

UDK 552.5:551.791.794:549:56.02(497.12)=863

Recentni sediment Koprskega zaliva

The recent sediment of the Bay of Koper (Northern Adriatic)

Bojan Ogorelec¹, Miha Mišič¹, Jadran Faganeli², Peter Stegnar³, Borut Vrišer² in Aleksander Vukovič²

Kratka vsebina

Koprski zaliv je do 20 m globok bazen z omejeno cirkulacijo. Večji del sedimenta pripada glinastemu melju, ki je precej bogat s skeleti foraminifer in s tankolupinskimi mehkužci. Zrnavost sedimenta in delež karbonata, ki se giblje med 20 in 40 %, naraščata proti odprtemu delu zaliva. Ob ustju Rižane se menjavajo rečne, brakične in morske sedimentacijske razmere. Delež $C_{org.}$ v vrhnjem sloju sedimenta se giblje med 0,4 in 2,7 % in je v osrednjem delu zaliva višji kot v njegovem odprtem delu. Vsebnosti težkih kovin Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb in Zn so v mejah geokemičnega ozadja in so istega reda velikosti, kot v vrtini V-6 v sečoveljskih solinah. Članek podaja tudi oris bentoške združbe v sedimentu in kemične analize pornih vod.

Abstract

The Bay of Koper is a marine basin up to 20 m deep with restricted sea water circulation. Sedimentologically, it is classified as silty clay, rich in foraminiferal and molluscan skeletons. The grain-size and the carbonate content of the sediment, ranging between 20 and 40 %, increase towards the Bay entrance. At the Rižana river mouth the sedimentation conditions change from fluvial to brackish and marine. The $C_{org.}$ content in the surficial sediment varies between 0.4 and 2.7 % with the highest values found in the central part of the Bay. The content of the heavy metals Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb and Zn in surficial sediment is at the same level as found in the geochemical background of the borehole V-6 in the Sečovlje salt marsh. The present paper also presents the results of chemical analyses of pore water and an outline of benthic communities.

Uvod

Predmet predstavljenega dela je recentni sediment Koprskega zaliva – njegove sedimentološke značilnosti, fizikalne in kemijske lastnosti ter porazdelitev bentoške favne in flore v odvisnosti od lastnosti sedimenta.

1 Geološki zavod Ljubljana, Parmova 37, 61000 Ljubljana.

2 Morska biološka postaja Piran, Cesta JLA 65, 66330 Piran.

3 Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 61000 Ljubljana.

Zbrano gradivo je rezultat interdisciplinarnega dela geologov, kemikov in biologov Geološkega zavoda Ljubljana, Morske biološke postaje iz Pirana in Instituta Jožef Stefan iz Ljubljane v zadnjih nekaj letih. Z njim nadaljujemo sistematične raziskave recentnega sedimenta slovenskega morja. Menimo, da lahko le s pomočjo široko zasnovanega raziskovanja celovito raziskujemo mehanizme sedimentacije ter fizikalno-kemijske in biološke vplive, ki so prisotni v tem procesu. B. Ogorelec in M. Mišič sta raziskovala zrnavost in mineralno sestavo sedimenta ter njegove mikroskopske značilnosti, J. Faganeli suspendirani sediment, geokemijo organske snovi in pornih vod, P. Stegnar geokemijo težkih kovin, B. Vrišer in A. Vuković pa sta proučevala oris bentoške flore in favne tega področja.

Tovrstne raziskave so dosedaj celovito zajemale sediment Piranskega zaliva (Ranke, 1976) in Sečoveljskih solin (Ogorelec et al., 1981), v več študijah pa je podrobno obdelana ožja problematika tega prostora. Geokemijo pornih vod in organsko snov v sedimentu so preučevali Faganeli in sodelavci (1983). Težke kovine v morskem sedimentu in v organizmih so raziskovali Kosta in sodelavci (1978a, 1978b), bentoške združbe v Izolskem in Koprskem zalivu pa Vrišer s sodelavci (1981) in Avčin s sodelavci (1974). Ogorelec in sodelavci (1984) so raziskovali kvartarni sediment v vrtini V-3 v koprski luki.

Dobljeni rezultati iz Koprškega zaliva bodo dopolnili poznavanje morskega sedimenta širšega Tržaškega zaliva. Italijanski del tega zaliva je bil v zadnjih dvajsetih letih predmet intenzivnih raziskav. Rossi in sodelavci (1968) ter Giorgetti s sodelavci (1968) so preučevali morfologijo morskega dna, Brambati (1968) ter Brambati in sodelavci (1983) so raziskovali zrnavost in mineralogijo morskega sedimenta, Macchi (1968) pa njegovo kemijsko sestavo.

Površinski sediment Koprškega zaliva smo vzorčevali na 31 mestih v izbranih profilih s pomočjo sonde profila 3,7 cm (Meischner & Rumohr, 1974). S to metodo smo uspeli dobiti do 50 cm nepoškodovanega jedra, ki smo ga že takoj po odvzemu razdelili na 2, 5 ali 10 cm intervale.

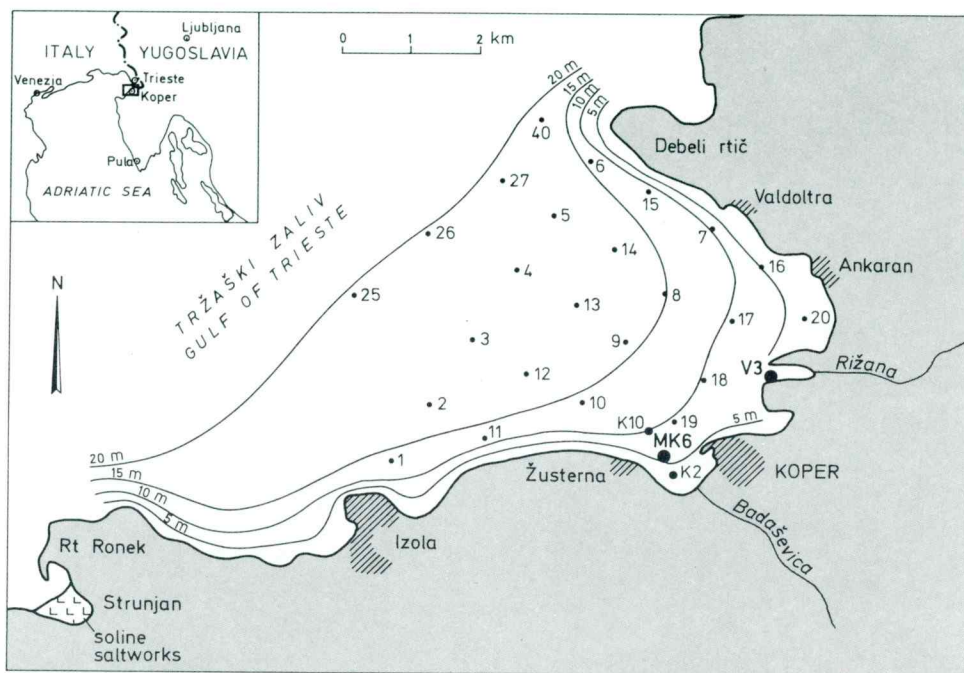
Poleg površinskega sedimenta smo preiskali tudi jedro dveh vrtin, 41 metrov globoke vrtine V-3 v koprski luki (Ogorelec et al., 1984) in 43 metrov globoke vrtine MK-6 pred Žusterno.

Bentoške združbe smo podrobno opazovali v profilu pri Debelem rtiču do globine 4 m ter v profilu med Koprom in Izolo do globine 6 m.

Morfologija in hidrografija Koprškega zaliva

Koprski zaliv predstavlja zaprti jugovzhodni del obsežnejšega Tržaškega zaliva in meri okrog 35 km². Na severozahodu se med Izolo in Debelim rtičem odpira v Tržaški zaliv, na vzhodu pa prehaja v dolino Rižane (sl. 1). Koprski zaliv je geomorfološko gledano pravzaprav potopljena široka dolina Rižane, katero je preplavilo morje po zadnji pleistocenski poledenitvi. Po raziskavah van Straatena (1965, 1970) in po podatkih Guilcherja (1969) je bilo celotno ozemlje Severnega Jadrana v pleistocenu namreč kopno in je bila morska gladina 110 do 120 metrov nižja od današnje.

Hidrogeografske značilnosti Koprškega zaliva so podobne kot veljajo za celotni Tržaški zaliv. Kljub dotokom sladkih voda je slanost morja v Tržaškem zalivu običajno v okviru tipičnih morskih razmer in se giblje v površinskem sloju med 33,5 in 37,5 ‰, v sloju pri dnu pa med 37,0 in 38,0 ‰. Opisane razmere se spreminjajo ob povečanem dotoku rečnih voda (pozna pomlad), ko se plast redkejšje vode razprostira



Sl. 1. Koprski zaliv. Batimetrične krivulje in lokacije preiskanih vzorcev

Fig. 1. The Bay of Koper. Bathymetric map and sample locations

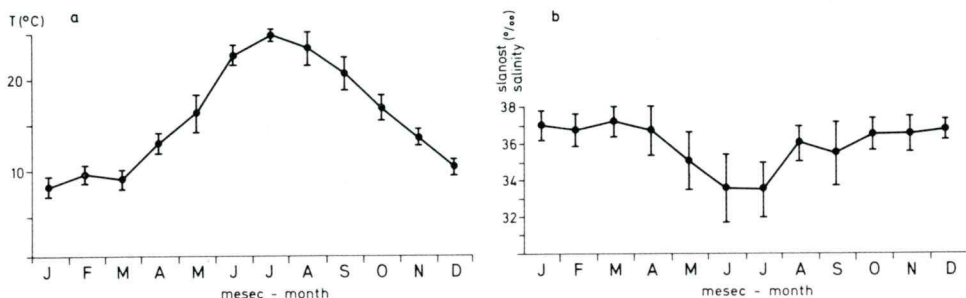
po celotnem področju. Vpliv sladke vode v Koprskem zalivu, ki jo dovajata reka Rižana in potok Badaševica, je običajno neznaten, saj doseže morje že v neposredni bližini izliva Rižane normalno morsko slanost.

Gibanje vodne mase znotraj zaliva je v glavnem pogojeno s plimovanjem in vetrovi, ki pihajo med letom pretežno s sektorja SV–JZ. Pomembna je predvsem burja, ki lahko v nekaj dneh premeša celotni vodni stolpec. Normalne amplitude plime in oseke dosežejo v Kopru 0,5 m, ob dolgotrajnejšem jugu, predvsem novembra in decembra, pa se lahko morska gladina dvigne tudi meter nad normalo.

Značilnosti morja v Tržaškem zalivu so nizke zimske (poprečno 8 °C v februarju) in visoke poletne (poprečno 24 °C v juliju) temperature. Termična stratifikacija v vodnem stolpcu je razvita na pomlad in poleti, proti koncu poletja pa že nastopa izotermija (sl. 2).

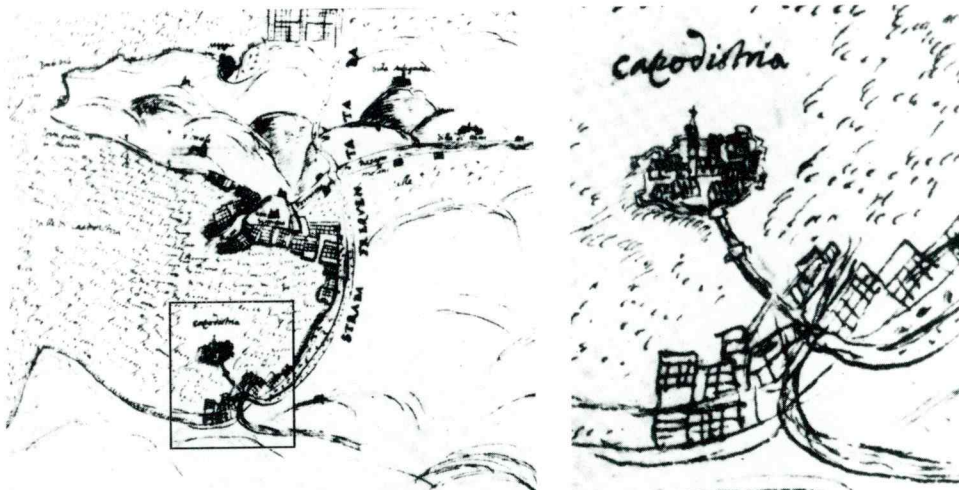
Podmorski relief kaže, da je Koprski zaliv precej ravna, 15 do 20 metrov globoka podvodna ravnica z dokaj strmo obalo, katero grade flišne kamnine. Linija dvajset-metrске globine poteka na profilu med rtičem Ronek in Debelim rtičem (sl. 1).

Iz zgodovinskih virov (Semi, 1975) povzemamo, da je morje še v 17. stoletju segalo bolj v notranjost zaliva. Takratna naselbina Koper je obsegala le otoček, ki je bil povezan s kopnim z umetnim nasipom (sl. 3). Kot zadnji ostanek tega morja je ohranjen le še Škocjanski zaliv na vzhodnem delu koprške luke. Na naplavnih ravninah Rižane in Badaševice so Benečani uredili obsežna solna polja, ki so bila kasneje opuščena in spremenjena v kmetijske površine.



Sl. 2. Sezonske variacije temperature (a) in slanosti (b) morja v JV delu Tržaškega zaliva. Vrednosti so izpoprečene po vodnem stolpcu

Fig. 2. Seasonal variations of sea water, temperature (a) and salinity (b) in the SE part of the Gulf of Trieste. Values are averaged over seawater column



Sl. 3. Koprski zaliv v 17. stoletju. Desno je lepo vidna koprška naselbina na prvotnem otoku ter razpored solnih polj v notranjosti zaliva. Iz dela: P. Semi (1975)

Fig. 3. The Bay of Koper in 17th century. In the right figure is clearly seen the small island with the settlement of Koper and saltworks in the inner part of the bay

Sedimentološke raziskave

Zrnavost sedimenta smo določili s kombinirano metodo sejanja in areometrije za frakcijo pod $63\mu\text{m}$ (metoda po Atterbergu, 1905). Meje zrnivosti jemljemo po standardnih normah v sedimentologiji (Krumbein, 1936) kot sledi: glina $< 2\mu\text{m}$, melj 2 do $63\mu\text{m}$ in pesek $63\mu\text{m}$ do 2mm .

Mineralno sestavo vzorcev (frakcijo $> 63\mu\text{m}$) smo določili z difraktometrijsko tehniko na rentgenski napravi Philips. Minerale glin smo raziskali z orientiranimi preparati, pripravljenimi s pipetno metodo.

Delež karbonatov smo raziskali s kompleksometrično metodo (Müller, 1964), za posamezno analizo pa smo oddvojili gram suhega in homogeniziranega vzorca frakcije pod $63\mu\text{m}$. Eh smo merili s platinasto elektrodo Ingold.

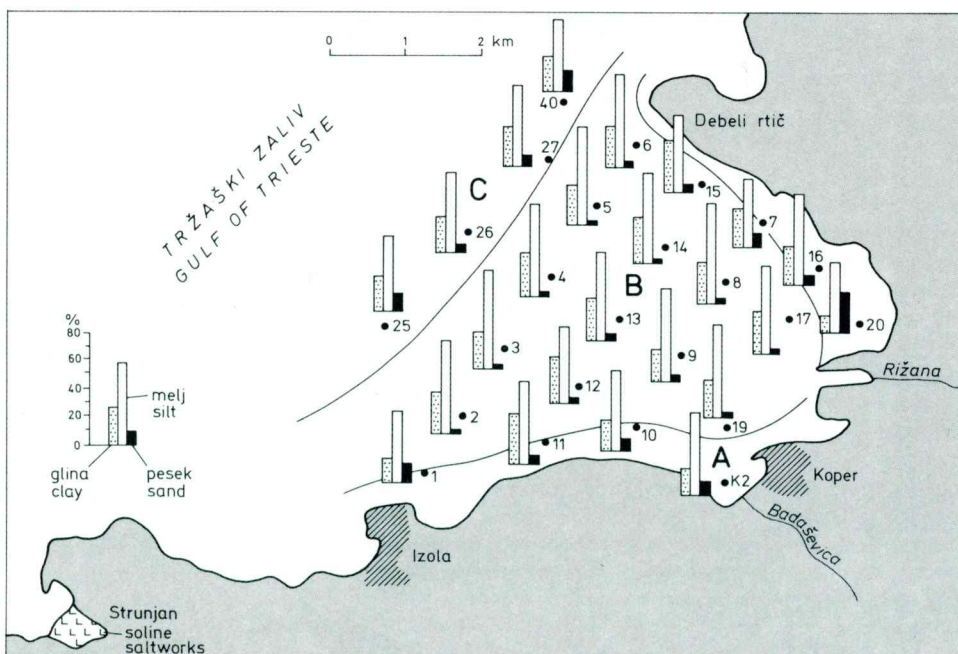
Površinski sediment

Po zrnivosti in po mineralni sestavi lahko površinski sediment Koprskega zaliva razdelimo v tri cone (sl. 4 in 5):

Obrežni sediment (cona A): Gre za relativno ozek pas ob obrežju, širok le nekaj deset metrov, ki se približno ujema z batimetrično krivuljo na globini 5 metrov. Nekoliko širša je ta cona le v predelu med izlivom Rižane in med Ankaranom. Po sestavi je to melj in peščeni melj z do 15 % gline in do 40 % frakcije peska. Mediana se giblje med 35 do 70 μm , delež karbonata pa med 20 in 30 %; v notranjosti zaliva ob izlivu Rižane je celo nižji od 20 %. Izpiranje gline je pogojeno z valovanjem v obrežnem pasu.

