

Ivan Habdija i Suzana Stankovski¹

**UTJECAJ OTPADNIH VODA ALUMINIJSKE INDUSTRIJE NA
ŽIVOTNU AKTIVNOST NEKIH ORGANIZAMA PLANKTONA I
BENTOSA**

DER EINFLUSS VOM ABWASSER DER ALUMINIUMINDUSTRIE AUF DIE
LEBENSAKTIVITÄT EINER ORGANISMEN DES PLANKTONS UND BENTOS

Izvod

Predmet ovog rada je proučavanje nepovoljnog djelovanja crvenog mulja iz otpadnih voda aluminijske industrije na životnu zajednicu planktona i bentosa u rijeci Morači.

Abstract

Das Objekt dieser Arbeit wurde die Untersuchung der ungünstigen Wirkung des Rottschlammes vom Abwasser der Aluminiumindustrie auf die Lebensgemeinschaft des Planktons und Benthos im Fluss Morača in Monte Negro.

¹ Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta — Zagreb

UVOD

Danas, pri intenzivnijoj industrijalizaciji i urbanizaciji, uočava se sve veći utjecaj antropogenih faktora na ekosisteme kopnenih voda. Stoga se velika pažnja poklanja ekolozijskim istraživanjima površinskih voda (naročito tekućica), koje postaju prijamnici otpadnih tvari iz raznih industrijskih postrojenja, rudnika, naselja i slično. Posebno pitanje, koje danas postaje veoma aktuelno, jeste utjecaj otpadnih tvari na prirodne procese samoočišćenja prijamnika.

Mnoge tekućice Jugoslavije koje su do prije deset godina bile nekontaminirane, postaju sve opterećenije raznim anorganskim i organskim tvarima. Jedna od njih je i predmet ovog rada — rijeka Morača. Rijeka Morača i njene pritoke do 1957. god. bile su s kemijskog i biolozijskog gledišta čiste vode. Međutim, danas donji tok Morače sve više dobiva karakter onečišćene rijeke beta-mesosaprobno tipa (Ž u n j i ć, 1974).

U nju dospijevaju djelomično zagađene vode rijeke Zete, a nizvodno od Titograda i otpadne vode Pamučnog kombinata, Klanice, „Centrokože“, a posljednjih nekoliko godina i Aluminijskog kombinata.

U Jugoslaviji je posljednjih deset godina podignuto nekoliko postrojenja za preradu boksita i dobivanje aluminijskog. Ispuštanjem otpadnih voda aluminijskih kombinata u vode prijamnike (najčešće su to rijeke) neminovno dolazi do njihove kontaminacije. Time se mijenjaju ekolozijske prilike u sestonu, a najvećim dijelom u bentosu. Promjene životnih uvjeta povlače za sobom kvalitativne i kvantitativne promjene u životnim zajednicama.

Jedan od tih kombinata, Aluminijski kombinat — Titograd, snabdjeva se za svoje tehnološke i druge potrebe vodom iz Morače i podzemlja. Ukupna količina vode koja se koristi u prvoj fazi iznosi oko 2 900 m³/h. Od ove količine oko 2 800 m³/h isključivo služi za hlađenje strojeva, za piće i sanitarne potrebe. Nakon upotrebe voda otiče direktno otvorenim betonskim kanalom u Moraču.

Pri maksimalnoj proizvodnji (100 000 tona aluminijskog godišnje) izbacuje se oko 300 000 tona otpadnih tvari, tzv. crvenog mulja koji se odvodi u bazene obložene plastičnom folijom. Kapacitet bazena iznosi 1 120 000 m³, a predviđen je samo za 5 godina. Voda koja dolazi s crvenim muljem nakon taloženja vraća se u proces.

Pri strogom pridržavanju namjene, vode od taloženja bile bi bezopasne za život u prijamniku, ali se događa da su one u znatnijoj mjeri zagađene te prouzrokuju uništenje vodene biocenoze na određenom dijelu toka rijeke.

Vode koje dolaze kanalom donose sa sobom povremeno znatne količine toksičnih tvari koje su do sada u nekoliko navrata prouzrokovala uginuće nekih organizama zoobentosa (ličinke vodenih insekata, vodene račice, puževe) i zelenih algi. Te vode sadrže gotovo uvijek veće količine sode i crvenog mulja (Ž u n j i ć, 1974).

PODRUČJE ISTRAŽIVANJA I METODIKA RADA

Naše rijeke koje protječu kroz krško područje relativno su čiste, premda sve više poprimaju izgled površinskih voda sjeverozapadnog područja, koje je jače industrijalizirano. Zajednice koje se u njima javljaju jesu oligosaprobne do beta-mesosaprobne (Matonićkin i Pavlečić, 1972).

