračić i Pravdić, 1991). Pri tom su površinske

fizikalno-kemijske značajke mineralnih čestica i procesi na granicama faza čvrsto-tekuće najvažniji činitelj u prijenosu i odlaganju zagađivala u prirodnim vodama (Eisma, 1981; Stumm, 1992). Ovisno o kemijskim oblicima zagađivala, njihovo vezivanje za mineralne čestice suspendiranog materijala može se prema Olsenu et al. (1982) objasniti:

- (1) kationskom izmjenom, precipitacijom ili hidrofobnim međudjelovanjem zagađivala s površinama mineralnih čestica;
- (2) koprecipitacijom zagađivala s manganskim i željeznim hidroksidima;
- (3) stvaranjem kompleksa zagađivala s organskim tvarima koje su vezane uz površinu mineralnih čestica i/ili interlaminarnom prostoru ekspandirajućih minerala glina;
- (4) ugradnjom nekih kemijskih elemenata u kristalnu rešetku mineralnih čestica;
- (5) flokulacijom koloidnih organskih i anorganskih spojeva prilikom miješanja slatke i slane vode u područjima estuarija.

Osim procesa vezivanja metala na mineralnim površinama postoje i procesi desorpcije, tj. njihovog otpuštanja u vodeni sustav. Ti procesi najvećim su dijelom praćeni promjenama fizikalno-kemijskih uvjeta vodenog sustava, kao što su pH, ionska jakost, promjena koncentracije makrokonstituenata vodenog sustava itd. More predstavlja vodeni sustav kod kojeg su te promjene zanemarive, te su tako i procesi otpuštanja zagađivala s mineralnih površina, iako prisutni, u globalnoj bilanci zancemarivi (Fergusson, 1990). Kada do toga i dođe, ponovnim vezivanjem zagađivala s organskim i anorganskim partikularnim materijalom u moru dolazi do njihovog ponovnog uklanjanja iz vodenog sustava (Eisma i Cade, 1991).

Turner et al., (1993) su terenskim radom i modelnim eksperimentima u laboratoriju istražili mehanizam vezivanja i desorpcije metala na suspendiranim materijalima u područjima estuarija. S obzirom na koeficijente distribucije metala, zaključili su da su procesi desorpcije metala sa mineralnih površina zanemarivi u odnosu na procese vezivanja u prirodnim vodenim sustavima estuarija.

PRIRODNI I ANTROPOGENI UNOS VODA I SEDIMENATA U JADRAN

Pod sedimentima se podrazumijeva suspendirani i vučeni materijal veličine 45 i više mikrona. Prvo izvješće o globalnom unosu tvari s kopna u more, putem rijeka (prirodni izvori) te putem otpadnih voda (antropogeni izvori), dat je od strane UNEP 1984. godine. Procjena unosa načinjena je za sve zemlje koje gravitiraju Mediteranu, pri čemu je, uključen i Jadran. Procjena je načinjena za organske tvari, nutrijente, specifične organske tvari, suspendirane tvari, metale, pesticide i radioaktivne tvari.

Mada se radi o preliminarnoj procjeni unosa kako za količine voda prirodnog i antropogenog porijekla tako i za količine unešenih tvari, putem tih voda, ipak nam ove procjene ukazuju na redove veličina o kakvim se količinama radi te koliko je njima Jadran opterećen. Poznato je da su prirodne vode (riječni tokovi) odavna u sferi

Omjeri između prirodnog i antropogenog unosa voda i sedimenata u Jadranskom moru su u tab. 1. i sl. 1.