Frakcijo nad 63 μm sestavljajo detritični drobcji fliša in apnenca, nadalje lupine školjk, polžev in drugih organizmov, morska trava, les, kepice, bitumna ter v manjši meri še drobcji, ki so produkt civilizacije (opeka, steklo, plastika, beton in slično).

Sediment notranjega dela zaliva (cona B): Tej coni pripada pretežni del Koprskega zaliva v trikotniku Izola–Koper–Debeli rtič. Sediment ima zelo homogeno sestavo; pripada glinastemu melju z 20 do 40 % gline in z do 3 % frakcije peska. Mediana znaša 3 do 6 μm , delež karbonata pa niha med 20 in 30 %. Opazno je povečevanje karbonatne komponente proti odprtemu delu zaliva. V frakciji peska



Sl. 4. Razpored zrnivosti in con površinskega sedimenta v Koprskem zalivu.

A – obrežni sediment, B – sediment notranjega dela zaliva, C – sediment odprtega dela zaliva

Fig. 4. Distribution of grain size of the surfacial sediments and distribution of sediment zones in the Bay of Koper

A – sediment close to the coast, B – sediment in the interior of the bay, C – sediment at the entrance of the bay



Sl. 5. Diagram zrnivosti pesek-melj-glina površinskega sedimenta Koprškega zaliva

Fig. 5. Sand-silt-clay diagram of the surficial sediment from the Bay of Koper

(zrna nad $63\mu\text{m}$) je približno polovica detritičnih zrn, katere sestavljajo kremen, sljuda in drobci apnenca, drugo polovico pa sestavljajo organski skeleti – predvsem školjčne lupine in polži ter foraminifere in ostrakodi. Med školjkami sta pogostni vrsti *Leda* sp. in *Cardium* sp., med polži pa *Gibbula* sp. in *Cerithium* sp. Foraminifere pripadajo številnim vrstam, predvsem družini miliolid. Nekatere foraminifere so inkrustirane s piritom.

Sediment odprtega dela zaliva (cona C): Osnovne značilnosti sedimenta te cone so visok delež frakcije peska (poprečno okrog 20 %), katero sestavljajo sami skeleti organizmov, nadalje nižja vsebnost glin v primerjavi s sedimentom notranjega dela zaliva (okrog 25 %) ter relativno visok delež karbonata, ki doseže 30 do 45 %. Srednja zrnovitost sedimenta se giblje med 10 in $35\mu\text{m}$. Visok odstotek karbonata je vezan na številne drobne školjčne lupine in drugih organizmov. Glinasta frakcija se delno spira z morskim tokom, ki teče ob robu zaliva ob morskem dnu.

V tabeli 1 so podane primerjevalne vrednosti značilnih parametrov zrnovitosti sedimenta Koprškega zaliva.

Raziskave so pokazale, da je sediment po sestavi zelo homogen tudi z globino, tako po zrnovitosti kot po mineralni sestavi. Oba parametra nihata v 5 centimetrskih intervalih v mejah do 15 %.

Mineralogija: Mineraloško kaže Koprski zaliv na enotno »mineralno provinco« oziroma na isto zaledje, od koder je prihajal detritični material. To so flišne plasti Šavrinskega Primorja ter kredno-paleogenski apnenci zahodnega dela Čičarije.

Mineralna sestava je podana v tabeli 2. Najbolj pogost mineral v recentnem sedimentu Koprškega zaliva je **kremen**. Zasledimo ga v vseh frakcijah, njegov delež pa cenimo med 18 in 35 %. Je terigen in izvira iz flišnih plasti okolice. Flišnega izvora so tudi **glinenci**, ki so zastopani z okrog 5 %.

Tabela 1. Primerjalne vrednosti granulometričnih podatkov površinskih vzorcev Koprskega zaliva

Table 1. Grain size for surficial samples of the Bay of Koper

Vzorec Sample	Globina Depth	Frakcija Fraction > 63 μm (%)	Mediana Medium grain size (μm)	Frakcija Fraction < 2 μm (%)
1	0-10 cm	18,4	60	17
2	5-20 cm	1,0	5	32
3	0-10 cm	1,8	6	27
4	5-15 cm	2,5	5	32
5	0-10 cm	2,7	4	30
6	5-15 cm	2,1	5	31
7	0-10 cm	5,6	6	27
	10-15 cm	10,5	8	31
8	0-10 cm	0,5	5	30
	10-20 cm	0,5	4	38
9	0-10 cm	2,4	4	35
	10-15 cm	2,3	4	38
10	0-10 cm	4,2	6	27
	10-15 cm	11,3	6	28
11	0-10 cm	6,1	7	25
12	5-20 cm	1,5	4	34
13	0-10 cm	3,3	5	32
14	5-20 cm	1,2	4	33
15	0-10 cm	1,6	4	38
16	0-10 cm	4,7	6	30
	10-25 cm	2,6	4	37
17	0-10 cm	1,4	4	33
	10-20 cm	0,6	3	40
19	0- 5 cm	4,1	5	28
	5-10 cm	4,6	6	26
20	0- 5 cm	32,3	40	11
	5-10 cm	37,8	46	9
25	0- 5 cm	13,8	8	30
	5-10 cm	17,4	14	27
	10-15 cm	18,5	12	25
	15-20 cm	15,8	10	28
26	0-10 cm	7,1	6	30
27	5-25 cm	4,8	5	32
Koper	1 m	14,7	45	12
	2,5 m	8,5	35	15
	5 m	4,4	10	25
	10 m	1,4	5	28
	15 m	4,1	5	30

Poleg kremenca je najbolj pogost mineral **kalcit**. Nastopa kot »nizkomagnezijev kalcit« (low Mg-calcite) z do 5 mol % MgCO_3 . V osrednjem delu Koprskega zaliva se njegov delež giblje okrog 25 %, proti odprtemu delu zaliva pa je višji in doseže 35 % in več. Večji del je kalcit terigenega izvora (apnenec), del pa ga je tudi biogenega izvora (foraminifere, lupine školjk in polžev). **Dolomita** je v primerjavi s kalcitom bistveno manj in se po ocenah giblje med 3 in 8 %.

Delež skupnega karbonata je za vse preiskane vzorce podan v tabeli 3 in na sliki 6, in sicer za frakcije pod 63 μm .

Od **mineralov glin** so v površinskem sedimentu Koprskega zaliva prisotni illit, klorit in mineral z zmesno strukturo tipa illit/montmorillonit z razporeditvijo sestav-

Tabela 2. Mineralna sestava površinskega sedimenta Koprškega zaliva (rentgenska analiza vprašenih vzorcev, delež mineralov je podan v %)

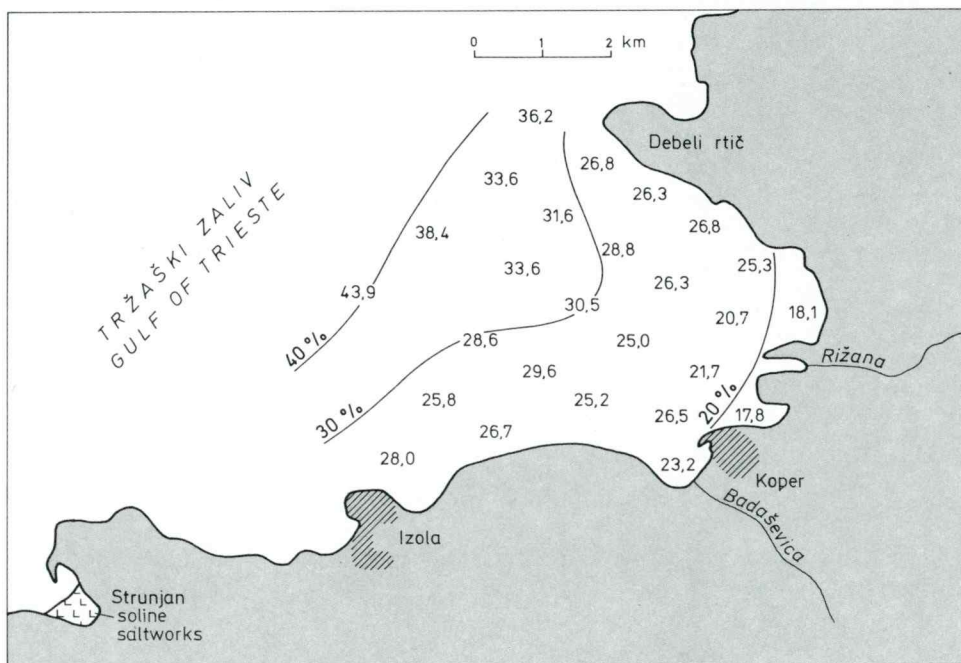
Table 2. Mineral composition for surficial samples of the Bay of Koper (X-ray analyses, mineral content in %, bulk samples)

Vzorec Sample	Globina Depth	Kalcit Calcite	Kremen Quartz	Muskovit/Illit Muscovite/Illite	Klorit Chlorite	Plagioklaz Plagioclase	Mikroklin Microcline	Dolomit Dolomite	Sadra Gypsum	Pirit Pyrite	Rogovača Hornblende
1	0- 5 cm	24	35	18	12	4	-	4	-	3	-
	10-15 cm	27	23	20	10	6	-	-	10	4	-
2	0- 5 cm	22	18	30	17	4	-	4	3	2	-
	5-20 cm	27	20	25	15	7	-	6	-	-	-
3	0-10 cm	25	22	25	16	5	-	4	-	3	-
	10-25 cm	28	18	25	17	4	-	4	-	4	-
4	0- 5 cm	26	18	24	16	5	-	8	-	3	-
	5-15 cm	25	19	23	17	5	-	8	-	3	-
5	0-10 cm	23	21	23	17	5	-	8	-	3	-
	10-15 cm	26	18	24	15	8	-	7	-	3	-
6	0- 5 cm	24	22	28	18	5	-	3	-	-	-
	5-15 cm	27	19	27	16	6	-	3	-	2	-
7	0-10 cm	24	22	23	18	6	4	3	-	-	-
	10-15 cm	23	27	22	19	6	-	3	-	-	-
8	0-10 cm	24	15	30	21	5	-	3	-	2	-
	10-20 cm	23	20	30	17	5	-	2	-	3	-
9	0-10 cm	26	21	22	20	6	-	3	-	2	-
	10-15 cm	21	19	20	18	5	-	4	5	4	4
10	0-10 cm	23	22	26	18	6	-	2	-	3	-
	10-15 cm	22	22	27	18	5	-	2	-	4	-
11	0-10 cm	22	20	22	16	6	4	3	5	-	2
	10-20 cm	26	18	21	15	6	3	3	5	3	-
12	0- 5 cm	26	19	23	17	6	3	4	-	2	-
	5-20 cm	26	18	23	18	6	3	4	-	2	-
15	0-10 cm	22	20	29	19	4	3	3	-	-	-
	10-20 cm	22	15	25	20	6	3	4	3	2	-
16	0-10 cm	24	20	23	20	8	-	2	-	3	-
	10-20 cm	20	20	25	18	7	3	2	-	5	-
17	0-10 cm	20	21	30	18	5	-	2	-	4	-
	10-20 cm	21	15	35	20	5	-	1	-	2	-
25	0- 5 cm	26	14	20	13	3	4	15	-	4	-
	5-10 cm	20	14	20	13	6	2	22	-	3	-
	10-15 cm	21	11	20	11	5	4	24	-	4	-
27	0- 5 cm	25	18	23	16	6	-	9	-	3	-
	5-25 cm	24	15	20	18	5	3	10	-	5	-

Tabela 3. Deleži karbonatov v površinskih vzorcih Koprskega zaliva
 Table 3. Carbonate content for surficial samples of the Bay of Koper

Vzorec Sample	Globina Depth	CaO (%)	MgO (%)	Skupni karbonat Total carbonate (%)
1	0- 5 cm	14,7	0,8	28,0
	10-15 cm	12,8	2,3	27,8
2	0- 5 cm	12,3	1,8	25,8
	5-20 cm	14,9	1,7	30,1
3	0-10 cm	14,2	1,5	28,6
	10-20 cm	15,0	2,2	31,5
4	0- 5 cm	15,6	2,8	33,6
	5-15 cm	16,0	2,4	33,7
5	0-10 cm	15,5	1,9	31,6
	10-15 cm	15,5	3,0	33,8
6	0- 5 cm	13,1	1,6	26,8
	5-15 cm	13,4	2,7	29,7
7	0-10 cm	13,2	1,5	26,8
	10-15 cm	13,1	1,4	26,4
8	0-10 cm	12,8	1,7	26,3
	10-20 cm	13,1	1,3	26,2
9	0-10 cm	12,2	1,5	25,0
	10-15 cm	12,6	1,6	25,8
10	0-10 cm	12,3	1,5	25,2
	10-15 cm	12,3	1,3	24,8
11	0-10 cm	13,1	1,6	26,7
	10-20 cm	14,5	2,1	30,2
12	0- 5 cm	14,2	2,0	29,6
	5-20 cm	14,6	1,8	29,9
13	0-10 cm	14,7	2,0	30,5
	10-20 cm	14,4	2,2	30,3
14	0- 5 cm	13,7	2,1	28,8
	5-20 cm	14,1	1,9	29,2
15	0-10 cm	12,3	2,0	26,3
	10-20 cm	13,4	1,2	26,5
16	0-10 cm	12,8	1,2	25,3
	10-25 cm	10,8	1,3	21,9
17	0-10 cm	8,5	2,6	20,7
	10-20 cm	10,4	1,0	20,8
19	0- 5 cm	13,1	1,5	26,5
	5-10 cm	13,0	1,6	26,6
20	0- 5 cm	10,5	0,9	20,7
	5-10 cm	11,6	0,8	22,3
25	0- 5 cm	18,5	5,2	43,9
	5-10 cm	20,4	4,3	45,3
	10-15 cm	21,0	4,6	47,0
	15-20 cm	20,7	2,9	43,1
26	0-10 cm	17,4	3,5	38,4
	10-30 cm	17,9	4,0	40,4
27	0- 5 cm	14,8	3,4	33,6
	5-25 cm	16,8	3,1	36,6

nih komponent na meji med Reichweite $R=O/R=1$ (Reynolds, 1980). Skupni delež vseh omenjenih mineralov glin znaša v osrednjem delu zaliva okrog 30 %. Glineno frakcijo v vrtni MK-6 tvorita minerala z zmesno strukturo tipa illit/montmorillonit + diskretni illit in klorit. Razmerje sestavnih komponent illit/montmorillonit v mineralu z zmesno strukturo niha od 56/44, 58/42, 62/38, 63/37 do 68/32. To nam kaže na



Sl. 6. Skupni karbonat v površinskem sedimentu Koprskega zaliva (v %)

Fig. 6. Distribution of calcium carbonate content in the surficial sediment of the Bay of Koper (in %)

prehod od naključne razporeditve sestavnih komponent ($R=O$), prek mejne razporeditve $R=O/R=1$ v allevarditno razporeditev ($R=1$) sestavnih komponent.