Osnovna svrha ovog rada bila je utvrditi na koji način svojim fizičkim svojstvima i kemijskim sastavom djeluje crveni mulj na promjenu osobina vodene sredine u koju ulazi s otpadnim vodama. Zanimalo nas je kako mulj svojom topljivom komponentom uzrokuje promjenu pH-vrijednosti vode, kojom brzinom se vrši sedimentacija čestica mulja što uzrokuje mehaničku promjenu podloge i smanjenje providnosti vodenog sloja, te u kojoj mjeri i koje zrake svjetlosti apsorbiraju suspendirane čestice crvenog mulja u vodenoj otopini, tj. kako mijenjaju količinu svjetlosne energije koja je dostupna biljnim i životinjskim organizmima.

U prirodi ekološki faktori variraju u neograničenom broju kombinacija i kompleksno djeluju na organizme. Pošto je u prirodnim uvjetima „in situ“ vrlo teško upravo zbog tih kompleksnih uvjeta promatrati djelovanje ispitivane tvari, izvođeni su pokusi u laboratoriju. U laboratorijskim eksperimentima praćeno je djelovanje različitih koncentracija crvenog mulja na jednog predstavnika fitoplanktona, dva predstavnika zooplanktona i četiri predstavnika zoobentosa, mjerenjem i promatranjem nekih životnih procesa kao što su asimilacija, preživljavanje, te promjene oblika ponašanja koje su uzrokovali mehanički, svjetlosni i toplinski podražaji.

Pri odabiranju životinja za pokuse nastojalo se da to budu indikatori različitih zona opterećenja iz različitih životnih zajednica, da bi se utvrdio utjecaj crvenog mulja na pojedine zajednice, tj. da bi se utvrdio stupanj njihove potentnosti da prime nove količine polutanata.

KEMIJSKA ANALIZA CRVENOG MULJA

Kvalitativni i kvantitativni sastav crvenog mulja određen je u kemijskom laboratoriju Fakulteta za strojarstvo i brodogradnju u Zagrebu.

— Kvalitativni sastav određen je *metodom homolognih parova*, koja se sastoji u traženju linije referentnog, temeljnog elementa koji ima isti intenzitet kao analizna linija elementa što se određuje. Emisijski spektri u okviru ovog rada snimljeni su na *spektrografu s rešetkom PGS-2*, tvrtke C. Zeiss-Jena, DDR. Kvalitativni sastav ispitivanog uzorka saznaje se iz položaja spektralnih linija jedne prema drugoj. Kao otapalo za crveni mulj služila je destilirana voda.

Za snimanje apsorpcionih vrpca, upotrijebljen je „*Schnell-fotometar G II*“ (C. Zeiss-Jena), a kao izvor svjetlosti žarulja od 12 V i 50 W, što je i predviđeno za spektrograf PGS-2.

— Kvantitativni sastav, tj. količina topljivih elemenata, kao i količina najzastupljenijih netopljivih oksida određena je *metodom kromatografije*, tj. adsorpcijom na celulozi. Gubitak pri žarenju određen je žarenjem u mufolnoj peći na 320°C kroz vremenski period od 6 sati.

ODREĐIVANJE KONCENTRACIJE VODIKOVIH IONA

Koncentracija vodikovih iona određivana je pomoću pH-metra MA 5701 Iskra-Kranj. Utjecaj crvenog mulja na promjenu pH-vrijednosti praćen je na slijedeći način:

Kao otapalom za crveni mulj koristili smo se destiliranom vodom. U 200 ml vodovodne vode prethodno neutralizirane s 0,1 n NaOH na elektromagnetskoj miješalici, postepeno je pipetom dodavana određena količina otopine crvenog mulja. Tako je konstantno povećavana koncentracija mulja u uzorku vodovodne vode. Istovremeno smo očitavali stalno pH-vrijednosti i bilježili promjene. Temperatura uzorka vode za vrijeme pokusa iznosila je 25°C.

MJERENJE APSORPCIJE

Intenzitet apsorpcije svjetlosti različitih valnih dužina (plavu, zelenu, crvenu) u otopini crvenog mulja mjereno je pomoću kolorimetra VII S Dr. B. Lange kroz sloj vode debljine 34 mm u kiveti od 100 ml, uz upotrebu filtera BG 12 (plavi) λ 405 max. ϵ 0,86%, VG 9 (zeleni) λ 509 max. ϵ 0,65% i RG 2 (crveni) λ 700 max. ϵ 0,99%.