Tab. 1. Unos voda i sedimenata u more s istočne i zapadne obale Jadrana

Dio obale Jadrana	Prirodne vode (10^9 m ³ /god.)	Antropogene vode (10^6 m ³ /god.)	Prirodni sediment (10^6 t/god.)	Antropogeni sediment (10^6 t/god.)
Part of the coast of the Adriatic Sea	Natural waters (10^9 m ³ /annually)	Waters from man-created sources (10^9 m ³ /annually)	Natural sediments (10^6 t/annually)	Man-made sediments (10^6 t/annually)
Zapadna obala Jadrana	109.8 (59 %)	0.566 (77 %)	54.4 (70 %)	0.071 (100 %)
West Adriatic coast				
Istočna obala Jadrana	77.1 (41 %)	0.170 (23 %)	23.3 (30 %)	0.030 (100 %)
East Adriatic coast				
Ukupno zapadna i istočna obala Jadrana	186.9	0.736	77.7	0.101
West and east coast	(100 %)	(100 %)	(100 %)	(100 %)

N. B. Prirodne vode uključuju sve vode koje dopijevaju u more putem rijeka, podzemnih voda, površinskih izvora i izvora iz podzemlja.

Antropogene vode uključuju sve otpadne vode koje dopijevaju u more od strane stanovništva, industrije, turista i plovničkih objekata.

N. B. Natural waters include all waters that come into the sea by rivers, underground waters, surface waters and submarine springs.

Waters from man-created sources include all effluents that come into the sea by activities of the population, industry, tourist facilities and vessels.

Izvor - Source:

Sekulić, B. & A. Vertačnik (1996) Balance of Average Annual Fresh Water Inflow into the Adriatic Sea. *Water Resources Development*, Vol. 12, No. 1, pp. 89-97.

Sekulić, B. & A. Vertačnik (1997) Comparison of Anthropological and "Natural" Input of Sediments Through Waters into Adriatic, Baltic and Black Sea. *Water Research Journal of the International Association on Water Pollution Research & Control* (in press)

UNOS SEDIMENATA

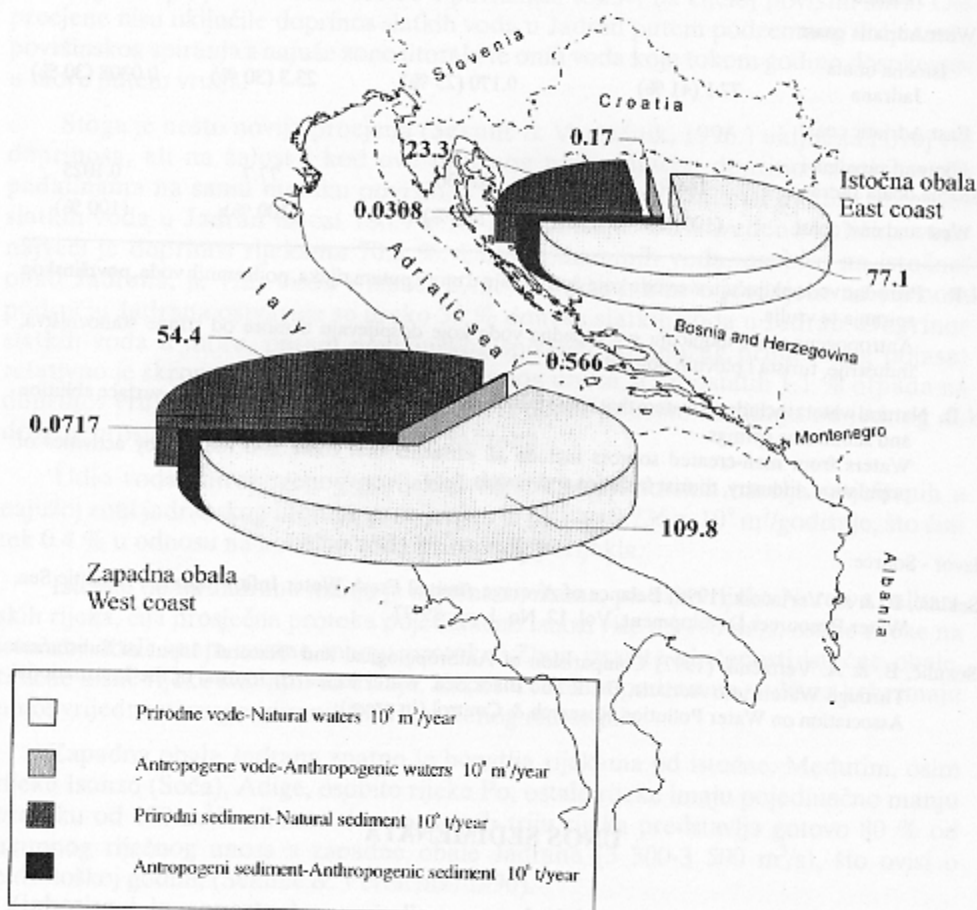
Bilanca ukupnog unosa tvari iz heterogenih izvora (antropogeni i prirodni) načinjena je za Jadransko, Baltičko i Crno more, (Sekulić & Vertačnik, 1997). Prirodni unos tvari osim suspendiranih tvari načinjena analiza unosa za još 17 kemijskih parametara.

