

Mogući gubitak biomase riba izazvan izlivanjem mineralnih ulja u Riječki zaljev

Potential fish biomass loss due to mineral oil spills
in the bay of Rijeka

Mladen Tudor

Institut za oceanografiju i ribarstvo, Split

UVOD

Uobičajene koncentracije ugljikovodika u moru su do 10 $\mu\text{g/l}$ (ppb). Međutim, ispuštanjem mineralnih ulja sa brodova njihove koncentracije mogu biti znatno veće, te mogu ugroziti život u moru i nanjeti štetu ekosistemu.

Toksičnost mineralnih ulja na morske organizme ovisi o vrsti i sastavu ugljikovodika. Aromatski ugljikovodici su najtoksičniji, dok je sirova nafta manje toksična (Tablica 1).

Tablica 1. Toksičnost ugljikovodika (LC_{50}) za različite grupe morskih organizama (ppm) (Johnston, 1977)

Organizmi	Topivi aromati	No. 2 lož ulje	Sirova nafta
Alge	10—100	50—500	10^4 — 10^5
Ribe	5—50	25—250	10^4 — 10^5
Zooplankton	1—10	5—50	10^3 — 10^4
Jaja i larve	0,1—1,0	0,5—5	10^2 — 10^3

Procjena štete koju izazivaju mineralna ulja na riblji fond, imaju značaj kako sa ekonomskog tako i pravnog aspekta.

Riječki zaljev je posebno interesantan za moguća izlivanja većih količina mineralnih ulja, zbog prolaza tankera koji prevoze naftu za rafineriju (Urinj) i naftovod (Krk), te se u ovom radu donosi preliminarni proračun gubitka biomase riba za spomenuto područje.

ŠIRENJE ULJA NA MORSKOJ POVRŠINI

Male količine ulja mogu pokriti veliku površinu mora. Ulja obrazuju sloj koji se nošen strujom i vjetrom brzo širi, te se dugo može zadržati na morskoj površini.

Širenje uljne mrlje u početku je brzo, a s vremenom se usporava. Mrlja cirkularnog karaktera širi se prema formuli (Lehr *et al.*, 1981.):

$$r_t = [r_0^3 + (3K_r t V \rho_o / \pi \rho_w) (\rho_w - \rho_o)]^{1/3}$$

r_t = radius mrlje u vremenu t , r_0 = početni radius, K_r Blokker-ova konstanta, ρ_w = gustoća morske vode, ρ_o = gustoća ulja.

Početni radius (r_0) može se izračunati iz činjenice da se izliveno ulje u samom početku širi gravitaciono-inercialnim režimom (Murray, 1972). U tabeli 2 date su površine uljne mrlje nakon 24 sata za ulje gustoće 0,85 kg/l. Teoretsko širenje mrlje nakon 24 sata znatno je sporije i značajno je samo za velike količine ulja.

Tablica 2. Površina uljne mrlje nakon 24 sata nastale izlivanjem mase M-tona (r_0 = početni radius poslije 6 minuta)

M (t)	r_0 (m)	r_{24} (m)	P_{24} (m ²)
0,05	3,4	53,4	$8,9 \cdot 10^3$
0,1	4,0	67,0	$1,4 \cdot 10^4$
1,0	7,2	145,0	$6,5 \cdot 10^4$
5,0	10,8	247,0	$1,9 \cdot 10^5$
10,0	12,8	312,0	$3,0 \cdot 10^5$
100,0	22,8	672,0	$1,4 \cdot 10^6$

KRATKOROČNO DJELOVANJE MINERALNIH ULJA NA MORSKE ORGANIZME

a) Inhibicija primarne produkcije

Smanjena primarna produkcija izaziva posljedice u proizvodnji zooplanktona i konačno u manjoj proizvodnji riba.