ASIMILACIJSKI TEST

Inhibitorno djelovanje crvenog mulja na asimilaciju zelene alge *Chlorella vulgaris* B e y e r iz laboratorijski uzgojene kulture, praćeno je posredno utvrđivanjem produkcije kisika alge. Ova alga se, kao i neke druge alge, npr. vrste roda *Scenedesmus*, lako uzgaja u laboratorijskim uvjetima, pa je pogodan objekt u različitim toksikološkim testovima. Kultura alge uzgajana je u otopini po S t a u b-u. Nesterilne kulture održavane su u cilindrima od 300 ml i osvijetljavane sijalicom od 100 W.

Određivanje produkcije kisika rađeno je pomoću asimilacijskog testa koji predstavlja modifikaciju asimilacijskog testa po K n ö p p-u (1968). Intenzitet asimilacije utvrđivan je u obliku neto-produkcije kisika testne alge nakon 48 časova. Veličina potencijalne produkcije kisika (PPK₄₈) ovisi o gustoći populacije producenata i o količini štetnih tvari sadržanih u vodi.

U pokusima smo upotrebljavali odstajalu vodovodnu vodu. Njome smo napunili dva niza po 7 Winkler-boca. U jednoj boci je određena početna vrijednost kisika, a u ostalih 12 odpipetirano po 5 ml guste suspenzije kulture alge *Chlorella vulgaris*. Dvije od tih boca služile su kao kontrola, a u ostale je dodana slijedeća koncentracija crvenog mulja: 5, 10, 25, 50, 75 i 100 mg/l. Sve boce sa ovako pripremljenim uzorkom vode eksponirane su 48 časova svjetlu neonske cijevi (crvenkasti ton — tt FC 20 W) u iluminatoru. Temperatura se kretala od 22,5—24°C.

Količina kisika mjerena je aparatom za mjerenje kisika Delta Scientific, model 1010. Razlika između početne vrijednosti kisika i vrijednosti dobivene

nakon 48 časova inkubacije predstavlja potencijalnu produkciju kisika (SPP₄₈ ili PPK₄₈). U rezultatima pokusa PPK₄₈ dat je u mgO₂/l i u % u odnosu na kontrolu.

ODREĐIVANJE UTJECAJA CRVENOG MULJA NA NEKE ŽIVOTINJE POTOČNE FAUNE

U ovom laboratorijskom pokusu promatrano je djelovanje crvenog mulja na vrste *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller), *Megacyclops viridis* (Jur.), *Polycelis felina* (Daly), *Tubifex tubifex* (Müll.), *Asellus aquaticus* L. i *Gammarus fossarum* Koch., tj. praćeno je djelovanje na promjene u ponašanju i reagiranju životinja na mehaničke, svjetlosne i toplinske podražaje u odnosu na ponašanje i reakcije životinja u kontrolnoj vodi bez crvenog mulja. Isto tako, u ovom pokusu je utvrđen postotni mortalitet u pojedinim koncentracijama mulja u određenim intervalima.

SAKUPLJANJE I DETERMINACIJA VRSTA

Životinjski materijal sakupljen je u isto godišnje doba (X i XI mjesec). Uzorci su uzimani metodom slučajnih uzoraka. Za izvođenje pokusa u laboratoriju su odabirane jedinke približno iste veličine, ali bez obzira na spol. Pri sakupljanju smo se koristili planktonskom i betoskom mrežom, a materijal je dopremljen u laboratorij u termos-bocama sa širokim grlom zapremine 1,5 l.

Dolaskom u laboratorij izdvojene su uginule i oštećene jedinke, a neoštećene smještene u akvarije prethodno napunjene prozračenom mješavinom potočne i odstajale vodovodne vode. Životinje su upotrebljavane u pokusima nakon 24 časa aklimatizacije. Za vrijeme pokusa nisu hranjene.

Sistematska pripadnost i nalazišta pojedinih vrsta određena je pomoću ključa Brauer, A. (1969): Die Süßwasserfauna Deutschlands, (edicija) i uz pomoć druge literature u laboratoriju Zoologijskog zavoda.

1. *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller).

— pripada razredu Brachiopoda; rašljoticalac kratkog, kolutičavog trupa zaštićenog dvostrukom ljuskom, izvan koje se nalazi samo glava; diše škržnim listićima koji su smješteni na nogama. Javlja se u oligosaprobnim vodama. Kao čestog predstavnika zooplanktona u stajacim vodama naših krajeva, ovu vrstu iz roda *Ceriodaphnia* spominju i Matonićkin i Pavletić (1972).