Od ukupne količine unosa svih tvari, koje dopijevaju u more bilo antropogeni ili prirodni, bilo prirodni vodama, svakako su najdominantnije suspendirane tvari.

Ukupni unos svih tvari u Jadran vodama antropogenog porijekla procijenjen je na oko 550 tisuća tona godišnje, pri čemu suspendirane tvari čine oko 20 % od ukupnog unosa.

Ukupni unos svih tvari vodama prirodnog porijekla procijenjen je na preko 82 milijuna tona godišnje, pri čemu suspendirane tvari čine gotovo 95 % od ukupnog unosa.

Rijeke su primarni, a more finalni recipijent prihvata svih tvari antropogenog i prirodnog porijekla, posebice sedimenata. Pronos suspendiranih tvari i vučenog materijala rijekama za redove veličina nadmašuje antropogeni unos suspendiranih tvari



Sl. 1. Godišnji unos voda i sedimenata (prirodnih i antropogenih) sa zapadne i istočne obale Jadranskog mora
Fig. 1. Yearly intake of waters and sediments (natural and anthropogenic) from west and east coast of the Adriatic Sea

koje putem otpadnih voda završava u moru. Razlog ovome leži u činjenici da talijanske rijeke nose goleme količine suspendiranog i vučenog materijala osobito u vrijeme jakih padalina. Tada su koncentracije suspendiranih tvari za 5 do 10 puta veće u odnosu na prosječnu godišnju koncentraciju, pa se u tim vremenskim prilikama za vrijeme visokih voda posebice poplave, količine ukupnog unosa povećaju u odnosu na prosjek i za 10 puta, (Sondi et al. 1995.).

Istraživanja sedimentoloških i geokemijskih značajki estuarija jadranskog područja pokazala su da se najveće količine sedimentata, suspendiranog materijala, a s njima i vezanih teških metala, odlažu upravo u područjima ušća (Juračić et al., 1987; Boldrin et al., 1989; Boldrin et al., 1992; Sondi et al., 1994; Sondi et al., 1995). Razlog tome je što područje Jadranskog mora spada u niskoenergetske sedimentacijske okoliše u kojima ne dolazi do značajnog transporta sedimentata i suspendiranog materijala prema otvorenom moru, već postoje svi uvjeti za sedimentaciju tog materijala u obalnim zonama, prvenstveno u područjima ušća (Sondi et al., 1995).

Zahvaljujući upravo ovim procesima vezivanja različitih zagađivala na suspendirane tvari i sedimente, more i morski okoliš je pošteđen stalnih povećavanja koncentracija tvari u njemu, mada su se količine unosa tvari, od strane antropogenih izvora, u proteklih desetljećima udesetostručila u odnosu na prethodna razdoblja. Pa ipak, zahvaljujući adsorpcijskim svojstvima sedimentata koncentracije tvari u moru ostale su u prirodnoj ravnoteži tj. jednake su prirodnim vrijednostima.