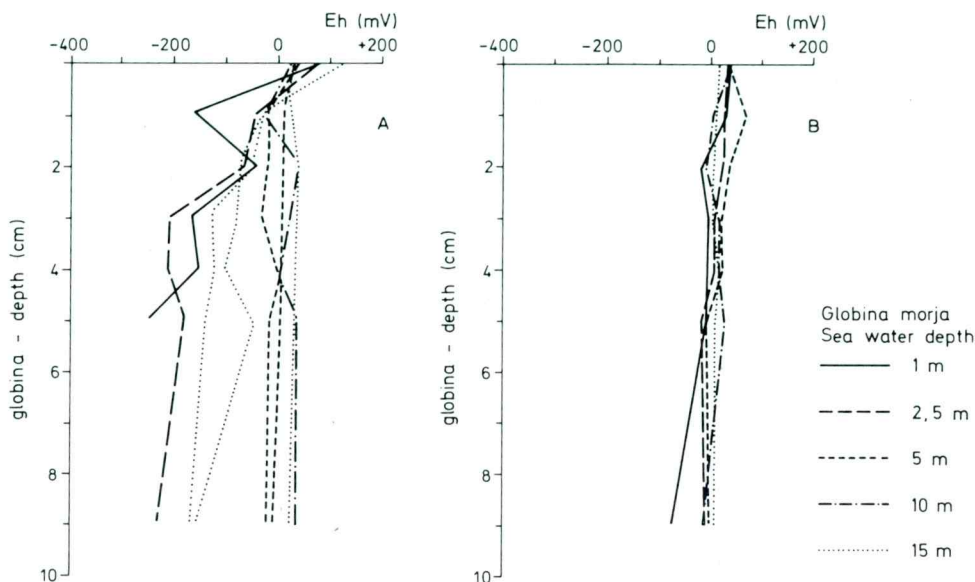
Vsi ti minerali so presedimentirani iz okolišnih flišnih laporjev. Te raziskave kažejo, da moramo pojem »illitne province« Severnega Jadrana (Pigorini, 1967) razširiti in dopolniti tudi z minerali z zmesno strukturo tipa illit/montmorillonit.

Pirit je prisoten v vseh preiskanih vzorcih notranjega in osrednjega dela zaliva, njegov delež pa cenimo na 1–4 %. Nastal je med diagenozo v redukcijskem okolju sedimenta (slika 7), povzročenem zaradi razpada organske snovi pod površjem. Pirit se javlja v do 200 μm velikih framboidih, večkrat pa so z njim inkrustirane tudi foraminifere.

Avtigena minerala sta tudi **sadra** in **bassanit** $[(\text{CaSO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ kot prehodni mineral med sadro in anhidritom. Bassanit zasledimo v sledovih v predelu med Izolo in Koprom. Njegovi kristali merijo do 2 mm in so lepo razviti, večkrat se med seboj preraščajo v miniaturne rozete. Izvor oz. vzroki, zakaj se v tem pasu izloča bassanit, za zdaj še niso pojasnjeni. Glede na bližino opuščene opekarne ne moremo izključiti tudi možnosti njegovega umetnega izvora.

Vrtini V-3 in MK-6

Sediment pod površino smo v notranjem delu Koprskega zaliva raziskali z vrtino V-3, ki je locirana v koprski tovorni luči (Ogorelec et al., 1984, Faganeli et al., 1985) in je globoka 41 metrov, vrtina MK-6 pa je izvrtana 200 m pod Žusterno na



Sl. 7. Vertikalni profili Eh v poletnem (A) in zimskem (B) obdobju v notranjem delu Koprskega zaliva

Fig. 7. Vertical distribution of Eh in summer (A) and in winter (B) period in the inner part of the Bay of Koper

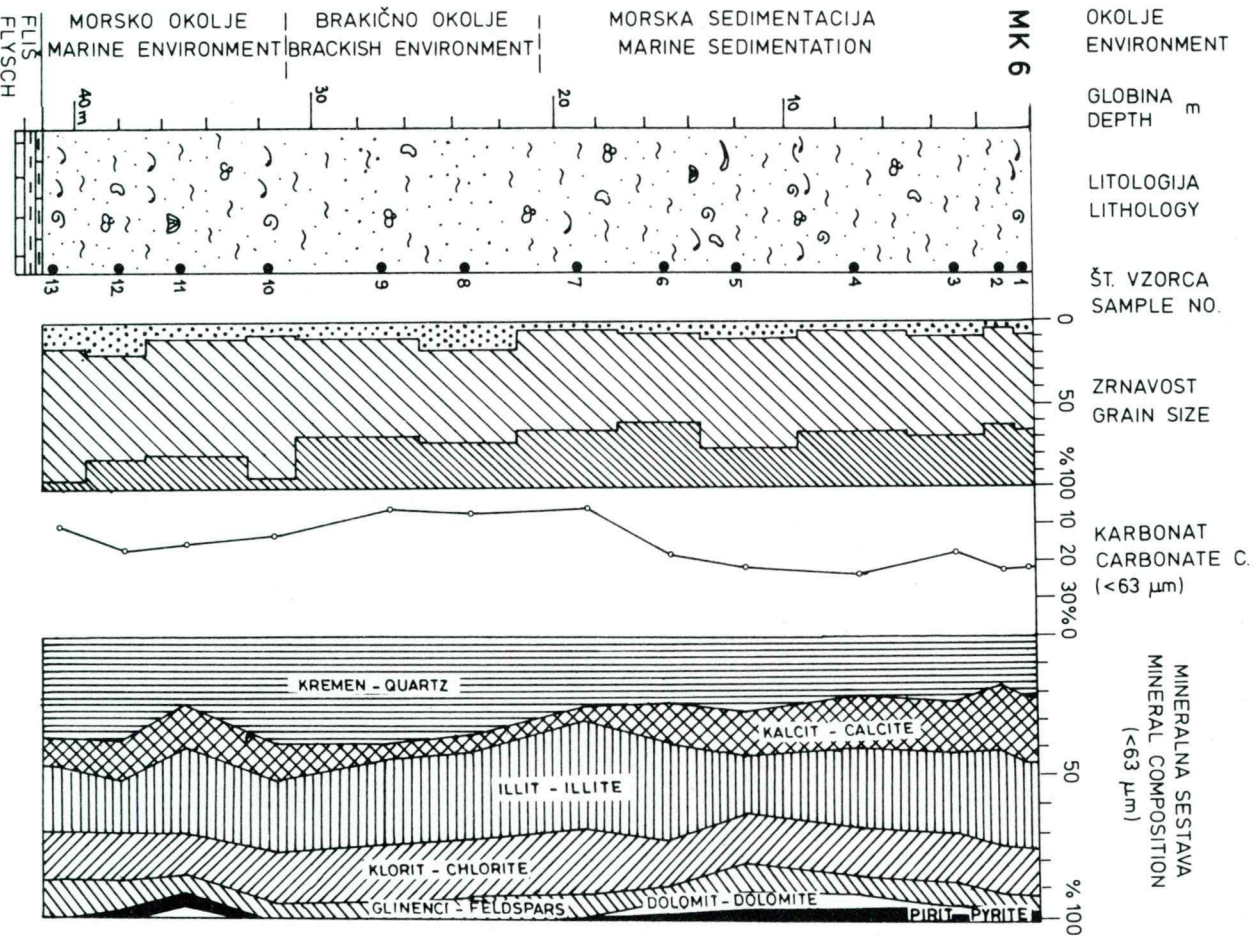
morski globini 7 metrov. Ta vrtina je prevrtala 41 metrov kvartarnega sedimenta in je končala na 43. metru v flišni podlagi. Na sl. 8 je prikazan shematiziran litološki in mineraloški stolpec obeh vrtin.

Sediment vrtine V-3, ki je locirana bliže izlivu Rižane, lahko razdelimo v dva dela. Spodnjih 15 metrov tvori rečni nanos Rižane; menjavajo se plasti peska, prodra in meljaste gline. Vrhnjih 25 metrov sedimenta je bilo odloženih v morju. Temno sivi glinasti melj je zelo enoten po zrnavosti in mineralni sestavi, pogosto pa vsebuje foraminifere in školjčne lupine. Po pelodnih analizah (Ogorelec et al., 1984) iz globine 10 m sklepamo na hitro sedimentacijo, poprečno 5 mm letno.

Rečnega nanosa oz. vpliva Rižane v vrtini MK-6 neposredno ne opazujemo. Tu gre v celotni vrtini za precej homogen sediment – sivi glinasti melj s srednjo zrnavostjo 4 do 10 μm , kakršnega opazujemo na površini osrednjega dela Koprskega zaliva. Le v spodnjih 15 metrih je sediment nekoliko bolj debelozrnat in pripada melju. V celotnem zaporedju se v večjem ali manjšem obsegu pojavljajo fosilni ostanki, foraminifere (predvsem miliolide), školjke in drobni polži (sl. 9). Delež karbonata se giblje med 12 in 23 %, razen v intervalu pod 26. metrom, kjer ga je le 5 do 6 %. Nižji delež karbonata v spodnjih 15 metrih tolmačimo s povečanim vplivom terigenega nanosa s kopnega.

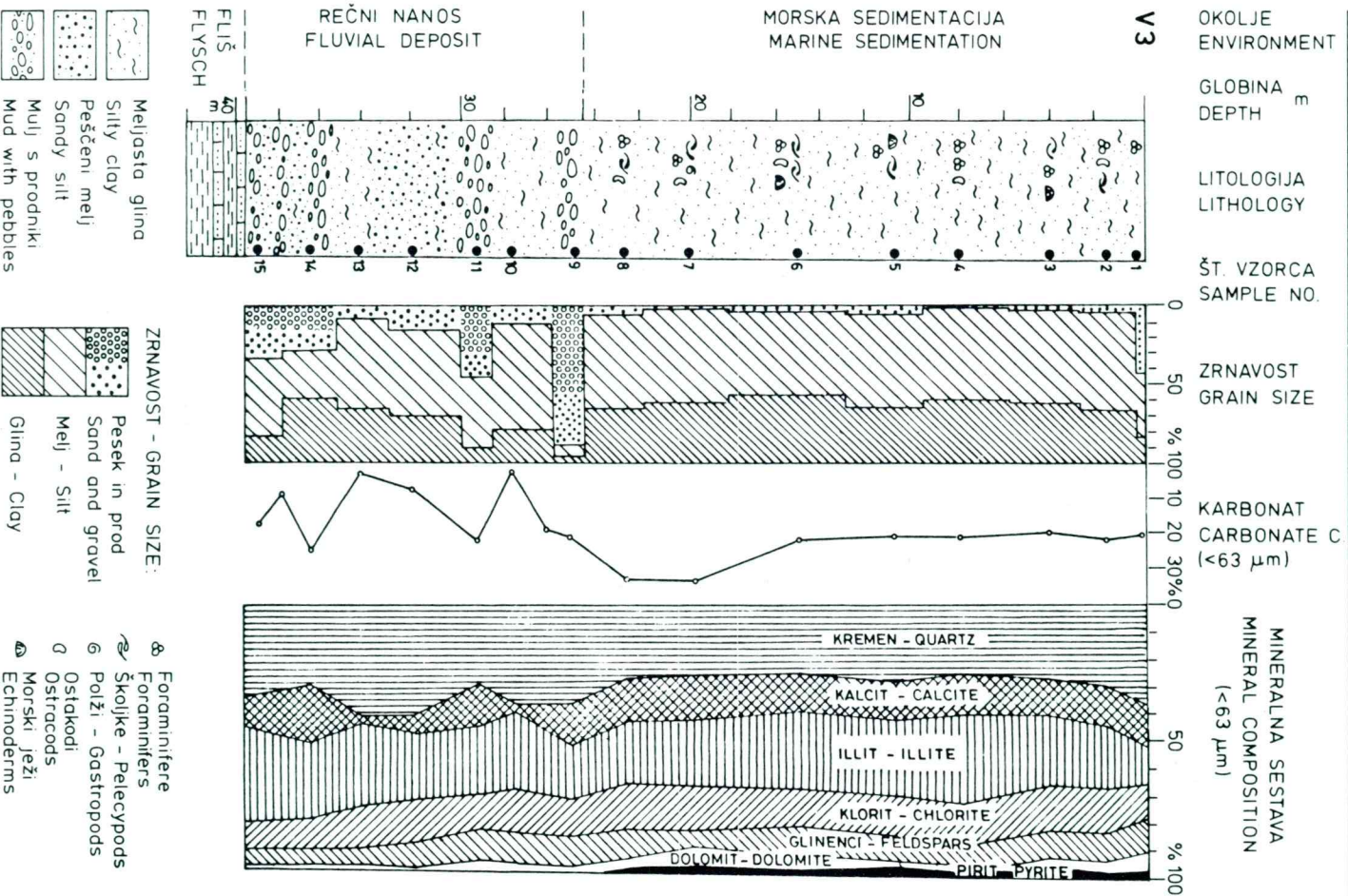
Suspendirani sediment

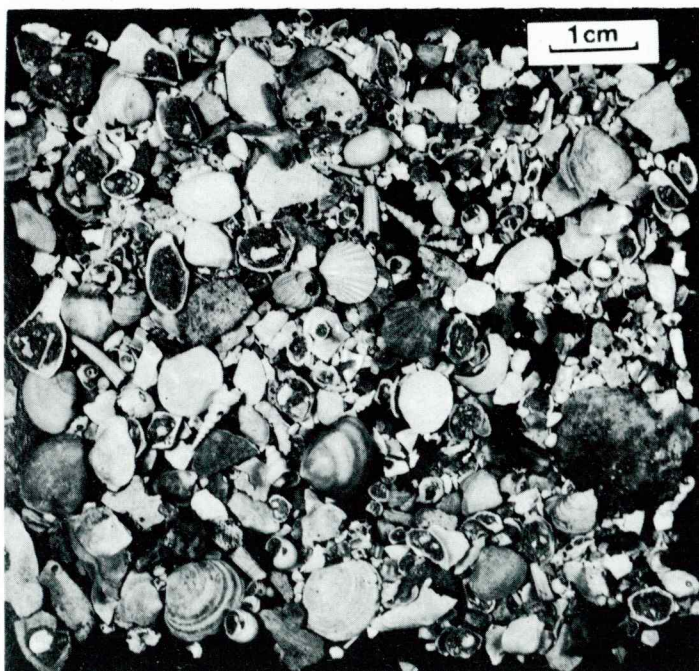
Količino totalnega suspendiranega sedimenta (TSS) smo določili s filtracijo vzorcev morske vode skozi predhodno žgane (3 ure pri 480 °C) steklene filtre Whatman GF/C s poprečnimi porami 1 μm . Filtre s suspendiranimi delci smo spirali z destili-



Sl. 8. Litologija, zrnavost in mineralna sestava sedimenta v notranjem delu Koprškega zaliva; vrtni V-3 in MK-6

Fig. 8. Lithology, grain size and mineral composition of the sediment from the inner part of the Bay of Koper; boreholes V-3 and MK-6



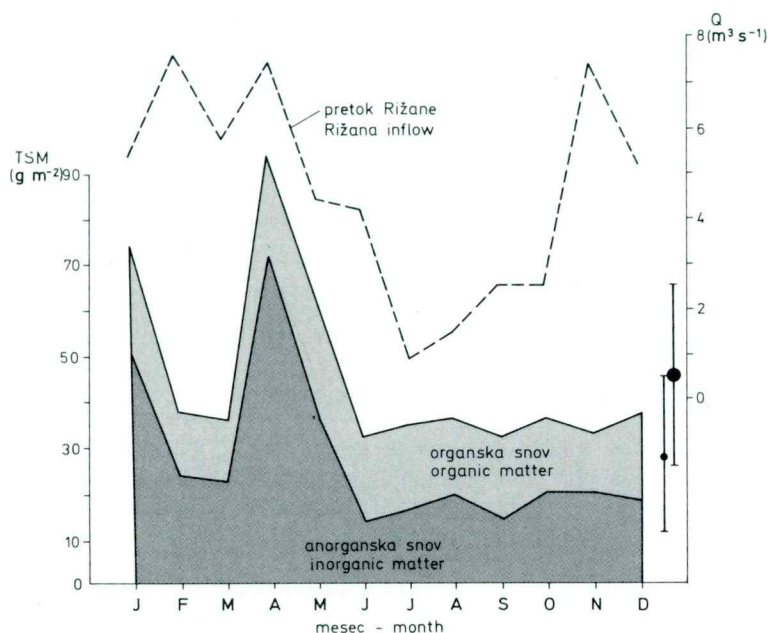


Sl. 9. Groba frakcija sedimenta (zrna $> 63\mu\text{m}$) s številnimi školjkami in polži. Vzorec št. 5

Fig. 9. Coarse fraction of the sediment (grains $> 63\mu\text{m}$) with numerous pelecypods and gastropods. Sample no. 5

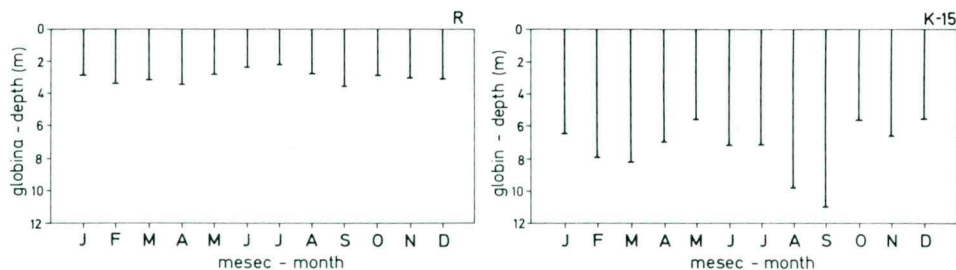
rano vodo, da smo odstranili soli, sušili in določili vsebnost TSS gravimetrično. Anorganski delež v TSS smo določili po sežigu pri temperaturi 500°C gravimetrično. Organski delež v suspendiranem sedimentu smo preračunavali iz razlike med vsebnostjo TSS in vsebnostjo anorganskega deleža v njem.