Prema Illies-u (1967) ova vrsta je rasprostranjena u svim fauniističkim oblastima Evrope, pa tako i na Balkanu.

2. *Megacyclops viridis* (Jur.) — prema Illies-u

— prema Bauer-u *Cyclops viridis* Jur.

To je mali planktonski račić-veslonožac, uskog tijela bez ljuske; pet pari prsnih nogu ustvari su rašljaste nožice koje služe za veslanje; diše čita-

vom površinom tijela. U kopnenim vodama naših krajeva dobro je zastupljen, a također i u većini faunističkih područja Evrope. Indikator je oligosaprobne do beta-mesosaprobne zone.

3. *Polycelis felina* (D a l y)

— B a u e r-ovu vrstu određuje kao *Polycelis cornuta* (J o h a n s o n).

Mnogooka puzavica čije je tijelo pokriveno jednorednim trepetljikavim epitelom bez kutikule; unutar epiderme, a češće i u mezenhimu smještene su brojne žljezdane stanice koje stvaraju sluzavi ovoj oko tijela koji služi kao zaštita od nepovoljnih uvjeta. Diše površinom tijela. Ova vrsta je veoma dobar indikator ksenosaprobne do oligosaprobne zone. Rasprostranjena je u svim oblastima Evrope, izuzev Skandinavskog poluotoka.

4. *Tubifex tubifex* (M ü l l.)

Indikator polisaprobne zone, ali se ponekad javlja i u oligosaprobnim te u beta-mesosaprobnim vodama. Tijelo mu je pokriveno kutikulom, a disanje se odvija preko crijevnog epitela a i kroz kožu. Živi u pijesku i mulju tekućih i stajaćih voda. Rasprostranjena u svim faunističkim oblastima Evrope (I l l i e s, 1967).

5. *Asellus aquaticus* L.

Mali račić dorzoventralno spljoštena tijela; dobar hodač; pokreće se sa 7 pari pereopoda; na pleopodima ima listiće koji služe kao škrge; čest u onečišćenim slatkovodnim mlakama gdje ima lišća koje trune. Indikator je alfa-mesosaprobne zone. Rasprostranjen, prema I l l i e s-u, u svim oblastima Evrope.

6. *Gammarus fossarum* K o c h.

— prema I l l i e s-u *Rivulogammarus fossarum* K o c h.

Slatkovodni rakušac; dolazi pretežno u čistim vodama (indikator ksenosaprobne do beta-mesosaprobne zone); diše škragama koje predstavljaju epipoditi pet pari pereopoda.

Dolazi pretežno u sjevernom dijelu Balkana i u zapadnom Mediteranu, a nema ga na Skandinavskom poluotoku i na Britanskom otočju. Ovu vrstu kao jednu od najčešćih predstavnika bentoskih organizama naših tekućih voda navode i M a t o n i č k i n i P a v l e t i ć (1972).

ODREĐIVANJE DJELOVANJA CRVENOG MULJA NA POKUSNE ŽIVOTINJE NA OSNOVU PROMJENA NJIHOVA PONAŠANJA I REGIRANJA NA MEHANIČKI, SVJETLOSNI I TOPLINSKI PODRAŽAJ

Djelovanje neke tvari na životinje opaža se po izmjeni oblika ponašanja koji se očituje u promjeni reakcija, kao što su promjena brzine kretanja i promjena pokretanja različitih organa, tj. u nizu receptorno-efektnih promjena. Ovakvi simptomi često se koriste pri izvođenju toksikodinamičkih Asselus-testova (K a m i n s k i, 1966).

Shodno tome, u ovom radu su opisani pokusi koji su izvođeni radi promatranja promjena u ponašanju pojedinih vrsta pri različitim koncentracijama crvenog mulja. Opisno smo bilježili pojave izražene u promjeni brzine kretanja životinje, položaja koji zauzima u odnosu na ostale jedinke, koordiniranost pokreta, te reagiranje na mehanički podražaj i na podražaj izazvan svjetlošću i topline. Za pokuse koristili smo se odstajalom vodovodnom vodom, koja je prije upotrebe bila prozračivana najmanje jedan sat i čija je temperatura bila snižena na približno istu temperaturu koju je imala voda sa staništa pojedine vrste. Po 200 ml vode stavljeno je u staklene cilindre zapremine 300 ml (za vrste *C. quandrangula* i *M. viridis*), i u posude za kristalizaciju zapremine također 300 ml (za vrste *P. felina*, *T. tubifex*, *A. aquaticus* i *G. fossarum*).