NASELJA - GLAVNI IZVOR LOKALNOG ONEČIŠĆENJA MORA

Na preko 3 700 km obalne linije cijelog Jadrana ukupni broj stanovnika istočne i zapadne obale (priobalna naselja) nije veći od 3.5 milijuna (Tablica 2). Glavni unos tvari u Jadran potječe prvenstveno od rijeka Po i Adige dok je preostali dio unosa tvari, vodama antropogenog porijekla, raspodijeljen prvenstveno na šest gradova zapadne obale Jadrana (Trieste, Venezia, Ravenna, Rimini, Ancona i Bari). Svako od navedenih naselja ima više od 100 tisuća stanovnika. U njima živi oko milijun stanovnika. Sva preostala naselja zapadne obale Jadrana imaju manje od 100 tisuća stanovnika po naselju. U odnosu na cjelokupnu naseljenost zapadne obale (ispod 2 milijuna stanovnika), ovih šest naselja okuplja oko 50 % cjelokupne populacije zapadne obale Jadrana.

Za razliku od zapadne obale Jadrana, istočna obala Jadrana ima oko 1.5 milijun stanovnika. U šest većih gradova istočne obale Jadrana (Pula, Rijeka, Zadar, Šibenik, Split i Dubrovnik) smješteno je oko 590 tisuća stanovnika što čini 38 % cjelokupne populacije istočne obale. Međutim, ova naselja nisu po brojnosti populacije ni po stupnju privrednih aktivnosti, kakvu ima zapadna obala, usporedivi s talijanskim gradovima. Prema tome, za očekivati je, da je istočna obala znatno manje opterećena antropogenim unosom tvari nego li zapadna obala Jadrana.

Dakle, na cijelom jadranskom prostoru litorala, u duljini od oko 3 700 km nalazi se desetak većih naselja koja možemo svrstati u glavne izvore od kojih potječe oko 80

% unosa tvari antropogenog porijekla, dok se preostalih 20 % antropogenog opterećenja mora može raspodijeliti na sva ostala naselja na Jadranu. Stoga, navedena glavna naselja s pravom možemo nazvati crnim točkama (tzv. "black points").

Tab. 2. Zastupljenost stanovništva na istočnoj i zapadnoj obali Jadrana

Područje Area	Broj stanovnika Number of inhabitants
Slovenija - Slovenia	50 000
Hrvatska (obala i otoci) - Croatia (coast and islands)	1 270 000
Bosna i Hercegovina - Bosnia and Herzegovina	5 000
Crna Gora - Monte Negro	65 000
Albanija - Albania	160 000
Ukupno istočna obala - East coast total	1 550 000
Italija - Italy	2 000 000
Ukupno istočna i zapadna obala - East and west coast total	3 550 000

Izvor: Veliki geografski atlas Jugoslavije, Sveučilišna naklada Liber, Zagreb, 1987. godine
 Calendario Atlante de Agostini 1986., Istituto Geografico de Agostini, Novara, 1986.

Source: Geographic Atlas of Yugoslavia, Sveučilišna naklada Liber (University Press Liber), Zagreb, 1987.
 Calendario Atlante de Agostini 1986., Istituto Geografico de Agostini, Novara, 1986.

Međutim, iako njihov unos ima sekundarno značenje za globalni sustav Jadrana, njihov utjecaj na lokalnoj razini je primaran, kao i kod svih ostalih manjih naselja, samo s manjim intenzitetom, jer kod većine njih nije riješen sistem pročišćavanja i distribucije otpadnih voda u more.

S druge strane vode prirodnog porijekla, osobito one na zapadnoj obali Jadrana, kao npr. rijeke Po, Adige i druge, pod znatnim su antropogenim utjecajem, te one unose u more goleme količine najrazličitijih tvari. Količine ovih voda su za redove veličina veće u odnosu na količine voda antropogenog porijekla pa je za očekivati da otpadnim vodama antropogenog porijekla stiže u more znatno manja količina tvari, (Sekulić & Vertačnik 1997).

ZAKLJUČAK

U ukupnom unosu tvari s kopna u Jadran, putem voda prirodnog i antropogenog porijekla, udio sedimenta je najveći. S obzirom na svoja fizičko-kemijska svojstva sedimenti imaju najznačajniju ulogu u biogeokemijskom kruženju zagađivala tj. u sprečavanju njihovog širenja u morskom vodenom sustavu.