Slika 10 prikazuje variacije vsebnosti suspendiranega sedimenta in organskega deleža v njem sredi Koprškega zaliva in poprečnega pretoka (1966–73) reke Rižane. Vidna je povišana vsebnost totalnega suspendiranega sedimenta in organskega deleža v njem spomladi (april) vzporedno z večjim pretokom reke Rižane. Vsebnost TSS sredi zaliva se giblje v razponu od $0,89$ in $18,58\text{ mg l}^{-1}$ na površini in med $1,05$ in $17,90\text{ mg l}^{-1}$ v sloju pri dnu. Povišane vsebnosti TSS v sloju pri dnu so v glavnem posledica resuspenzije sedimenta zaradi gibanja vodnih mas (bibavica in inducirano gibanje zaradi ladijskega prometa) in aktivnosti bentoške favne. Poprečna vsebnost TSS sredi zaliva znaša $45,23 \pm 20,58\text{ g m}^{-2}$, organskega deleža v TSS pa je v poprečju približno 39 %. Elementne analize organskega C in N v TSS Koprškega zaliva (Faganeli, 1984) so pokazale, da C obsega 15 % in N 1,9 % TSS s poprečnim razmerjem C/N $9,0 \pm 12,9$. Močno variabilno C/N razmerje v TSS kaže na pomen vnosa suspendiranega sedimenta z reko Rižano v zaliv, ki poteka neenakomerno v odvisnosti od rečnega pretoka. Povišana vsebnost TSS proti izlivu reke Rižane prikazuje slika 11, ki kaže znižanje Secchi globine (merjenje s Secchi diskom premera 30 cm) od sredine zaliva (poprečna Secchi globina 8 m) proti ustju Rižane (poprečna



Sl. 10. Sezonske variacije anorganskega in organskega deleža v totalnem suspendiranem sedimentu (TSM) ter pretoka reke Rižane (Q)

Fig. 10. Seasonal variation of total inorganic and organic suspended matter (TSM) and Rižana river inflow (Q)



Sl. 11. Sezonske variacije Secchi globine v ustju reke Rižane (R) in v sredini Koprskega zaliva (K-15)

Fig. 11. Seasonal variation of Secchi depth values of the Rižana river mouth (R) and in the central part of the Bay of Koper (K-15)

Secchi globina 3 m). Med Secchi globino in vsebnostjo TSS obstaja povezava, tipična za določen morski bazen (Jones & Willis, 1956; Postma, 1961). Če uporabimo ugotovitve iz kanadskega zaliva James (Kranck & Ruffman, 1982) lahko ocenimo, da predstavlja Secchi globina 3 m ob izlivu reke Rižane vsebnost TSS približno 4 mg l^{-1} , sredi Koprskega zaliva pa Secchi globina 8 m približno $1,5 \text{ mg l}^{-1}$. Oboje se približno ujema z neposredno izmerjenimi koncentracijami totalnega suspendiranega sedimenta. Vnos TSS v zaliv z reko Rižano lahko ocenimo s povprečnim

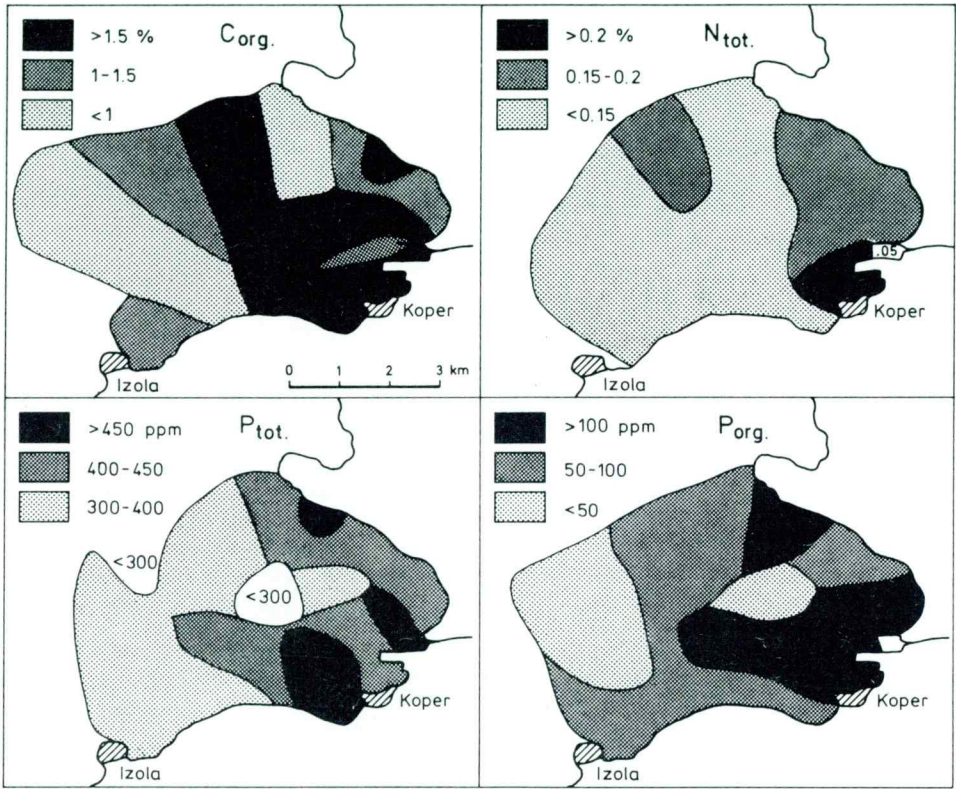
pretokom ($4\text{ m}^3\text{s}^{-1}$) in poprečno vsebnostjo TSS v rečni vodi (22 mg l^{-1} , meritve 1976–86) in znaša približno 28.10^3 t letno. Grobe delce voda odlaga v reko in ob njenem ustju, drobnejši pa prehajajo dalje v zaliv, pač glede na gibanje vodnih mas. Hitro sedimentacijo suspendirane snovi v bližini ustja Rižane so dokazali Ogorelec in sodelavci (1984) s pelodnimi analizami. Ta sedimentacija znaša približno 5 mm letno. Upoštevajoč počasnejšo sedimentacijo sredi zaliva, ocenjeno na približno milimeter letno, gostoto suhega sedimenta ($2,7\text{ g cm}^{-3}$) in poroznost (80 %) ugotovimo, da znaša totalna sedimentacija sredi zaliva približno $0,6\text{ g m}^{-2}$ letno.

Geokemija organske snovi v sedimentu

Vsebnost organskega ogljika v liofiliziranih vzorcih sedimenta (frakcija $< 63\text{ }\mu\text{m}$) smo določili z mokro oksidacijo organske snovi z bikromatom (Gaudette et al., 1974). Vsebnost totalnega dušika v vzorcih smo določali s sežigom v Colemanovem N analizatorju (Keeney & Bremner, 1967). Neizmenljivi amonijev ion smo določali z destilacijo z vodno paro po predhodnem razklopu vzorcev s KBr in HF ter HCl (Silva & Bremner, 1966), izmenljivi amonijev, nitratni in nitritni ion pa po predhodni ekstrakciji z raztopino HCl (Bremner & Keeney, 1965). Vsebnost organskega dušika smo preračunavali iz razlike med vsebnostjo totalnega dušika ter vsoto neizmenljivega amonijevega iona ter izmenljivega amonijevega, nitritnega in nitratnega iona. Za določitev totalnega fosforja smo uporabljali metodo sežiga vzorca in ekstrakcijo nastalega fosfata s HCl (Aspila et al., 1976). Vsebnost organskega fosforja smo določili iz razlike med vsebnostjo totalnega in organskega fosforja, ki smo ga določili z ekstrakcijo s HCl (Aspila et al., 1976).

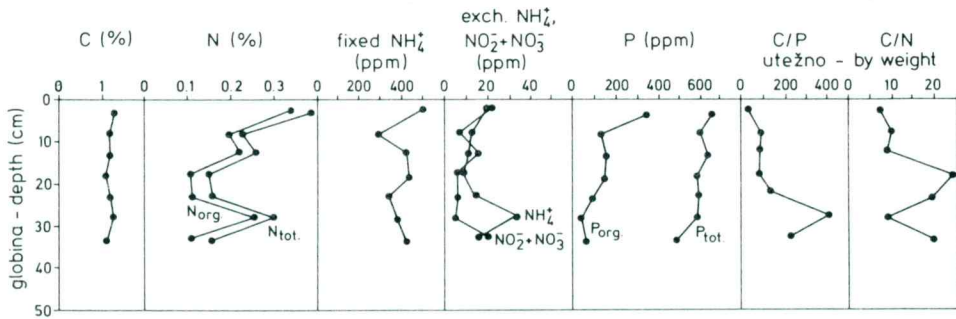
Vsebnost C_{org} v vrhnjem sloju (0 do 5 cm) sedimenta Koprškega zaliva se giblje med 0,44 in 2,72 % s srednjo vrednostjo $1,38 \pm 0,50$ %. Površinska porazdelitev kaže najvišje vsebnosti ($> 1,5$ %) C_{org} v osrednjem delu zaliva, nižje pa v smeri proti vходу v Koprski zaliv (sl. 12). Primerjava s Piranskim zalivom (Rank, 1976) pokaže, da so vsebnosti C_{org} sredi Koprškega zaliva višje ($> 1,5$ %) kot v Piranskem zalivu (0,8–1,0 %). Vertikalna porazdelitev C_{org} v Koprškem zalivu, študirana v jedru vzorca 9, kaže približno enake vsebnosti vzdolž sedimentnega stolpca do globine 35 cm (sl. 13), kar pripisujemo homogenizaciji vrhnjega sloja sedimenta z bioturbacijo in gibanjem vodne mase. Vsebnost N_{tot} se v vrhnjem sloju sedimenta giblje med 0,05 in 0,46 % s srednjo vrednostjo $0,18 \pm 0,13$ %. Površinska porazdelitev kaže višje vsebnosti ($> 0,15$ %) v notranjosti zaliva, nižje (0,12 do 0,15 %) pa proti vходу v zaliv (sl. 12). Če upoštevamo vsebnost celotnega anorganskega N (vsota neizmenljivega amonijevega iona in izmenljivega amonijevega, nitritnega in nitratnega iona) v jedru vzorca 9 (0,04 %) kot tipično vsebnost N_{anorg} v zalivu, lahko ocenimo poprečno vsebnost N_{org} na 0,14 %. Vsebnost celotnega P v sedimentu Koprškega zaliva je med 272 in 608 ppm ($\bar{x} = 424 \pm 71$ ppm), vsebnost organskega P pa se giblje med 13 in 175 ppm ($\bar{x} = 84 \pm 41$ ppm), kar predstavlja v poprečju 20 % P_{tot} . Površinska porazdelitev P_{org} v vrhnjem sloju sedimenta kaže najvišje vsebnosti v notranjosti zaliva ter ob Debelem rtiču (sl. 12). Vertikalna porazdelitev N_{org} in P_{org} v jedru vzorca 9 kaže znižanje vsebnosti z globino (za približno 80 % v globini 35 cm) zaradi hitrejše razgradnje N_{org} in P_{org} glede na C_{org} , kljub homogenizaciji sedimenta zaradi bioturbacije in gibanja vodne mase. Vzporedno s tem naršča z globino tudi razmerje C/N in C/P, vzporedno z nastopom redukcijskih razmer v sedimentu (sl. 12).

Razgradnja organske snovi v sedimentu poteka počasneje v zimskem obdobju, kar je razvidno iz višjega Eh v sedimentu (sl. 7).



Sl. 12. Porazdelitev organskega C, totalnega N in P ter organskega P v površinskem sedimentu Koprskega zaliva (frakcija $< 63\mu\text{m}$)

Fig. 12. Distribution of organic C, total N and P and organic P in the surficial sediments of the Bay of Koper (fraction $< 63\mu\text{m}$)

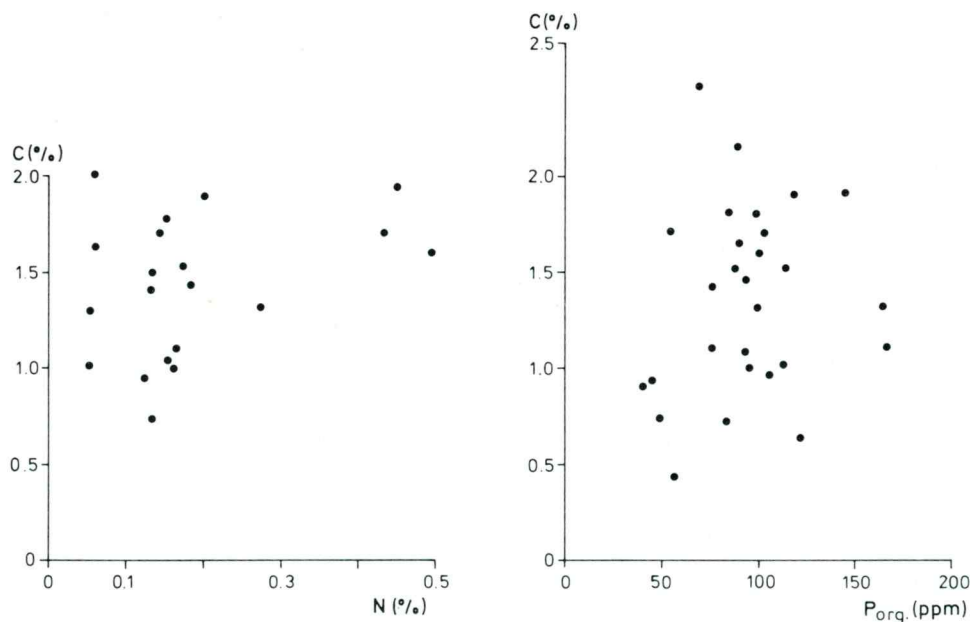


Sl. 13. Vertikalni profil C, N in P v organski snovi v jedru vzorca 9 iz sredine Koprskega zaliva

Fig. 13. Vertical distribution of organic C, N and P in the core of the sampling point 9 in the central part of the Bay of Koper

Hitrost sedimentacije $C_{org.}$, $N_{tot.}$, $P_{tot.}$ in $P_{org.}$ sredi zaliva smo določili iz ocenjene hitrosti sedimentacije (milimeter letno), iz gostote suhega sedimenta ($2,7 \text{ g cm}^{-3}$), poroznosti (80 %) in iz vsebnosti $C_{org.}$, $N_{tot.}$, $P_{tot.}$ in $P_{org.}$. Tako znaša ocenjena celotna sedimentacija $C_{org.}$ 8 g m^{-2} , $N_{tot.}$ $1,2 \text{ g m}^{-2}$, $P_{tot.}$ $0,25 \text{ g m}^{-2}$ in $P_{org.}$ $0,05 \text{ g m}^{-2}$ letno. Pri izračunih smo predpostavili enakomerno hitrost sedimentacije.