Nađeno je, da lož ulje No. 2 u koncentraciji od 0,1 mg/l smanjuje fiksaciju ugljika u prirodnoj populaciji fitoplanktona za 40% (Gordon and Prouse, 1973). Pri ovoj koncentraciji ugljikovodika trajanje inhibicije može biti od nekoliko sati, dana, sedmica pa i dulje, što ovisi o količini i pomicanju ulja po morskoj površini.

Prema proračunima za određene uvjete oko 18% ulja može biti dispergirano u morski stupac sa koncentracijom od 0,1 ppm do 15 m dubine (Cormac i Nichols, 1977). Određena masa ulja će prema tome biti dispergirana u volumenu V_{tox} .

Uljna mrlja će se pomicati površinom mora površinskim strujama nastalim djelovanjem vjetrova. Za brzinu mrlje može se uzeti 3,5% brzine vjetrova (Lehr *et al.*, 1981). Aproksimativne brzine površinskih struja su 0,1 m/s. Mrlja za 24 sata može preći volumen $V_{24} = R_{24} \cdot v \cdot t \cdot h$ gdje su: R_{24} dijаметar mrlje, V brzina površinske struje (0,1 m/s), t vrijeme (24 sata) i h dubina do koje dopire toksična koncentracija (15 m). Dijeljenje V_{tox} sa V_{24} daje vrijeme T u kojem se generira toksični volumen (V_{tox}), odnosno duljina trajanja inhibicije primarne produkcije.

U priobalnim vodama potencijalno iskorištenje po trofičkim nivoima je 15% (Ryther, 1969). Prosječna primarna produkcija Riječkog zaljeva je 1 $\mu\text{gC}/\text{h/l}$ (Pojed i Smodlaka, 1979) ili 15 $\text{mgC}/\text{m}^2/\text{h}$ do dubine od 15 m. Uzimajući da je 1 g ugljika ekvivalentan 10 g fitoplanktona i uz inhibiciju primarne produkcije od 40%, dobiva se da je potencijalni gubitak biomase fitoplanktona 1,44 $\text{g}/\text{m}^2/\text{dan}$. Ekvivalentni gubitak produkcije ribe, ako se riba uzme kao treći trofički nivo, će prema tome biti 0,032 tone/km^2 ($1,44 \cdot 0,15 \cdot 0,15$) do 15 m dubine.

Ekvivalentni gubitak ribe izazvan inhibicijom primarne produkcije fitoplanktona (G_{rf}) dobije se kada se promjer mrlje (R_{24}) pomnoži sa putem koji mrlja pređe za 24 sata ($v \cdot t = 8,64 \text{ km}$), vremenom u kojem se generira toksična koncentracija (T) i ekvivalentnim odnosom riba—primarna produkcija (uz 40% inhibicije 0,032 $\text{tone}/\text{km}^2/\text{dan}$) (Tablica 3).

Tablica 3. Ekvivalentni gubitak ribe (G_{rf}) izazvan inhibicijom primarne produkcije

M (t)	V_{tox} (m^3)	P_{24} (m^2)	R_{24} (m)	V_{24} (m^3)	T (dan)	G_{rf} (kg)
0,05	$9,0 \cdot 10^4$	$8,9 \cdot 10^3$	107	$1,4 \cdot 10^7$	$6,4 \cdot 10^{-3}$	0,20
0,1	$1,8 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^4$	134	$1,7 \cdot 10^7$	0,010	0,37
1,0	$1,8 \cdot 10^6$	$6,5 \cdot 10^4$	290	$3,7 \cdot 10^7$	0,048	3,84
5,0	$9,0 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^5$	494	$6,4 \cdot 10^7$	0,140	19,00
10,0	$1,8 \cdot 10^5$	$3,0 \cdot 10^5$	624	$8,1 \cdot 10^7$	0,222	38,00
100,0	$1,8 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^6$	1344	$1,7 \cdot 10^8$	1,058	393,00

1 g ugljika = 10 g fitoplanktona

100 t fitoplanktona = 2,25 t ribe

b) Djelovanje na zooplankton

Kratkoročno letalno djelovanje mineralnog ulja na zooplankton biti će ograničeno u površinskom sloju mora. Koncentracija ugljikovodika treba da bude dovoljno velika da izazove mortalitet 50% populacije ($\text{LC}_{50} = 25 \text{ ppm}$).