Oni na sebe vezuju najveći dio zagađivala koja deponiraju u najužoj zoni litorala te stoga ne dolazi do povećavanja prirodnih koncentracija tvari u moru. Iako, područje Jadranskog mora spada u niskoenergetske sedimentacijske okoliše, što doprinosi sprečavanju širenja zagađivala u morskom okolišu na veće udaljenosti, posljedice na biocenoza, zbog unosa zagađivala, su vidljive osobito u zoni manjih zaljeva, ušća rijeka te gradskim lukama.

LITERATURA

- Boldrin, A., Juračić, M., Menegazzo Vitturi, L., Rabitti, S. & Rampazzo, G., 1989: Geochemical considerations on trace element distributions in suspended matter and sediments at the river-sea interface, Adige River mouth, northern Adriatic Sea. *Applied Geochemistry* 4, 409-421.
- Boldrin, A., Juračić, M., Menegazzo Vitturi, L., Rabitti, S. & Rampazzo, G., 1992: Sedimentation of riverborne material in a shallow shelf sea: Adige River, Adriatic Sea. *Marine Geology* 103, 473-485.
- Bonacci, O., 1985/6 Elements of hydrological of Adriatic Sea. *Vodoprivreda* 17, 98, 373-383. (in Croatian)
- Duinker, J. C., 1980: Suspended matter in estuaries: adsorption and desorption processes. In *Chemistry and Biogeochemistry of Estuaries* (Olausson, E. & Cato, I., eds). Wiley, New York, pp. 121-151.
- Eisma, D., 1981: Suspended matter as a carrier for pollutants in estuaries and the sea. In *Marine Environment Pollution* (Geyer R. A., ed.). Elsevier, Amsterdam, pp. 281-295.
- Eisma, D. & Cadee, G. C. 1991: Particulate matter processes in estuaries. In: *Biogeochemistry of major world rivers* (Ed. by E. T. Degens, S. Kempe & J. E. Richey), pp. 282-296. Wiley, New York.
- El Sayed el-Nady, F., 1986. Bioaccumulation of mercury in some coastal marine fish from Alexandria waters in: Meeting of biogeochemical cycle of mercury in the Mediterranean. FAO Fisheries Report No. 325 Supplement Siena, Italy, 27-31 August 1984., Rome 1986, 74-77.
- Fergusson, J. E. 1990: The heavy elements: Chemistry, environmental impact and health effects. Pergamon Press, Oxford, p. 614.
- Förstner, U. & Wittmann, G. T. W., 1979: Metal pollution in the aquatic environment. Springer-Verlag, Berlin, 486 pp.
- GESAMP (IMA/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, 1997: Impact of oil on the marine environment. Reports and Studies No. 6, 250 p.
- GESAMP (IMA/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, 1987: Land/sea boundary flux of contaminants: contributions from rivers. Reports and Studies No. 32, 172 p.
- GESAMP (IMA/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, 1989: Atmospheric input of trace species to the world ocean. Reports and Studies No. 38, 111 p.
- GESAMP (IMA/FAO/UNESCO/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP) Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution, 1993: Anthropogenic influence on sediment discharge to the coastal zone and environmental consequences. Reports and Studies No. 6, 13/3, 67 p.
- Juračić, M. & Pravdić, V., 1991: The role of suspended matter in assessing the assimilative capacity. *Chemistry and Ecology*, 5, 241-248.
- Juračić, M., Vitturi L. M., Rabitti, S. & Rampazzo, G., 1987: Suspended matter properties and their role in pollutant transfer from river to sea. Case study: Adige River - Adriatic Sea. *Science Total Environment* 55, 243-249.
- Lisitzin, A. P. 1994: A marginal filter of the oceans. *Okeanologiya*, 34, 735-747.
- Martin, J.-M. & Windom, H. L., 1991: Present and future role of ocean margins in regulating marine biogeochemical cycles of trace elements. In: *Ocean margin processes in global change* (Ed. by J.-M. Martin & R. Wollast), pp. 45-67. Wiley, New York.
- Milliman, J. D. & Syvitski, P. M., 1992: Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: The importance of small mountainous rivers. *J. Geol.*, 100, 525-544.
- Monitoring Programme of the Eastern Adriatic Coastal Area Report for 1983-1991., Longterm Programme for Pollution Monitoring and Research in the Mediterranean Sea (MED POL - Phase II), Rovinj, 1993.
- Olsen, C. R., Cutshall, N. H. & Larsen, I. L., 1982: Pollutant-particles associations and dynamics in coastal marine environments: A review. *Marine Chemistry* 11, 501-533.
- Orio, A. A., 1986: Mercury in sediment of the Northern Adriatic Sea in Meeting of the biogeochemical cycle of mercury in the Mediterranean. FAO Fisheries Report No. 325 Supplement, Siena, Italy, 27-31 August 1984., Rome 1986, 125-127.
- Pollutants from Land-Based Sources in the Mediterranean, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 3. UNEP 1984., pp. 97.
- Sekulić, B. & A. Vertačnik, 1996: Balance of Average Annual Fresh Water Inflow into the Adriatic Sea. *Water Resources Development*, Vol. 12, No. 1, pp. 89-97.