Razpršeni rezultati razmerij $C_{org.}/P_{org.}$, prikazani v grafih, kažejo, da ima organska snov v sedimentu različna elementna razmerja in s tem različen izvor (sl. 14). Poprečno utežno razmerje C/N organske snovi v površinskem sedimentu je $12,0 \pm 9,7$, poprečno razmerje $C_{org.}/P_{org.}$ pa 221 ± 215 . Izhajajoč iz podatkov Kukulja (1971) in Parsonsa (1975), ki navajata, da ima tipična morska organska snov C/N razmerje < 10 , terigena pa > 10 , bi sklepali, da ima organska snov v površinskem sedimentu Koprškega zaliva pretežno terigeni izvor. Upoštevati pa moramo tudi bentoške makrofite z visokim C/N razmerjem (tabela 4) kot pomemben vir organske snovi v sedimentu. Detajlna analiza C/N in C/P razmerij v različnih frakcijah organske snovi v Koprškem zalivu v povezavi z analizo $\delta^{13}\text{C}$ organske snovi (tabela 4) pa kaže, da ima organska snov, vsaj sredi zaliva, izključno morski izvor (Faganeli et. al., 1986). Izotopske meritve $\delta^{13}\text{C}$ kažejo, da ta organska snov ni neposredno odvisna od alohtonih izvorov (terigeni, komunalne odplake), približno 50 % izvira iz suspendirane organske snovi, 50 % pa iz bentoških makrofitov. Pomen bentoške flore in favne kot vira organske snovi za morski sediment nakazuje tudi uporaba empiričnih enačb, ki povezujeta vsebnost $C_{org.}$ v morskem sedimentu s hitrostjo sedimentacije (I) in s primarno produkcijo $C_{org.}$ v vodnem stolpcu (II) (Müller & Suess, 1979):



Sl. 14. Odnos med $C_{org.}$ in $N_{tot.}$ ter $C_{org.}$ in $P_{org.}$ v površinskem sedimentu Koprškega zaliva
Fig. 14. Relationship between $C_{org.}$ and $N_{tot.}$ and $C_{org.}$ and $P_{org.}$ in the surficial sediment of the Bay of Koper

Tabela 4. Poprečna razmerja C/N in C/P (utežna) ter $\delta^{13}\text{C}$ vsebnosti v različnih frakcijah organske snovi v Koprškem zalivuTable 4. Mean C/N and C/P ratios (by weight) and $\delta^{13}\text{C}$ values of various fractions of organic matter in the Bay of Koper

Organska snov Organic matter	C/N utežno - by weight	C/P	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)
Zooplankton	$3,6 \pm 1,2$	15 ± 8	$-19,9 \pm 2,3$
TSM	$9,0 \pm 12,9$	220 ± 100	$-23,0 \pm 1,8$
Morski sediment Marine sediment	$12,0 \pm 9,7$	221 ± 215	$-20,7 \pm 0,5$
Bentoške alge Benthic algae	$11,4 \pm 4,5$	263 ± 124	$-17,0 \pm 1,0$
Alohtoni vnosi Alochtonous inputs			
rečni - fluvial	-	-	-28,9
komunalne odplake sewage	$4,0 \pm 2,5$	3 ± 1	-24,9

Tabela 5. Primerjava med vsebnostmi C_{org} , N_{tot} in P_{tot} v površinskih vzorcih Koprškega zaliva in v morskem delu vrtnice V-3 v koprski luki (globinski interval 1,3–20 m)Table 5. Comparison between C_{org} , N_{tot} and P_{tot} contents in surficial sediment of the Bay of Koper and those from the borehole V-3 samples (1.3–20 m depth interval)

	C_{org} (%)	N_{tot} (%)	P_{tot} (ppm)
Koprski zaliv Bay of Koper	$1,35 \pm 0,50$	$0,18 \pm 0,13$	424 ± 71
Vrtina V-3, Koper Borehole V-3, Koper	$1,34 \pm 0,24$	$0,20 \pm 0,04$	363 ± 160

$$\text{I. } \% \text{ C} = \frac{0,246 R^{0,52}}{P_s (1 - \emptyset)}, \text{ kjer je } R \text{ hitrost sedimentacije (milimeter letno),}$$

P_s gostota sedimenta ($2,7 \text{ g cm}^{-3}$) in $\emptyset$ poroznost (0,8),

$$\text{II. } \% \text{ C} = \frac{0,033 C_p R^{0,30}}{P_s (1 - \emptyset)}, \text{ kjer je } C_p \text{ hitrost primarne produkcije C v vodnem stolpu}$$

($50 \text{ g C m}^{-2} \text{ letno}$).

Uporaba enačbe I da vsebnost C_{org} v sedimentu Koprškega zaliva 0,47 %, z uporabo enačbe II pa dobimo 0,28 %, kar je precej nižje od izmerjenih vsebnosti (1,3 %) in nakazuje pomen bentoške produkcije za porazdelitev vsebnosti C_{org} v zalivu. Obe enačbi torej ne upoštevata dovolj dejavnikov, ki vplivajo na porazdelitev C_{org} .

v sedimentu obalnega morja. Zanimiva je tudi ocena vpliva človekovih dejavnosti (evtrofizacija, polucija) na porazdelitev organske snovi v površinskem sedimentu. Primerjava med poprečnimi vsebnostmi $C_{org.}$, $N_{tot.}$ in $P_{tot.}$ v površinskem sedimentu in v morskem delu vrtnice V-3 (Ogorelec et al., 1984) pokaže, da so razlike zanemarljive (tabela 5). Iz navedenega sklepamo, da se razmere v celotnem sedimentu v preteklosti niso bistveno spremenile.

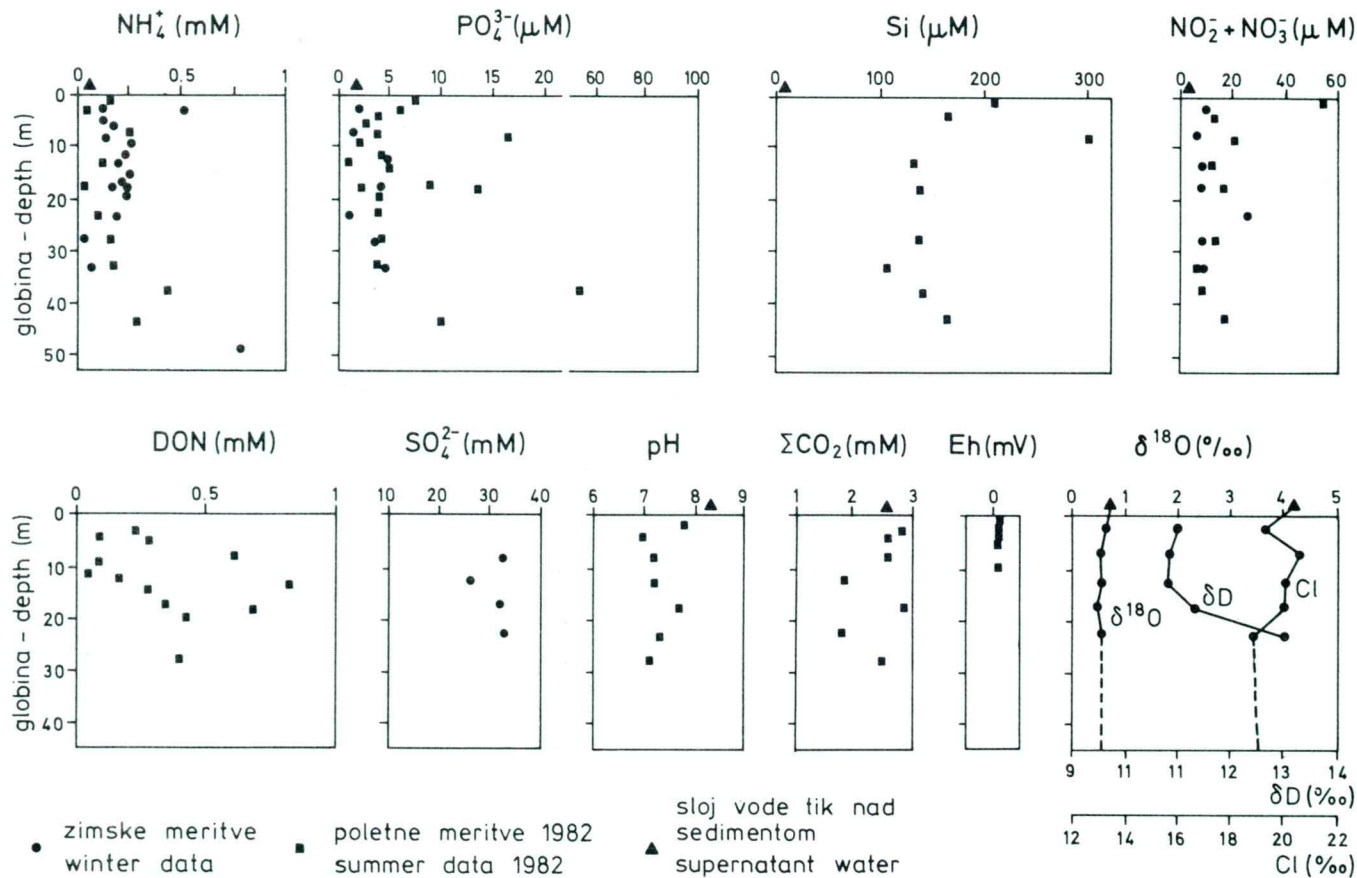
Geokemija pornih vod

Porne vode smo ekstrahirali s centrifugiranjem vzorcev sedimenta pri 15.000 obr. min^{-1} približno 15 min. Tako smo ekstrahirali približno 50 % celotne količine porne vode v sedimentu. Za analizo vsebnosti N in P spojin, Si, $CO_{2\ tot.}$, SO_4^{2-} in Cl^- smo uporabljali standardne oceanografske metode (Strickland & Parsons, 1972; Grasshoff, 1976), pH pa smo merili direktno s stekleno elektrodo (Ingold) takoj po odvzemu vzorcev. Rezultate izotopskih analiz $\delta^{18}O$ in δD pornih vod povzemamo po članku Faganelija in sodelavcev (1983).

Slika 15 prikazuje vertikalne profile vsebnosti $NO_2^- + NO_3^-$, NH_4^+ , PO_4^{3-} raztopljenega $N_{org.}$ (DON), Si, SO_4^{2-} , $CO_{2\ tot.}$, pH, Eh, Cl^- , $\delta^{18}O$ in δD v pornih vodah v sedimentu do globine 40 cm sredi Koprškega zaliva. Prikazane so tudi vsebnosti v sloju morske vode nad površino sedimenta (10 cm). Vertikalna porazdelitev kaže približno enake koncentracije vseh analiziranih spojin vzdolž 40 cm sedimentnega stolpca, kar je najbrž posledica bioturbacije sedimenta. Bentoška favna premeša in homogenizira vrhnjo plast sedimenta in povzroča, da redukcijske reakcije (redukcija nitrata, sulfata) potekajo v manjšem obsegu, oziroma da poteka ponovna oksidacija produktov redukcije (Aller, 1982). Izstopa naraščajoča vsebnost raztopljenega organskega dušika z globino sedimenta zaradi razgradnje organskega dušika v sedimentu. Vsebnosti PO_4^{3-} v vseh vzorcih pornih vod so razmeroma nizke, kar povzroča, da so razmerja NH_4^+/PO_4^{3-} visoka (največ v razponu 20 do 100) in kaže na to, da se PO_4^{3-} iz pornih vod veže ali obarja z različnimi minerali med diagenetskimi procesi. Med temi lahko upoštevamo obarjanje apatita (Burnett, 1977), obarjanje amorfnega Ca fosfata (Nathan & Lucas, 1976), izmenjavo med $CaCO_3$ in apatitom (Manheim et al., 1975), adsorpcijo fosfata na $CaCO_3$ v prisotnosti Mg^{2+} ionov (Kitano et al., 1978) in adsorpcijo fosfata na organsko snov, ki prekriva $CaCO_3$ (Suess, 1973). V oksigenirani površinski plasti se lahko fosfat veže na Fe (II) oksihidrokside (Jørgensen, 1982). Vsebnost Si v pornih vodah je v ravnotežju z minerali glin in s Si, ki se sprošča z raztapljanjem biogenih silikatov (Willey, 1978). Kaže, da je vsebnost Si v pornih vodah v glavnem odvisna od vnosa biogenih silikatov v sediment, posebno diatomej in silikoflagelatov, vsebnost NH_4^+ pa od sestave organske snovi v sedimentu med razgradnjo in od reakcije NH_4^+ iona z minerali glin (Hartmann et al., 1973).

Zanimivo je povišanje δD vrednosti z globino pri približno konstantni vsebnosti Cl^- in $\delta^{18}O$ vrednosti zaradi reakcij med minerali glin in porno vodo (Savin & Yeh, 1981). Približno enake vrednosti Cl^- , δD in $\delta^{18}O$ v vodi nad površino sedimenta in v pornih vodah do globine približno 20 do 25 cm kažejo na intenzivno izmenjavo med slojem vode nad sedimentom in porno vodo v vrhnjem sloju sedimenta (Faganeli et al., 1983).

Difuzijske tokove NH_4^+ , PO_4^{3-} in Si iz porne vode v vodni stolpec na meji sediment-voda smo določili z uporabo 1. Fickovega zakona:



Sl. 15. Vertikalni profil analiziranih sestavin pornih vod v jedru vzorca 9 iz sredine Koprškega zaliva
 Fig. 15. Vertical distribution of chemical constituents in pore waters of core 9 in the central part of the Bay of Koper

$$J_m = - \varnothing D_m \left(\frac{\partial c}{\partial z} \right)_{p, w}$$

kjer je D_m difuzijski koeficient, korigiran za poroznost sedimenta ($\varnothing = 0,8$), $\partial c / \partial z$ pa koncentracijski gradient iona v zgornji 2 ali 5 cm plasti morskega sedimenta. Uporabljali smo naslednje difuzijske koeficiente: NH_4^+ $10 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, PO_4^{3-} $4 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, Si $5 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ (Mc Caffrey et al., 1980). Tako določeni difuzijski tokovi znašajo za PO_4^{3-} $0,01 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, NH_4^+ $1,2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ in za Si $0,7 \text{ mmol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, poprečno čez zimsko in poletno obdobje.

Težke kovine v sedimentu

Geokemično smo preiskali 18 vzorcev površinskega sedimenta Koprškega zaliva, in sicer 10 vzorcev v petcentimetrskih intervalih do globine 15 cm ter 8 vzorcev v notranjem delu zaliva in v bližini luke (sl. 16) na celotni spekter 15 mikroelementov (tabela 6). Namen teh analiz je bil, da ugotovimo stanje onesnaženja morskega sedimenta s težkimi kovinami.

Vzorci smo analizirali z aktivacijsko analizo v jedrskem reaktorju Triga Mark II. Vzorec smo obsevali pri fluksu nevtronov $2 \cdot 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-2}$ od 18 do 20 ur, nakar smo jih pred merjenjem njihove aktivnosti radiokemijsko ločili. Za analizo posameznega vzorca smo oddvojili 200 do 500 μm homogenizirane frakcije pod 63 μm , ki smo jo zatalili v plastične ampule in obsevali istočasno z raztopinami standardov.

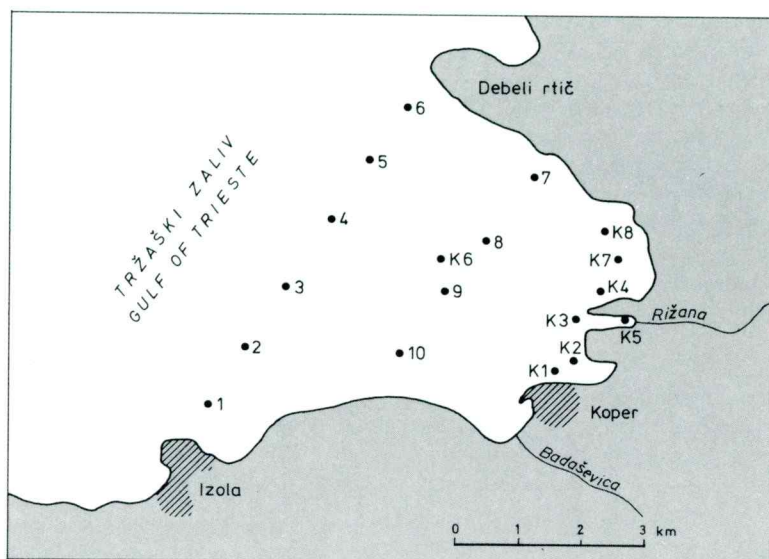
Analize smo napravili na osnovi že razvitih separacijskih postopkov za sedimente. Živo srebro smo določili na osnovi prehlapitve (Kosta & Byrne, 1969; Byrne & Kosta, 1974), elemente baker, kadmij, kobalt in cink pa smo ločili z mešanico dušikove (V) in klorove (VII) kisline ter raztopine vodikovega fluorida (Ravnik et al., 1974, 1976; Dermelj et al., 1976, 1977). Arzen in antimon smo izlužili iz dušikove (V) in žveplove (VI) kisline ter ju osamili kot jodida z ekstrakcijo v toluen (Byrne, 1972; Byrne & Kosta, 1974; Dermelj et al., 1976).