Kada bi sva masa ulja bila dispergirana ispod uljne mrlje, iz odnosa $M/\text{LC}_{50} = V$, dobio bi se volumen mora (V) u kojem bi bilo uništeno 50% populacije zooplanktona, odnosno dubina $h = V/P_{24}$ do koje bi dopirala letalna koncentracija.

Srednja biomasa zooplanktona Riječkog zaljeva je 44 mg vlažne tež./ m^3 (Benović i Kršinić, 1979). Uz 50% mortaliteta ova količina zooplanktona ekvivalentna je 3,3 mg/m^3 ili 0,165 t/km^2 ribe.

Tablica 4. Ekvivalentni gubitak ribe (G_{rz}) prema akutnoj toksičnosti mineralnog ulja na zooplankton

M (t)	P_{24} (m ²)	h (m)	G_{rz} (kg)
0,05	$8,9 \cdot 10^3$	0,224	0,006
0,1	$1,4 \cdot 10^4$	0,285	0,013
1,0	$6,5 \cdot 10^4$	0,615	0,132
5,0	$1,9 \cdot 10^5$	1,052	0,659
10,0	$3,0 \cdot 10^5$	1,333	1,319
100,0	$1,4 \cdot 10^6$	2,857	13,199

c) Djelovanje ulja na jaja i larve riba

Kratkoročno djelovanje mineralnih ulja na jaja i larve riba može imati dugoročne posljedice na riblji fond. Jaja riba uglavnom se zadržavaju u površinskom sloju mora odnosno do 1 metar dubine (Ghirardelli, 1967; Specchi, 1968). Larve i postlarve np. brgljuna se u blizini površine javljaju samo noću (Regner, 1972).

Za jaja i larve riba, nije svejedno kada su ulja izlivena. Posljedice mogu biti znatno veće kada je doba mrijesta neke vrste riba. Letalne koncentracije su već pri 0,1 ppm aromata ili 0,5 ppm smjese ugljikovodika (Kühnold, 1977).

Disperzija je glavni proces koji odstranjuje ulja sa površine i uvodi topivi dio u morski stupac. Prema Cormack i Nichols (1977) koncentracija ugljikovodika ispod uljne mrlje na dubini od jednog metra je 0,5 ppm, što će biti dovoljno da ubije oko 50% jaja i larvi.

Oko 18% ulja se dispergira u stupcu do 17 m dubine sa linearnim padom koncentracije i uz prosječnu koncentraciju od 0,29 ppm (Cormack i Nichols, 1977). Na osnovu ove koncentracije moguće je izračunati volumen mora u kojem će se dispergirati 18% ulja, odnosno površinu (P) koja odgovara ovom volumenu. Duljina trajanja efekta na jaja i larve biti će vrijeme (T) koje je potrebno da uljna mrlja zauzme određenu površinu (P), a koje se dobije iz formule o širenju mrlje.

Prosječna količina jaja i larvi riba u Riječkom zaljevu je 11 po m² (Benović i Kršinić, 1979). Jasno je da u doba mrijesta, naročito male plave ribe, ova količina može biti znatno premašena. Može se pretpostaviti da barem 90% jaja i larvi dolazi u kontakt sa letalnim koncentracijama ugljikovodika u površinskom sloju.

Vrlo je teško procijeniti koji broj jaja odnosno larvi u prirodnim uvjetima dolazi do juvenilne ili adultne faze. To ovisi o vrsti ribe i mnogim drugim faktorima. U svakom slučaju preživljava vrlo mali broj. Tako, Nakai i Hattori (1962) nalaze da svega 0,04% jaja japanske srdele (*Sardinops melanosticta*) dolazi do postlarvalne faze dužine 24 mm.