- Sekulić, B. & A. Vertačnik, 1997: Comparison of Anthropological and "Natural" Input of Substances Through Waters into Adriatic, Baltic and Black Sea. Water Research Journal of the International Association on Water Pollution Research & Control (in print).
- Sondi, I., Juračić, M. & Pravdić, V., 1995: Sedimentation in a disequilibrium river-dominated estuary: the Raša River estuary (Adriatic Sea, Croatia). *Sedimentology* 42, 769-783.
- Sondi, I., Juračić, M., Prohić, E. & Pravdić, V., 1994: Particulates and the environmental capacity for trace metals. A small river as a model for a land-sea transfer system: The Raša River estuary. *Science of the Total Environment* 155, 173-185.
- Stumm, W., 1992: *Chemistry of solid-water interface*. Wiley, New York, 428 p.
- Turner, A., Millward, G. E., Bale, A. J. and Morris, A. W., 1993: Application of the KD concept to the study of trace metal removal and desorption during estuarine mixing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 36, 1-13.
- Windom, H. L., 1992: Contamination of the marine environment from land-based sources. *Mar. Pollution Bull.*, 25, 1-4, 32-36.

SUMMARY

To what extent is the Adriatic Sea Actually Burdened with Men-induced and Natural Inflow of Substances?

RELEVANCE OF SEDIMENTS IN PROTECTION OF THE SEA AGAINST POLLUTION

by
Bogdan Sekulić and Ivan Sondi

Coastal areas, especially river mouths, are the areas of biogeochemical interaction of land and sea. The largest part of the material created by physical and chemical wearing out of rocks accumulates at river mouths. That material is then transferred into the sea in the form of suspended matter, carried material, colloid suspensions and dissolved chemical compounds. Its claims that 93-95% of suspended matter and 20-40% of dissolved substances settle to the bottom in river mouths.

Sediments, suspended matter and colloids have a high affinity for binding, i. e. concentration, of organic and inorganic pollutants, induced into water systems by human activities.

Organic and inorganic compounds are brought into water systems in form of solutions, colloids and particles. Pollutants in dissolved or colloid form can by adsorption bind themselves to surfaces of mineral or organic particles of suspended matter and sediments.

Besides the process of binding of metals on mineral surfaces, there is also a process of desorption, i. e. their release into a water system. This process is mostly followed by changes of physical and chemical conditions in the water system, such as pH, ionic strength, change in concentration of macroconstituents of the water system etc.

Data on the balance of inflow of fresh waters into the Adriatic Sea vary significantly, depending on the level and reliability of data included into that balance.

According to this balance, the contribution of fresh waters amount to $186.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ annually. Rivers cover the largest part of that figure: 70,5%. Share of underground waters is very high, especially on the east coast of the Adriatic: 27.2%. Underground flows in the river basin of the Adriatic Sea contribute with 30% of fresh water inflow into the Adriatic. Amount of fresh waters brought into the sea by surface ablation (from the narrowest littoral) is relatively low and amount to 1.2% of the total amount, while the remaining 1.1% stand for the inflow made by submarine springs. It should be pointed out that these shares vary in different areas of the river basin of the Adriatic Sea.