Spektre gama izoliranih radionuklidov smo merili z NaJ scintilacijskim detektorjem in določili koncentracije s primerjavo izmerjenih aktivnosti z aktivnostmi standardov.

Mangan in železo smo določili spektrofotometrično z α , α' dipiridilom, oz. kalijevim jodatom po razkroju z dušikovo (V) in žveplovo (VI) kislino ter z raztopino vodikovega fluorida. Svinec je določen po mokrem razkroju sedimenta s kislinami in vodikovim peroksidom z atomsko absorpcijsko spektroskopijo.

Koncentracije mikroelementov v analiziranih vzorcih z globino zelo malo nihajo; večidel so v mejah pod 10 % in pogosto opazujemo, da vsebuje vrhnjih 5 cm sedimenta celo nekoliko nižje koncentracije kovin kot sediment neposredno pod površino. To razlagamo s povišano organsko snovjo na površini in s homogenizacijo sedimenta zaradi bioturbacijskih procesov.

Kot velja za globino, opazamo zelo majhne razlike v koncentraciji posameznih kovin tudi znotraj posameznih delov Koprškega zaliva. To velja posebno za baker (srednja vrednost ok. 30 ppm), kadmij (ok. 0,15 ppm), kobalt (6 do 8 ppm), arzen (ok. 15 ppm) ter za antimon (ok. 0,25 ppm), medtem ko opazujemo malenkostne razlike pri cinku in živem srebru. Cink je kot indikator vpliva komunalnih odplak nekoliko bolj koncentriran v notranjem delu zaliva (80 do 115 ppm), v odprtem delu zaliva pa so njegove vrednosti za tretjino nižje. Obratno pa opazujemo rahlo povišanje Hg v smeri proti odprtemu delu zaliva (okrog 0,40 ppm) v primerjavi z notranjostjo (0,06 do



Sl. 16. Lokacija odvzetih vzorcev površinskega sedimenta Koprskega zaliva za geokemične analize težkih kovin

Fig. 16. Location of samples for heavy metal analyses in the surficial sediment of the Bay of Koper

0,36 ppm). Višje koncentracije Hg v odprtem delu zaliva povezujemo z bližino izliva reke Soče, ki je prek Idrijce glavni prinašalec živega srebra v morje. Vsebnost Hg pri Gradežu doseže okrog 1,6 ppm, kar je štirikrat več kot pri Koprju, medtem ko ga sediment pri samem izlivu Soče vsebuje celo 35,1 ppm (Kost et al., 1978a, b). Nizka vsebnost železa v vzorcu K5 ob ustju Rižane, v primerjavi z vzorci iz ostalega zaliva, kaže na dotok oksigenirane rečne vode v zaliv in na bolj oksidacijsko okolje sedimentacije. V večjem delu Koprskega zaliva prevladujejo že nekaj cm pod površino sedimenta redukcijske razmere (sl. 7), pri katerih se izloča pirit (FeS_2) kot avtigen mineral, z njim pa se večajo tudi koncentracije železa v sedimentu.

V splošnem so vsebnosti težkih kovin v Koprskem zalivu enakega reda velikosti, kot so ugotovljene v neonesnaženih delih morskega sedimenta. Posebno lepo so analizirane vsebnosti mikroelementov primerljive s sedimentom iz vrtine V-6 v Sečoveljskih solinah (Ogorelec et al., 1981), kar lahko velja za geokemično ozadje morskega sedimenta Tržaškega zaliva. Opazne so le malenkostne razlike vsebnosti živega srebra (tabela 6). Slične koncentracije mikroelementov, kot so izmerjene v Koprskem zalivu, navajajo tudi Donazzolo in sodelavci (1979) za Beneški zaliv (Hg 0,1 do 3 ppm, Pb 10 do 65 ppm, Cd 0,1 do 4 ppm, Cu 2,5 do 45 ppm, Zn 20 do 410 ppm ter Co 1 do 15 ppm) ter Paul in Meischner (1976) za nekatere elemente v sedimentu pri Rovinju in vzhodno od izliva reke Pad (Cu 20 do 25 ppm ter Zn 37 do 62 ppm). Donazzolo in sodelavci postavljajo meje med čistim sedimentom in med tistim, ki ga je zajela polucija, pri naslednjih koncentracijah: Zn 90 ppm, Hg < 1 ppm, Cd < 3 ppm, Pb < 40 ppm ter Cu 25 ppm.

Izmerjeni rezultati težkih kovin v Koprskem zalivu kažejo, da sediment z njimi zazdaj še ni kontaminiran, kljub vidnim antropogenim vplivom industrijske in

Tabela 6. Mikroelementi v površinskem sedimentu Koprskega zaliva (v ppm suhe teže) primerjalno z geokemičnim ozadjem vrtine V-6 v Sečoveljskih solinah (Ogorelec et al., 1981)

Table 6. Microelements in the surficial sediment from the Bay of Koper (in ppm dry weight), compared with the geochemical background in the samples from the borehole V-6 in Sečovlje salt marsh (Ogorelec et al., 1981)

Vzorec Sample	Globina Depth	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe (%)	Hg	Mn	Ni	Pb	Sb	Th	U	Zn
K1	0- 5 cm	16,0	0,17	8,5	179	28,5	3,50	0,06	465	115	34	0,25	10,2	2,9	63,8
K2	0- 5 cm	15,9	0,15	12,5	181	25,1	3,26	0,11	387	87	32	0,31	8,3	3,5	56,8
K3	0- 5 cm	16,5	0,23	13,4	180	42,4	3,20	0,21	437	105	44	0,32	8,5	3,1	65,9
K4	0- 5 cm	13,3	0,16	14,7	207	29,1	3,02	0,11	483	98	36	0,28	7,5	2,7	63,4
K5	0- 5 cm	8,5	0,17	13,7	154	26,7	1,84	0,06	379	60	42	0,25	6,8	2,1	48,1
K6	0- 5 cm	12,2	0,15	12,4	117	24,9	3,69	0,28	539	145	56	0,26	8,5	2,3	12,3
K7	0- 5 cm	11,3	0,10	11,5	64	33,2	3,23	0,14	577	115	77	0,19	7,4	2,1	63,3
K8	0- 5 cm	8,7	0,30	7,1	209	42,8	3,46	0,16	563	94	45	0,22	8,2	2,0	94,6
1	0- 5 cm	12,3	0,15	7,7		26,0						0,27			33
	5-10 cm	13,0	0,09	2,9		16,5		0,12				0,21			48
	10-15 cm	17,5	0,16	3,6		20,8						0,37			55
2	0- 5 cm	13,3	0,16	10,9		26,0						0,23			85
	5-10 cm	12,8	0,20	10,8		31,5						0,27			115
	10-15 cm	10,3	0,19	12,3		29,0		0,40				0,28			90
	15-20 cm	14,7	0,13	7,0		21,0						0,30			76
3	0- 5 cm	13,7	0,14	9,0		20,5						0,33			86
	5-10 cm	14,1	0,11	7,5		19,4						0,27			69
	10-15 cm	16,8	0,11	9,0		20,5		0,41				0,24			78

$\bar{X}$ (0- 5 cm)	13,4	0,15	9,9	161	28,1	3,15	0,22	479	102	46	0,27	8,2	2,6	76
V-6 vrtna $\bar{X}$ borehole (Sečovelje 0-37,5 m)	11,2	0,22	7,5		35,6	2,42	0,07	683		39	0,32			71

komunalne odplake. Kot kažejo novejša raziskave, ki sta jih opravila Katz in Kaplan (1981) v obrežnem sedimentu južne Kalifornije, se sam sediment s težkimi kovinami le malo kontaminira, čeprav pritekajo vanj komunalne in industrijske odplake. Mikroelementi se vežejo predvsem na drobne lebdeče delce ter na planktonske organizme, ki jih lahko potem že šibki tokovi in vplivi bibavice nosijo iz zaliva, oziroma se težke kovine razprše dokaj enakomerno po celotnem zalivu. Drugače pa je v bolj zaprtih in slabo pretočnih zalivih z veliko količino industrijskih in komunalnih odplak. Tak je npr. Kaštelanski zaliv (Stegnar et al., 1980), kjer koncentracije Hg, Zn, Cu in Pb za 1 do 2 reda velikosti ali celo za več presegajo dobljene vrednosti v Koprskem zalivu.

Kot sledi iz analiz mikroelementov, je za sediment Koprskega zaliva najbrž nevarnejše onesnaženje z organskimi snovmi (nafta, pesticidi, fenoli, organska topila in druge) in s komunalnimi odplakami, kot pa s težkimi kovinami.

Sediment in bentos

Bentoška združba, kot jo opazujemo v Koprskem zalivu, je relativno pestra in je značilna za priobalni pas severnega Mediterana. Nanjo vplivajo razni ekološki dejavniki, kot so hidrografske razmere, meje pH in Eh, kemija pornih vod, vrsta sedimenta in njegova zrnastost, količina hranilnih snovi, suspendirana snov in morfologija morskega dna.

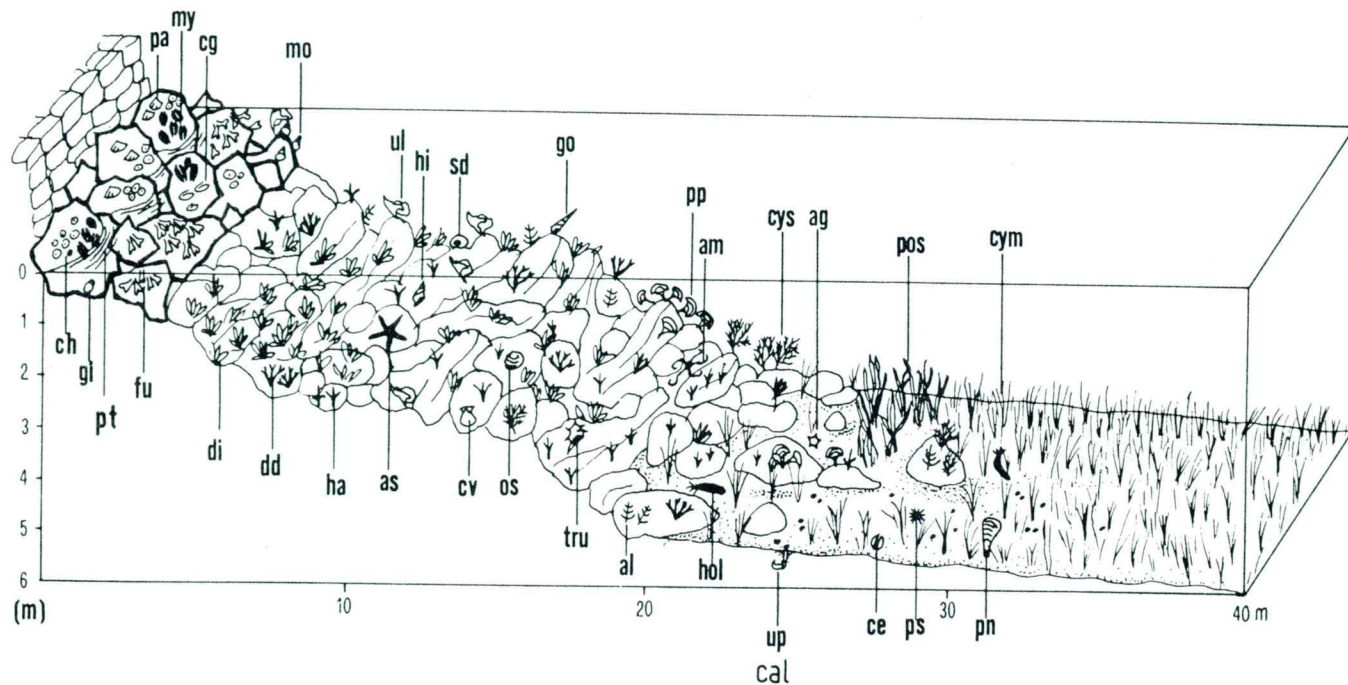
S potapljanjem smo podrobno opazovali bentoško združbo v profilu med Koprom in Izolo do globine 6 m (sl. 17) in pri Debelem rtiču do globine 4 m (sl. 18).

Globinski profil ob obalni cesti. Ta profil, ki smo ga izbrali na sredini med Koprom in Izolo, je približno 40 m dolg in sega do globine 6 m. Obalo tu tvori umetno obzidan nasip, po katerem teče cesta, na vodni črti pa ga varuje umeten valobran iz velikih apnenčevih blokov. Pri 5 m globine se nagib prevesi in flišno kamenje se umakne položnemu sedimentnemu dnu, poraslem z morskovo travo.

V bibavičnem, tj. mediolitoralnem pasu na skalah srečamo polže *Patella rustica* in različne vrste iz rodov *Monodonta* in *Gibbula*. V gručah nastopajo školjke *Mytilus galloprovincialis* in *Crassostrea gigas* ter prirasli raki vitičnjaki *Chthamalus stellatus*. Površino skal porašča asociacija *Fucetum virsoidis*, kjer prevladujejo *Fucus virsoides*, *Ulva rigida* in *Pterocladia pinnata*.

Globlji, tj. zgornji infralitoralni pas naseljuje asociacija alg, ki se imenuje po vodilni vrsti *Dictyopteris membranacea*. Razen slednje tu najdemo še morskovo solato *Ulva rigida* in druge alge kot *Halopithys incurvus*, *Dicyota dichotoma*, *Alsidium corallinum* in *Chondria tenuissima*. Na posameznih mestih izstopajo tudi redkejša alge iz rodu cistozir kot *Cystoseira barbata*, *C. fimbriata* in *C. corniculata*, tu in tam pa tudi otočki vrste *Padina pavonia*. Med sestoji alg najdemo tu spužve *Suberites domuncula*, *Ircinia fasciculata*, školjke *Chlamys varius* in *Ostrea edulis*, polže – predvsem vrsto *Hinia reticulata*, v manjši meri tudi *Gourmya vulgata* in *Trunculariopsis trunculus adriaticus*, morskovo zvezdo *Astropecten spinulosus* med kamni pa tudi kačjerepe *Amphipholis squamata*.

Muljevito mehko dno pod 5 m globine preraščajo morske trave *Cymodocea nodosa*, le deloma tudi *Posidonia oceanica*. Značilne živali tega pasu so leščur *Pinna nobilis*, a tudi manjše školjke, kot *Loripes lacteus* in *Cardium edule*, raki, ki se zakopavajo v mulj (*Upogebia litoralis*, *Calianassa stebbingi*), morske kumare (*Holothuria forskali*), zvezde (*Asterina gibbosa*) in ježki (*Psammechinus microtuberculatus*).