Prema naprijed iznesenom, može se približno izračunati gubitak jaja i larvi riba $G_j = P \cdot T \cdot 11 \cdot 0,5 \cdot 0,9$. Gubitak biomase ribe je $G_{rj} = G_j \cdot 0,0004 \cdot 20$, ako se uzme prosječna težina adultne male plave ribe u Riječkom zaljevu od 20 grama (Sinovčić, neobjavljeni podaci).

Tablica 5. Prosječni gubitak biomase ribe nastao preko toksičnosti ugljikovodika na jaja i larve riba u Riječkom zaljevu

M (t)	P (m ²)	T (dan)	G _j	G _{rj} (kg)
0,05	1,8 · 10 ³	0,027	22	0,002
0,1	3,5 · 10 ³	0,036	57	0,005
1,0	3,5 · 10 ⁴	0,118	1,8 · 10 ³	0,165
5,0	1,8 · 10 ⁵	0,271	2,2 · 10 ⁴	1,931
10,0	3,5 · 10 ⁵	0,376	5,9 · 10 ⁴	3,756
100,0	3,5 · 10 ⁶	1,198	1,9 · 10 ⁶	1,7 · 10 ²

U tablici 5 dati su rezultati na osnovu srednjeg broja jaja u Riječkom zaljevu. Međutim, ova slika može biti znatno promjenjena kada je sezona mrijesta neke vrste koja se nalazi u značajnijim količinama. Tako je u sezoni mrijesta brgljuna na nekim mjestima u Riječkom zaljevu zabilježeno oko 1000 jaja/m² (Benović i Kršinić, 1979). Prema ovom podatku gubitak biomase brgljuna može biti od 0,174 kg za 0,05 tona ulja, pa do 15 tona za 100 tona izlivenog ulja.

Procjena gubitka biomase riba, preko njihovih jaja i larvi, mora voditi računa o vremenu i prostoru izlivanja mineralnih ulja. Prema tome, velika izlivanja mineralnih ulja mogu imati značajne posljedice na riblji fond smanjujući količinu ribe i u budućim generacijama.

TROVANJE MORSKIH ORGANIZAMA UGLJIKOVODICIMA

Ribe, školjke i drugi morski organizmi izloženi uljima u moru apsorbiraju stanovite količine ugljikovodika, te njihovo meso postaje nepodobno za ljudsku ishranu. Ugradnja ugljikovodika je vrlo brz proces, te morski organizmi mogu primiti značajne količine za samo nekoliko sati (GESAMP, 1977).

Prag koncentracija ugljikovodika u moru iznad kojeg dolazi do trovanja mesa morskih organizama je 0,05 ppm (IRPTC, 1978). Intenzitet trovanja mnogo ovisi o vrsti ugljikovodika. Lakša ulja su veći izvori trovanja ribljeg mesa.

Eliminacija ugljikovodika iz morskih organizama traje, od nekoliko dana pa do više sedmica, što naravno, ovisi o duljini ekspozicije i vrsti mineralnog ulja (GESAMP, 1977).

Prosječna gustoća male plave ribe u Riječkom zaljevu je 89 tona/Nm² (Kačić, 1977). Koncentracija ulja koja može izazvati trovanje riba dopire do oko 15 m, a prosječna dubina Riječkog zaljeva je oko 50 m, što daje potencijalnu količinu zatrovane male plave ribe od oko 30 tona/Nm². Množenjem ove količine ribe sa površinom (P), koju zauzima odgovarajući volumen topivog dijela ulja ispod mrlje i vremenom (T) u satima, kroz koje se generira kritična koncentracija, može se dobiti količina zatrovane ribe (G_{rj}) (Tablica 6). Ta količina ribe biti će jedan dulji ili kraći period, ovisno o akumulaciji ugljikovodika, nepodobna za ljudsku ishranu.