Share of waters from men-induced sources, coming from settlements along the coastline, in the narrowest part of the Adriatic littoral, has been estimated to $0.736 \times 10^9 \text{ m}^3$ annually, which makes up only 0.4% in relation to the amount of water from natural sources.

A ratio between natural and men-induced inflow of waters and sediments into the Adriatic Sea is given in the Table 1 and Figure 1.

Total inflow of substances into the Adriatic Sea from human sources has been estimated to cca 550 thousand tons a year, wherein suspended matter makes up around 29% of total amount.

Total inflow of substances into the Adriatic Sea from natural sources has been estimated to over 82 million tons a year, wherein suspended matter makes almost 95% of total amount.

Transfer of suspended matter and carried material by rivers exceeds the man-induced inflow of suspended matter which enters the sea with effluents.

Research of sediment and geochemical characteristics of the estuaries in the Adriatic area has shown that the largest quantities of sediments, suspended matter and heavy metals are disposed in river mouths. The reason for that is that the Adriatic Sea area belongs to the low-energy sediment environments in which there is no significant transport of sediments and suspended matter towards the open sea, whereas all conditions for sedimentation of that material in littoral zones, primarily in river mouths, are satisfied.

Thanks to those very processes of binding of various pollutants to suspended matter and sediments, the sea and the sea environment is saved from constant increase of concentration of substances, although the amount of inflow from men-induced sources has grown ten times during the last few decades in comparison with previous periods. Nevertheless, due to adsorption characteristics of sediments, concentration of substances in the sea remained in a natural balance, i. e. they equal natural values.

Primljeno (Received): 3. 10. 1997.

Prihvaćeno (Accepted): 23. 1. 1998.

U ovom radu su prikazani rezultati istraživanja koncentracija, transporta i gubitaka materije u jadranskom moru. Ukupni unos tvari u jadransko do iznosi oko 1,4 milijuna tona godišnje. Ekstenzivno je istražen geografski, geomorfološki i hidrološki utjecaj na uspostavljanje opterećenja. Na osnovu tih podataka je određena količina antropogenih i prirodnih tvari koje ulaze u jadransko do.

Ključne riječi: Jadransko do, antropogeni, prirodni, teški metali, prijenos, sedimenti, biomasa.

On Thermohaline Parameter Estimation in the Coastal Sea

This work deals with the results of the research of temperature, salinity and density of the water in the I. and II. stage of the sea, in the area which directly contacts with the open sea. It is describing the influence of geographical, meteorological and hydrological factors on the investigated system. On that basis it defines interrelation of thermohaline structure evolution without its suspension.

Key words: temperature, salinity, density, salinity, periodicity, gradient, water flow, biomass.

UVOD

U prvoj godišnj rad se govorišlo za uvođenju izvedbi procjenjivanja koncentracija i upotrebu otpadnih voda u Jadransko i istočno Jadransko područje. Istraživačke radove izveo je Hrvatski hidrografički institut u Splitu za potrebe Interdisciplinarnog projektnog zavoda u Zagrebu. Pregled terena, određivanje koncentracije materije u otvorenom otvorenom moru na otvorenom, detaljnost i temeljitost hidrografičkih i hidroloških promjera i njihovih procjena i radovi su stručni suradnici Državnog hidrografskog instituta i saradnika radova (Elašević, 1990).

U istraživačkom dijelu radova podizati su uobitajni nivoi glave određivanja procjena terena, vrijednosti oceanografskih, hidrografičkih i geoloških parametara kao što su: dubina, temperatura, salinitet, gustoća, koncentracija materije i drugog.

* Dr. sc. prof. Petar Sekulić, Zrinskih 54, 21 000 Split, Hrvatska.

** Soudac, Petar Sondi, Zrinskih 54, 21 000 Split, Hrvatska.