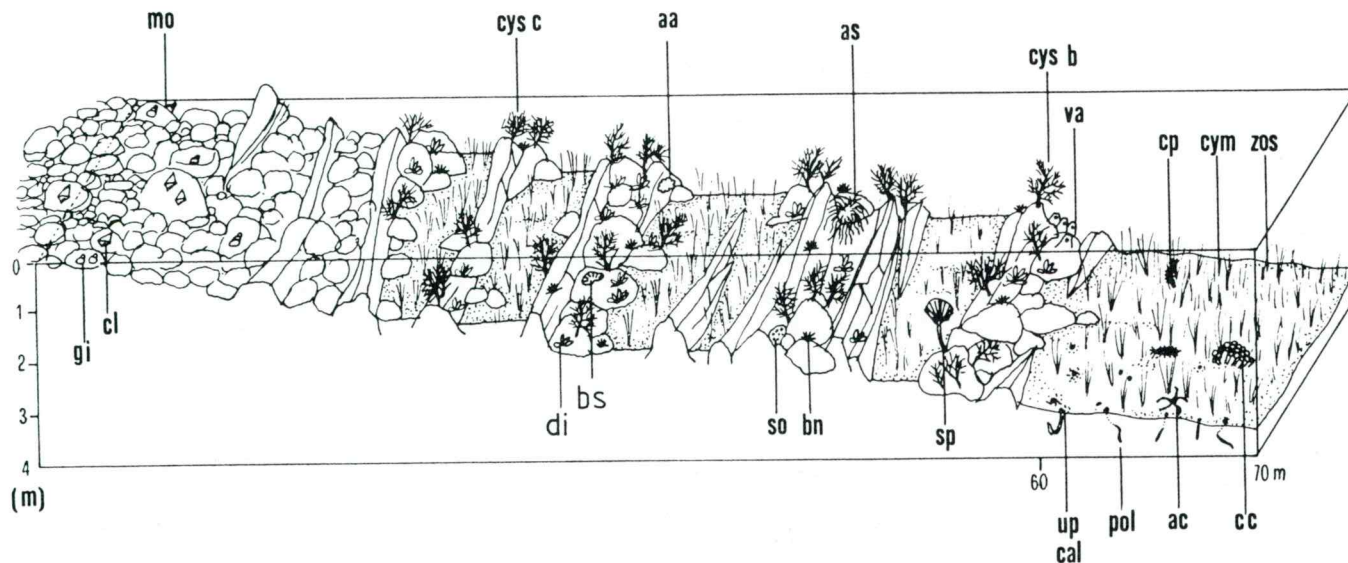


Sl. 17. Podvodni profil bentoške flore in favne na flišnem obrežju ob cesti med Koprom in Izolo

Fig. 17. Diving transect of benthic flora and fauna from the flysch coast (section between Koper and Izola)

Flora: al – *Alsidium corallinum*, ch – *Chondria tenuissima*, cym – *Cymodocea nodosa*, cys – *Cystoseira* spp., dd – *Dictyota dichotoma*, di – *Dictyopteris membranacea*, fu – *Fucus virsoides*, ha – *Halopithys incurvus*, pos – *Posidonia oceanica*, pp – *Padina pavonia*, pt – *Pterocladia pinnata*, ul – *Ulva rigida*

Favna: ag – *Asterina gibbosa*, am – *Amphipholis squamata*, as – *Astropecten spinulosus*, cal – *Calianassa stebbingi*, ce – *Cardium edule*, cg – *Crassostrea gigas*, ch – *Chthamalus stellatus*, cv – *Chlamys varius*, gi – *Gibbula* spp., go – *Gourmya vulgata*, hi – *Hinia reticulata*, hol – *Holothuria forskali*, my – *Mytilus galloprovincialis*, mo – *Monodonta* sp., os – *Ostrea edulis*, pa – *Patella rustica*, pn – *Pinna nobilis*, ps – *Psammechinus microtuberculatus*, sd – *Suberites domuncula*, tru – *Trunculariopsis trunculus adriaticus*, up – *Upogebia littoralis*



Sl. 18. Podvodni profil bentoške flore in favne na flišnem obrežju pri Debelem rtiču

Fig. 18. Diving transect of benthic flora and fauna from the flysch coast at Debeli rtič

Flora: cym – *Cymodocea nodosa*, cys b – *Cystoseira barbata*, cys c – *Cystoseira crinita*, di – *Dictyopteris membranacea*, zos – *Zosterella noltii*

Favna: aa – *Ascidiella aspersa*, ac – *Amphiura chiajei*, as – *Anemonia sulcata*, bn – *Bugula neritina*, bs – *Botryllus schlosseri*, cal – *Calianassa stebbingi*, cl – *Calliostoma* spp., cp – *Cucumaria plancki*, cc – *Cladocora cespitosa*, gi – *Gibbula* spp., mo – *Monodonta* spp., pol – *Polychaeta*, so – *Spongia officinalis*, sp – *Sabella pavonina*, up – *Upogebia littoralis*, va – *Verongia aerophoba*

Globinski profil Debeli rtič. Profil je dokaj položen, saj šele približno 60 m od obale seže 3 m globoko. V celoti je dolg 70 m z največjo globino 3,5 m. Flišni prod se s kopnega nadaljuje v morje, kjer ga mestoma prekinjajo skalne čeri (flišne plasti), ki potekajo vzporedno z obalo in med njimi ležeči platoji mulja, porasli z morskimi travami. Pri 3 m globine preide to spremenljivo dno v položen travnik morskih cvetnic.

Trdo dno profila pod cono plimovanja porašča nadvse pestra združba t.im. fitala, ki ji dajejo pečat alge cistozire – v plitvejšem delu asociacija *Cystoseiretum crinitae*, v večji globini pa vrsta *Cystoseira barbata*. Razen alg cistozir je v fitalu dokaj množična še *Dictyopteris membranacea*. Značilnost flore tega pasu je popolna odsotnost morske solate *Ulva rigida*. Favna mediolitoralnega, prodniškega pasu, izpostavljenega valovom, je skromna. Predstavljajo jo predvsem številni polži rodov *Gibbula*, *Monodonta* in *Calliostoma*. Globlje, v infralitoralnem fitalu so pogostne predvsem spužve (*Spongia officinalis*, *Verongia aerophoba*), solitarni in kolonijski plaščarji (*Asciidiella aspersa*, *Bothryllus schlosseri*), grmičasti mahovnjaki (*Bugula neritina*) ter hidroidi in vetrnice (*Anemonia sulcata*). Med kamenjem, na obrobju peščenih con živi prirasli predstavnik mnogoščetincev – veliki črv cevkar *Sabella pavonina*.

Travnik morskih cvetnic sestavlja predvsem *Cymodocea nodosa*, v manjši meri tudi *Zosterella noltii*. Razen odprtih številnih črvov skupine *Polychaeta* in rakov (rodovi *Upogebia*, *Calianassa*) opazimo na površini mulja še morske kumare (*Cucumaria planci*), kačjerepe (*Amphiura chiajei*) in osamljene gruče kamenih koral *Cladocora cespitosa*.

Opisana profila sta si dokaj podobna. Razlike so predvsem v izpostavljenosti do prevladujočega vetra – burje in zaradi prisotnosti hranilnih soli iz kanalizacijskih iztokov ter izliva odpadnih voda industrije v Izoli. Zaradi omenjenih vplivov, predvsem hranilnih soli, prevladujejo na koprsko-izolski obali nitrofilne alge (*Ulva rigida*, *Dictyopteris membranacea*, *Halopithys incurvus*), medtem ko na Debelem rtiču prevladujejo vrste rodu *Cystoseira*.

Osrednji del Koprskega zaliva predstavlja bentoška združba t.im. glinasto-muljastega dna. V skoraj popolni odsotnosti alg (z izjemo prenesenih s tokovi) prevladujejo moluski (značilen predstavnik je polž *Aporrhais pespelecani*), brizgači (*Holothuria tubulosa*) in črvi mnogoščetinci, predvsem *Maldane glebifex*. Združba tega tipa dna se bistveno razlikuje od opisanih con priobalnih travnikov (slednji leže le vzdolž obale, do približno 6 m globine) in je značilna za osrednje dele Koprskega, Strunjanškega in Piranskega zaliva, nasploh pa tudi za celotni jugovzhodni del Tržaškega zaliva. Šele nekako na črti Gradež-Izola prehaja ta združba pod globino 22 metrov v združbo t.im. školjčno-detritičnega dna. Zanj je značilen droben pesek s številnim školjčnim detritusom. V favni prevladujejo kačjerepi, spužve in ascidije (združba *Ophiothrix-Reniera-Microcosmus*).

Povzetek

Raziskave zajemajo sestavo, razporeditev in genezo morskega sedimenta Koprskega zaliva, njegove geokemične značilnosti in oris bentoške združbe. Namen raziskav je bil tudi ta, da smo dobili podatke, potrebne za študij ekologije in polucije zaliva, kar omogoča primerjavo z drugimi deli Tržaškega zaliva, posebno s Piranskim zalivom.

Koprski zaliv predstavlja v trikotniku Izola-Koper-Debeli rtič potopljeno široko dolino Rižane. Morfološko je to precej ravna, 15 do 20 m globoka podmorska ravnina s precej strmo flišno obalo. Stalnih morskih tokov znotraj zaliva ni; premikanje vodnih mas je pogojeno z vetrovi in s plimovanjem. Slanost morske vode je normalna in znaša okrog 36 ‰. Vpliv sladke vode, ki jo v zaliv dovajata Rižana in Badaševica, je neznaten in je opazen le ob ustju reke Rižane.

Po zrnivosti in litologiji lahko površinski sediment Koprskega zaliva razdelimo v tri cone:

- **obrežni sediment (cona A)** sega do globine okrog 5 metrov. Sestavlja ga peščeni melj z do 40 % peščene frakcije in manj kot 15 % gline. Srednja zrnavost sedimenta je okrog 50 μm ;

- **sediment notranjega dela zaliva (cona B)**, ki obsega večji del zaliva. Po zrnivosti je to glinasti melj z 20 do 40 % gline in manj kot 3 % peščene frakcije. Srednja zrnavost se giblje med 3 in 6 μm ;

- **sediment odprtega dela zaliva (cona C)** je peščeni melj s srednjo zrnavostjo okrog 30 μm , do 40 % peščene frakcije in z manj kot 25 % gline. Grobo frakcijo sestavljajo le foraminifere in drobci moluskov. Frakcijo gline spira talni tok, ki teče ob robu zaliva v smeri od Pirana proti Trstu.

Mineralna sestava sedimenta je precej enotna. Večina zrn je detritičnega izvora in je v zaliv prispela z erozijo flišne obale in pa z rečnim nanosom Rižane. Med minerali prevladuje kremen nad mineralni glin (illit in klorit v približnem razmerju 2:1), karbonatnimi minerali (kalcit, dolomit, aragonit) in glinenci. Delež karbonata se giblje med 20 % v notranjem delu zaliva in narašča proti odprtemu delu zaliva, kjer doseže okrog 40 % (večji delež organskih ostankov). Avtigena minerala sta aragonit in pirit; slednji je indikator redukcijskih razmer znotraj sedimenta.

Razen površinskega sedimenta smo v Koprskem zalivu preiskali tudi jedro dveh vrtin. Vrtina V-3 je locirana v koprski luki in je zadela na flišno podlago v globini 40 metrov. Spodnjih 15 m sestavlja rečni nanos Rižane, kjer se menjavata pesek in prod, vrhnjih 25 m sedimenta pa ima morski značaj (Ogorelec et al., 1984). V sivem glinastem melju so številne lupine foraminifer in školjk. Vrtina MK-6, locirana med Žusterno in koprskim mestnim pristaniščem, je prevrtala kvartarni sediment v globini 41 metrov. Tu je sediment vseskozi enakomernozrnat glinasti melj, po favni pa sklepamo na menjavanje morske in brakične sedimentacije. Neposredni vpliv reke Rižane do vrtine MK-6 ne seže več.

Vnos celotnega suspendiranega sedimenta z reko Rižano znaša približno $28 \cdot 10^3 \text{ t}$ letno. Grobi delci se odlagajo v ustju in ob njem, drobnejši pa se porazdelijo po zalivu v odvisnosti od gibanja vodnih mas. Upoštevajoč ocenjeno poprečno hitrost sedimentacije sredi zaliva (ok. milimeter letno), znaša sedimentacija sredi zaliva približno $0,6 \text{ kg m}^{-2}$ suspendiranega sedimenta letno, od tega skoraj 40 % organske snovi.

Vsebnosti $C_{\text{org.}}$, $N_{\text{tot.}}$ in $P_{\text{tot.}}$ v raziskanem površinskem sedimentu so približno enake kot v vrtini V-3 in imajo v poprečju 1,4 % $C_{\text{org.}}$, 0,2 % $N_{\text{tot.}}$ in 400 ppm $P_{\text{tot.}}$. Izmerjene vsebnosti kažejo, da se razmere v sedimentu glede na preteklost niso bistveno spremenile. Analize razmerij C/N in C/P v različnih frakcijah organske snovi v Koprskem zalivu so v povezavi z analizami $\delta^{13}\text{C}$ organske snovi pokazale, da ima organska snov, vsaj sredi zaliva, skoraj izključno morski izvor. Približno polovica organske snovi izvira iz bentoške flore in favne, druga polovica pa iz suspendirane organske snovi.

Analize pornih vod so pokazale nizke koncentracije fosfata. Ta se verjetno veže v razne minerale (npr. apatit), ki nastajajo med diagnezo. Vertikalna porazdelitev

koncentracij analiziranih spojin kaže približno enake koncentracije vzdolž 40 cm sedimentnega stolpca zaradi bioturbacije sedimenta.

Geokemične analize 18 vzorcev površinskega sedimenta kažejo, da so koncentracije mikroelementov težkih kovin As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb in Zn kot tudi makroelementov Fe, Mn in P v celotnem zalivu zelo izenačene. Izmerjene vrednosti naštetih elementov so v mejah geokemičnega praga za Tržaški zaliv, kot ga opazujemo npr. v vrtini V-6 pri Sečovljah (Ogorelec et al., 1981) in zazdaj še ne kažejo na polucijo sedimenta s težkimi kovinami. Rahlo povišane koncentracije glede na geokemično ozadje opazujemo le pri živem srebru.

Osrednji del Koprškega zaliva predstavlja bentoška združba glinasto-meljastega dna. V skoraj popolni odsotnosti alg prevladujejo moluski, brizgači in črvi mnogoščetinci. Zaradi povišanih koncentracij hranilnih soli iz komunalnih in industrijskih odpadkov prevladujejo ob koprsko-izolski obali nitrofilne alge (*Ulva rigida*, *Dictyopterys membranacea*), medtem ko so pri Debelem rtiču pretežno vrste iz rodu *Cystoseira*.

Če strnemo rezultate raziskav morskega sedimenta Koprškega zaliva, ugotovimo veliko podobnost s sosednjim Piranskim zalivom (Ranke, 1976), ki ima kot delno zaprt bazen podobne morfološke in hidrografske značilnosti.

The recent sediment of the Bay of Koper (Northern Adriatic)

Summary

The present paper describes the composition and genesis of marine sediment of the Bay of Koper (Northern Adriatic). The data obtained extend our knowledge of ecology and allow an evaluation of the pollution of the Bay in comparison with the other parts of the Gulf of Trieste, especially with the Bay of Piran.

The Bay of Koper is a wide submerged valley of the river Rižana. Morphologically, the Bay is a flat submarine plain about 15–20 m deep with steep flysch shoreline (Fig. 1). The sea water circulation in the Bay is mainly controlled by tides and winds, and constant currents are practically absent. The salinity averages about 36‰ (Figs. 2 and 3) and the influence of the fresh water inflow is rather insignificant, except in the vicinity of the Rižana river mouth.

According to grain-size distribution and lithology the surficial sediment of the Bay of Koper can be divided into three zones (Figs. 4 and 5, Tab. 1):

- **Near-shore sediment (zone A)** down to a depth of about 5 m. It consists of sandy silt with up to 40 % of the sand and less than 15 % of clay. The mean grain-size is about 50 µm;

- **Sediment of the inner part of the Bay (zone B)** consists of silty clay with 20–40 % of the clay and less than 3 % of the sandy fraction. The mean grain-size ranges between 3–6 µm;

- **Sediment of the Bay entrance (zone C)** consists of silt with the mean grain-size of about 30 µm, up to 40 % of the sandy fraction and less than 25 % of silt. The coarse fraction is mainly composed by foraminifers and skeletons of molluscs. The silty fraction is continuously washed by a near bottom sea water current going mainly in the direction Piran-Trieste.

The mineral composition is fairly uniform (Tab. 2). The majority of the grains are detrital, originating from flysch in the hinterland and introduced by shore erosion

and the Rižana inflow. Quartz prevails over clay minerals (illite and chlorite in the approx. ratio of 2:1), carbonates (calcite, dolomite, aragonite) and feldspar. The carbonate content (Fig. 6, Tab. 3) varies between 20 % in the inner part of the Bay and 40 % at the Bay entrance, containing a considerable proportion of skeletons of various organisms. The authigenic minerals are aragonite and pyrite; the latter is an indicator of a reducing environment in the sediment (Fig. 7). In the surficial sediment the Eh is positive but an decrease to negative values is usually observed a few centimeters below the surface.