Tablica 6. Količina male plave ribe Riječkog zaljeva potencijalno zagađena ugljikovodicima, te za jedan vremenski period neopodobna za ljudsku ishranu

M (t)	P (m ²)	T (h)	G _{rt} (kg)
0,05	$1,8 \cdot 10^3$	0,65	10,28
0,1	$3,5 \cdot 10^3$	0,86	26,47
1,0	$3,5 \cdot 10^4$	2,83	874,23
5,0	$1,8 \cdot 10^5$	6,50	$1,0 \cdot 10^4$
10,0	$3,5 \cdot 10^5$	9,00	$2,8 \cdot 10^4$
100,0	$3,5 \cdot 10^6$	28,75	$8,8 \cdot 10^5$

DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

U ovom radu je obuhvaćena šteta mineralnih ulja na riblji fond, koja nastaje kroz kratkoročno letalno djelovanje i trovanje ribljeg mesa ugljikovodicima. Šteta nastala ovim drugim putem je privremenog karaktera i duljina ovisi o brzini eliminacije ugljikovodika iz ribljeg mesa. U svakom slučaju ova riba je nepodobna za ljudsku ishranu jedan vremenski period.

Dugoročni efekti, koji nisu obuhvaćeni ovim radom, manifestiraju se preko subletalnog djelovanja ugljikovodika na morske organizme. Oni mogu imati djelovanje na biokemijske i fiziološke mehanizme, usporenje rasta, reprodukciju, predispoziciju na parazite itd., što sve vodi narušavanju ravnoteže ekosistema.

U Jadranu, do sada, nije bilo većih udesa pri kojim bi došlo do izlivanja nekoliko tisuća tona mineralnih ulja. Međutim, poznato je da su česta manja izlivanja. Do sada je zabilježen jedan veći udes pri kojem je došlo do izlivanja 500 do 1000 tona mineralnog ulja (Ahel i Picer, 1980).

U tablicama 3 i 4 se vidi da mogući gubitak biomase riba u Riječkom zaljevu preko fitoplanktona i zooplanktona, izazvan mineralnim uljima, neće biti velik. Riječki zaljev spada u oligotrofične bazene (Degobbis, 1979) pa je to možda jedan od razloga niske procjene gubitka biomase ribe ovim putem. Međutim, Johnston (1977) sličnom metodom za Sjeverno more, također, nalazi mali gubitak ribe preko fitoplanktona, a naročito preko zooplanktona.

Jaja i larve morskih organizama, pa tako i riba, najosjetljivije su forme života na ugljikovodike u moru. Mogući gubitak ribe preko jaja i larvi ovisi o mjestu i vremenu izlivanja mineralnih ulja. Ako izlivanje nastane u području i sezoni mriješta neke abundantne riblje vrste, štete nastale ovim putem mogu i ekonomski biti vrlo značajne.

Trovanje ribljeg mesa ugljikovodicima te nepodobnost za ljudsku ishranu, iako privremenog karaktera, može imati značajne razmjere ovisno o izlivenim količinama mineralnih ulja. Johnston (1977) navodi da je srednji godišnji gubitak za ribarstvo u Sjevernom moru, nastao zatrovanjem riba ugljikovodicima oko 28.000 funti.

Dugoročni efekti mineralnih ulja na morske organizme, pa tako i na ribe, multipliciraju nastalu štetu koja se ogleda kroz jedan duži vremenski period.

ZAHVALA

Autor zahvaljuje Javnom pravobranilaštvu Zajednice općina Rijeka na financijskoj pomoći.

LITERATURA

- Ahel, M. i M. Picer. 1980. Izljev nafte u more — porijeklo i sudbina. Acta. Adriat. 21 (1): 237—248.
- Benović, A. i F. Kršinić. 1979. Zooplankton. — Ekološka studija akvatorija Riječkog zaljeva, 270—291. CIM Rovinj — Zagreb: 484 p.
- Cormack, D. and J.A. Nichols. 1977. The natural and chemicals dispersion of oil in the sea. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 171: 97—100.
- Degobbi, D. 1979. Kemijska hidrografija i hranjive soli. — Ekološka studija akvatorija Riječkog zaljeva, 108—134. CIM Rovinj — Zagreb: 484 p.
- GESAMP. 1977. Impact of oil on the marine environment. Raports and studies 6. FAO, Rome: 250 p.
- Ghirardelli, E. 1967. Microdistribuzione superficiale nel plancton del Golfo di Trieste. Metodi di raccolta, primi risultati. Boll. Soc. Adriat. Sci. Trieste, 55: 18—26.
- Gordon, D.C. and N.J. Prouse. 1973. The effects of three oils on marine phytoplankton photosynthesis. Mar. Biol., 22 (4): 329—333.
- IRPTC. 1978. Data profila for chemical for the evaluation of their hazards to the environment of the Mediteranean sea. UNEP, Genova: 108 p.
- Johnston, R. 1977. What North Sea oil might cost fisheries. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 171: 212—223.
- Kačić, I. 1979. Kontrola naselja pelagičnih riba — papaline (*Sprattus sprattus* L.) brgljun (*Engraulis encrasicolus* L.) i sredele (*Sardina pilchardus* Wabb.) — Ekološka studija akvatorija Riječkog zaljeva, 358—369. CIM Rovinj — Zagreb: 484 p.
- Künhold, W.W. 1977. The effect of mineral oils on the development of eggs and larvae of marine species. A review and comparison of experimental data in regarded to possible damage at sea. Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 171: 175—183.
- Lehr, W. J., M. S. Belen and H. M. Cekrige. 1981. Simulated oil spills at two offshore fields in the Arabian Gulf. Mar. Poll. Bull., 12 (11): 371—374.
- Murray, S. P. 1972. Turbulent diffusion of oil in the ocean. Limnol. Oceanogr., 17 (5): 651—660.
- Nakai, Z. and S. Hattori. 1962. Quantitative distribution of eggs and larvae of the japanese sardine by year, 1949 through 1951. Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab., 9: 23—60.
- Pojed, I. i N. Smodlaka. 1979. Primarna produkcija. — Ekološka studija akvatorija Riječkog zaljeva, 258—269. CIM Rovinj—Zagreb: 484 p.
- Regner, S. 1972. Contribution to the study of the ecology of the plantonic phase in the life history of the anchovy in the Central Adriatic. Acta. Adriat., 14 (9): 1—40.
- Ryther, J.H. 1969. Photosynthesis and fish production in the sea. Science, 166: 72—76.
- Specchi, M. 1968. Observations préliminaires sur l'hyponeuston du golfe de Trieste. Rapp. Comm. int. Mer Médit., 19 (3) 491—494.

Primljeno: 20. lipnja 1983.

POTENTIAL FISH BIOMASS LOSS DUE TO MINERAL OIL SPILLS IN THE BAY OF RIJEKA

Mladen Tudor

Institute of Oceanography and Fisheries, Split

SUMMARY

The paper presents a short-term effects of mineral oils, due to a hypothetical mineral oil spill, on the primary production, zooplankton, fish eggs and larvae, as well as fish taintina, by hydrocarbons, which may result in a potential fish loss in the Bay of Rijeka.

On the basis of primary production inhibition of 40% and production of 1 $\mu\text{g C/l/h}$ potential fish loss was calculated to be 0.2 kg per 0.05 t of oil to 393 kg per 100 t of oil. Calculations based on zooplankton showed very small fish loss. Fish loss due to egg and larval mortality depends on the ground and time of spawning. Quantity of tainted fish was calculated on the basis of small pelagic fish density of 98 t/Nm². It was obtained that 0.01–880 t of fish would be dangerous for human food over a defined period of time.