We also investigated two boreholes drilled in the Bay of Koper (Fig. 8). The borehole V-3 was located in Koper harbour. The lower part (25–40 m) of the V-3 core consists of fluvial deposition of the Rižana river, containing sand and gravel. The upper part of the core (0–25 m) consists of marine sediment and the dark grey clayey silt is rich in foraminiferal fauna and skeletons of molluscs (Fig. 9). The borehole MK-6, located between Žusterna and Koper harbour, reached the flysch basement at a depth of 41 m. The sediment is throughout composed of clayey silt. According to fauna distribution, the sediment revealed the alternation of marine and brackish conditions of sedimentation. Here, the direct influence of the Rižana river inflow was not observed.

The input of total suspended matter into the Bay of Koper by the Rižana inflow amounts to about $28 \cdot 10^3 \text{ t y}^{-1}$. The coarse suspended particulates are mainly deposited in the vicinity of the river mouth, while smaller particles are distributed throughout the Bay in relation to the sea water dynamics of the Bay. Considering the average sedimentation rate in the central part of the Bay of about 1 mm y^{-1} and porosity of about 80 %, we calculated the sedimentation of total suspended matter as about $0.6 \text{ kg m}^{-2} \text{ y}^{-1}$. The organic fraction of the total suspended matter amounts to 39 %.

The contents of C_{org} , N_{tot} , and P_{tot} in the surficial sediment of the Bay are approx. the same as those measured in the upper marine part of the core V-3 (Ogorelec et al., 1984) and averages about 1.4 % C_{org} , 0.18 % N_{tot} , and 420 ppm P_{tot} (Figs. 10–14). All results indicate that the environmental conditions of the Bay in the past were not markedly different from those at present. C/N and C/P ratios and $\delta^{13}\text{C}$ values of various fractions of organic matter (Tab. 5) in the Bay indicate that the organic matter, at least in the central part of the Bay, is of marine origin, approx. 50 % of benthic and 50 % pelagic producers.

Pore water analyses revealed low phosphate concentrations, probably due to the adsorption or precipitation of phosphate with various minerals during diagenesis. The vertical distribution of compounds analysed shows nearly the same concentrations of all chemical constituents down to a depth of approx. 40 cm, because of intense bioturbation (Fig. 15). The estimated benthic diffusive fluxes of NH_4^+ , PO_4^{3-} and Si using Fick's First Law averaged about $1.2 \text{ mmol NH}_4^+ \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, $0.01 \text{ mmol PO}_4^{3-} \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ and $0.7 \text{ mmol Si m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Geochemical analyses of the microelements As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb and Zn and the macroelements Fe, Mn and P show that they are distributed approx. uniformly in the surficial sediment of the Bay (Fig. 16, Tab. 6). The contents of the elements analysed are at the same level as in the geochemical background of the core V-6 in the Sečovelje salt marsh (Ogorelec et al., 1981). A somewhat higher Hg content was found in the surficial sediment of the Bay of Koper.

The central part of the Bay of Koper is populated by a community typical of silty-muddy bottom, mostly without algae, mainly composed of mollusca, holothuria and polychaeta. Because of the higher input of nutrients along the south coastline of the

Bay (between Izola and Koper), nitrophilic algae prevail (Fig. 17), while around Debeli rtič the species of the genus *Cystoseira* prevails (Fig. 18).

From the results of the multidisciplinary study of the sediment of the Bay of Koper it emerges that the Bay is similar to the Bay of Piran (Ranke, 1976), having both similar morphological and hydrographic properties.

Literatura

Aller, R. C. 1982, The effects of macrobenthos on chemical properties of marine sediment and overlying water. V: Mc Call P. L. & Tevesz M. J. S. (eds.), *Animal-sediment relations*. Plenum, 53–102, New York.

Aspila K. I., Agemian H. & Chau A. S. Y. 1976, A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphorous in sediments. *Analyst*, 109, 187–197, London.

Atterberg, A. 1905, Die rationelle Klassifikation der Sande und Kiese. *Chemiker-Zeitung*, 15, Heidelberg.

Avčín, A., Meith-Avčín, N., Vuković, A., & Vrišer, B. 1974, Primerjava bentoških združb Strunjskega in Koprškega zaliva z ozirom na njihove polucijsko pogojene razlike. *Biol. vest.*, 22, 171–208, Ljubljana.

Brambati, A. 1968, Mixing and settling of fine terrigenous material ($< 16 \mu\text{m}$) in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste. *Stud. Trentini Sci. nat.*, A, 45/2, 103–117, Trento.

Brambati, A. & Venzo, G. A. 1967, Recent sedimentation in the Northern Adriatic Sea between Venice and Trieste. *Stud. Trentini Sci. nat.*, A, 44/1, 202–274, Trento.

Brambati, A., Ciabatti, M., Fanzutti, G. P., Marabini, F., & Marocco, R. 1983, A new sedimentological textural map of the Northern and Central Adriatic Sea. *Boll. Oceanol. Teor. Appl.* 1/4, 267–271, Trieste.

Bremner, J. M. & Keeney, D. R. 1965, Steam distillation method for determination of ammonium, nitrate and nitrite. *Anal. Chem.*, 32, 485–495, Easton.

Burnett, W. C. 1977, Geochemistry and origin of phosphorite deposits from off Peru and Chile. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 88, 813–823, New York.

Byrne, A. R. 1972, Determination of arsenic and antimony in biological materials at sub-ppm level. *Anal. Chim. Acta*, 59, 91–99, Amsterdam.

Byrne, A. R. & Kosta, L. 1974, Simultaneous neutron activation determination of selenium and mercury in biological samples by volatilization. *Talanta*, 21, 1083–1090, Oxford.

Dermelj, M., Ravnik, V., Kosta, L., Byrne, A. R. & Vakselj, A. 1976, Determination of traces in In, Mn, As and Sb in zinc by NAA. *Talanta*, 23, 856–859, Oxford.

Dermelj, M., Ravnik, V. & Kosta, L. 1977, Simultaneous determination of trace elements Cd, Cu and Zn in different environmental samples by neutron activation analysis. *Radiochem. Radioanal. Letters*, 28, 231, Lausanne.

Donazzolo, R., Heike Merlin, O., Menegazzo Vitturi, L., Orio, A., Pavoni, B., Perin, G. & Rabitti, S. 1979, Metalli pesanti nei sedimenti del Golfo di Venezia. *Ocean. Fond. Marini*, 973–985, Roma.

Faganeli, J. 1984, Produkcija in transformacije organsko vezanega dušika v obalnem morju (Tržaški zaliv). *Doktorska disertacija*, Piran–Ljubljana, 97 pp.

Faganeli, J., Mišič, M., Dolenec, T., Pezdič, J. & Ogorelec, B. 1983, Pore water composition in some small cores of the Gulf of Trieste (North Adriatic). 4th IAS Regional meeting, 58 (abstract), Split.

Faganeli, J., Mišič, M., Ogorelec, B., Dolenec, T. & Pezdič, J. 1985, Organic matter in two 41-m boreholes from the Gulf of Trieste (Northern Adriatic). *Rapp. Comm. Int. Mer. Medit.*, 29/2, 139–142, Monaco.

Faganeli, J., Malej, A. & Pezdič, J. 1986, Determination of sources of organic matter in the near-shore marine environment (Gulf of Trieste, Northern Adriatic) using the elemental composition of C, N and P, and the isotopic C composition. *Rapp. comm. int. Mer. Medit.*, 30/2 (abstract), Monaco.

Gaudette, H. E., Flight, W. R., Toner, L. & Folger, D. W. 1974, An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 44/2, 249–253, Tulsa.

- Giorgetti, F., Mosetti F. & Macchi, G. 1986, Caratteristiche morfologiche, fisiche e chimiche del fondo marino del Golfo di Trieste nell'area compresa entro la congiungente Punta Grossa - Bocche di Primero. *Boll. Soc. Adriat. Sci.*, 61/1, 3-21, Trieste.
- Grasshoff, K. 1976, Methods of seawater analysis. Verlag-Chemie, 317 pp., Weinheim.
- Guilcher, A. 1969, Pleistocene and Holocene sea level changes. *Earth. Sci. Rev.*, 5/2, 69-97, Amsterdam.
- Hartmann, M., Müller, P., Suess, E. & van der Weijden, C. H. 1973, Oxidation of organic matter in recent marine sediments. *Meteor-Forschungsergebnisse*, C 12, 74-86, Kiel.
- Jørgensen, B. B. 1982, Mineralisation of organic matter in the sea bed - the role of sulphate reduction. *Nature*, 269, 643-654, London.
- Jones, D. & Willis, M. S. 1956, The attenuation of light in sea and estuary waters in relation to the concentration of suspended solid matter. *Jour. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 35, 431-444, London.
- Katz, A. & Kaplan, I. R. 1981, Heavy metals behavior in coastal sediments of Southern California: A critical review and synthesis. *Marine Chemistry*, 10, 261-299, Amsterdam.
- Keeney, D. R. & Bremner, J. M. 1967, Use of the Coleman model 29 analyzer for the total nitrogen analysis of soil. *Soil Sci.*, 104, 358-363, Baltimore.
- Kitano, Y., Okumura, M. & Idogaki, M. 1978, Uptake of phosphate ions by calcium carbonate. *Geochem. Jour.*, 12, 29-37.
- Kosta, L. & Byrne, A. R. 1969, Activation analysis for mercury in biological samples at nanogram level. *Talanta*, 16, 1297-1303, Oxford.
- Kosta, L., Ravnik, V., Dermelj, M., Pihlar, B., Stegnar, P., Byrne, A. R., Lokar, J., Vakselj, A., Novak, J. & Prosenc, A. 1978a, Mikroelementi v morskih in rečnih sedimentih kot indikatorji kontaminacije slovenskega vodnega sistema. *Vestnik SDK*, 25, 463-493, Ljubljana.
- Kosta, L., Ravnik, V., Byrne, A. R., Štirn, J., Dermelj, M. & Stegnar, P. 1978b, Some trace elements in the waters, marine organisms and sediments of the Adriatic by neutron activation analysis. *Jour. Radioanalytical Chemistry*, 44, 317-332, Lausanne.
- Kranck, K. & Ruffman, H. 1982, Sedimentation in James Bay. *Naturaliste Canad.*, 109, 353-361, Ottawa.
- Krumbein, W. C. 1936, Application of logarithmic moments to size frequency distributions of sediments. *Jour. Sed. Petrol.*, 6, 35-47, Tulsa.
- Kukal, Z. 1971, Geology of recent sediments. Academic Press, New York, 490 pp.
- Macchi, G. 1968, Sulla composizione chimica dei sedimenti recenti del Golfo di Trieste. *Boll. Soc. Adriat. Sci.*, 61/1, 22-41, Trieste.
- Manheim, F., Rowe, G. T. & Jipa, A. 1975, Marine phosphorite formation off Peru. *Jour. Sed. Petrol.*, 45/2, 243-251, Tulsa.
- McCaffrey, R. J., Myers, A. C., Davey, E., Morrison, G., Bender, M., Luedtke, N., Cullen, D., Froelich, P. & Klinkhammer, G. 1980, The relation between pore water chemistry and benthic fluxes of nutrients and manganese in Narragansett Bay, Rhode Island. *Limnol. Oceanogr.*, 25, 31-44, Washington.
- Meischner, D. & Rumohr, J. 1974, A light-weight high-momentum gravity corer for subaqueous sediments. *Senckenbergiana Marit.*, 6, 105-117, Frankfurt.
- Müller, G. 1964, Methoden der Sedimentuntersuchung. Stuttgart, Schweizerbartsche Verl., 303 pp.
- Müller, P. J. & Suess, E. 1979, Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic matter in the oceans - 1. Organic carbon preservation. *Deep-Sea Research*, 26, 1347-1362, Oxford.
- Nathan, Y. & Lucas, J. 1976, Expériences sur la précipitation directe de l'apatite dans l'eau de mer: implications dans la genèse des phosphorites. *Chem. Geol.*, 18, 181-186, Amsterdam.
- Ogorelec, B., Mišič, M., Šercelj, A., Cimerman, F., Faganeli, J. & Stegnar, P. 1981, Sediment sečoveljske soline. *Geologija*, 24/2, 179-216, Ljubljana.
- Ogorelec, B., Mišič, M., Faganeli, J., Šercelj, A., Cimerman, F., Dolenc, T. & Pezdič, J. 1984, Kvartarni sediment vrtnice V-3 v Koprskem zalivu. Slovensko morje in zaledje, 6-7, VII, 165-186, Koper.
- Parsons, T. R. 1975, Particulate organic carbon in the sea. V: Riley J. P. & Skirrow G. (eds.) *Chemical oceanography*, 2nd ed., Academic Press, London, 647 pp.
- Paul, J. & Meischner, D. 1976, Heavy metal analyses from sediments of the Adriatic Sea. *Senckenbergiana marit.*, 8, 1/3, 91-102, Frankfurt.

- Pigorini, B. 1967, Aspetti sedimentologici del Mare Adriatico. Mem. Soc. Ital. Sci. nat. Mus. civil. stor. nat., 16, 130–194, Milano.
- Postma, H. 1961, Suspended matter and Secchi disc visibility in ocean waters. Nether. J. Sea Res., 3, 359–390.
- Ravnik, V., Dermelj, M. & Kosta, L. 1974, A highly selective diethyldition-carbamate extraction system in activation analysis of copper, indium, manganese and zinc. Jour. Radioanal. Chem., 20, 443, Amsterdam.
- Ravnik, V., Dermelj, M. & Kosta, L. 1976, Determination of some trace elements Fe, Co, Cr, Zn, Mn and In in different series of standard reference samples by NAA. Microchim. Acta., 1, 153, Wien.
- Ranke, U. 1976, The Sediments of the Gulf of Piran (Northern Adriatic Sea). Senckenbergiana marit., 8, 1/3, 23–60 Frankfurt.
- Rossi, S., Mosetti, F. & Cescon, B. 1968, Morfologia e natura del fondo nel Golfo di Trieste. Boll. Soc. Adriatica Sci., 55/2, 187–206, Trieste.
- Reynolds, R. C., Jr. 1980, Interstratified clay minerals: In Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification, G. W. Brindley and G. Brown (eds.), Mineralogical Society, 249–303 London.
- Savin, S. M. & Yeh, H. W. 1981, Stable isotopes in ocean sediments. V: Emiliani C. (ed.) – Oceanic lithosphere, The Sea., 7., J. Wiley, 1521–1554, New York.
- Semi, P. 1975, Capris, Giustinopoli, Capodistria. NLT, 320 pp., Trieste.
- Silva, J. A. & Bremner, J. M. 1966, Determination of isotope ratio analysis of different forms of nitrogen in soils: 5. Fixed ammonium. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc., 30, 587–594, Madison.
- Stegnar, P., Vukadin, I., Smodiš, B., Vakselj, A. & Prosenc, A. 1980, Trace Elements in Sediments and Organisms from Kaštela Bay. V^{es} Journées Etud. Pollutions. C.I.E.S.M., 595–600, Cagliari.
- Strickland, J. D. H. & Parsons, T. R. 1972, A practical handbook of seawater analysis. Fish. Res. Bd. Can., Ottawa, 301 pp.
- Suess, E. 1973, Interaction of organic compounds with calcium carbonate. II: Organo-carbonate associations in recent sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 38, 1–19, London.
- van Straaten, L. M. J. U. 1965, Sedimentation in the north-western part of the Adriatic Sea. A Symposium. Coloston Pap. Coloston Res. Soc., 17, 143–162, London.
- van Straaten, L. M. J. U. 1970, Holocene and late-Pleistocene sedimentation in the Adriatic Sea. Geol. Rundschau, 60/1, 106–131, Stuttgart.
- Venzo, G. A. & Stefanini, S. 1967, Distribuzione dei carbonati nei sedimenti di spiaggia e marini dell'Adriatico settentrionale tra Venezia e Trieste. Stud. Trentini Sci. Nat., A., 44/2, 178–201, Trento.
- Vrišer, B., Avčin, A. & Vuković, A. 1981, Značilnosti bentoških združb v Izolskem zalivu. Slov. morje in zaledje, 4/5, 201–206, Koper.
- Willey, J. D. 1978, Release and uptake of dissolved silica in seawater. Mar. Chem., 7, 53–65, Amsterdam.