Zatim smo u cilindre i u posude stavili određen broj jedinki svake vrste. Nakon toga smo u posude dodavali (u razmaku od 5–10 min.) različite količine crvenog mulja da bismo dobili slijedeće koncentracije: 10, 25, 50, 75, 100 i 200 mg/l. Cilindri i posude za vrijeme pokusa bili su izloženi dnevnom osvjetljenju. Tijekom pokusa životinje nisu hranjene. Intervali u kojima su vršena zapažanja o nastalim promjenama bili su: 1, 24, 48 i 96 časova nakon početka pokusa.

Reagiranje na mehanički podražaj vrste *C. quandrangula* i *M. viridis* nije bilježeno zbog nemogućnosti da se na primjeren način vrši navedeni podražaj. Kod ovih vrsta nije primijenjen ni toplinski podražaj jer se nije moglo postići istovremeno i jednoliko zagrijavanje vode u cilindrima.

Kod ostalih vrsta mehanički podražaj je izvođen laganim dodiranjem životinje iglicom za prepariranje. Toplinski podražaj izvođen je kratkotrajnim zagrijavanjem posuda pomoću plamena svijeća, a svjetlosni zatamnivanjem pojedinih dijelova posuda crnim fotografskim papirom. Tijekom pokusa stalno su mjerene temperatura vode i koncentracija vodikovih iona. Da bismo mogli odrediti promjene u ponašanju životinja, u svakom pokusu imali smo paralelno sa ispitivanim koncentracijama i kontrolu u koju nije dodan crveni mulj a ostali uvjeti (temperatura, svjetlost) bili su isti.

ODREĐIVANJE MORTALITETA POKUSNIH ŽIVOTINJA

U istim uvjetima i sa istim brojem jedinki kao u prethodnom pokusu određen je i mortalitet životinja. Mortalitetom životinja, odnosno vrijednošću LC_{50} i LC, najčešće izražavamo toksičnost neke tvari. Vrijednost LC_{50} predstavlja koncentraciju pri kojoj ugiba 50% jedinki, a vrijednost LC predstavlja totalnu letalnu koncentraciju pri kojoj ugibaju sve jedinke u pokusu. Ona je obrnuto srazmjerna vremenu djelovanja (Breitig et al., 1970).

Tijekom ovih pokusa nismo tražili vrijednost LC_{50} i LC već smo promatrali i bilježili procentualni mortalitet pri upotrebljavanjem koncentracijama crvenog mulja u različitim vremenskim intervalima. Kao znak uginuća neke životinje uzimali smo potpunu nepokretnost životinje, koja ni nakon intenzivnijeg mehaničkog podražaja ubodom igle za prepariranje nije reagirala promjenom položaja tijela, ni vidljivim koordiniranim pokretima ekstremiteta, a ponovnim vraćanjem u nekontaminirani medij nije pokazivala životnu

aktivnost. Nakon svršetka pokusa uginule životinje pojedinih vrsta promatrane su pod binokularnom lupom i mikroskopom kako bi se zapazili eventualna oštećenja ili deformacije organa.

REZULTATI

Utjecaj crvenog mulja na promjene fizičko-kemijskih osobina vode.

KEMIJSKI SASTAV CRVENOG MULJA

Pri određivanju kvantitativnog sastava mulja određena je kromatografijom količina samo onih spojeva koji su procentualno najzastupljeniji. To su slijedeći spojevi:

topivi u vodi		netopivi u vodi	
Na	10,2%	Fe ₂ O ₃	47,0%
K	0,6%	Al ₂ O ₃	19,5%
ukupno	10,8%	SiO ₂	13,0%
		TiO ₂	4,6%
		ukupno	84,1%

Ostatak (do 100%) otpada na druge spojeve.

U Aluminijском kombinatu — Titograd vrši se jednom mjesečno kontrolna analiza crvenog mulja. Donosimo radi usporedbe pregled kemijske analize uzorka uzetog u svibnju 1974. godine:

Fe ₂ O ₃	44,00%	ZnO	6,05%
Al ₂ O ₃	21,59%	CaO	1,37%
SiO ₂	11,35%	Mn ₂ O ₃	0,40%
TiO ₂	5,71%	P ₂ O ₅	0,16%
Na ₂ O	8,18%	V ₂ O ₅	0,09%
K ₂ O	0,40%	CO ₂	1,19%
G.Ž. (gubitak pri žarenju)			6,59%

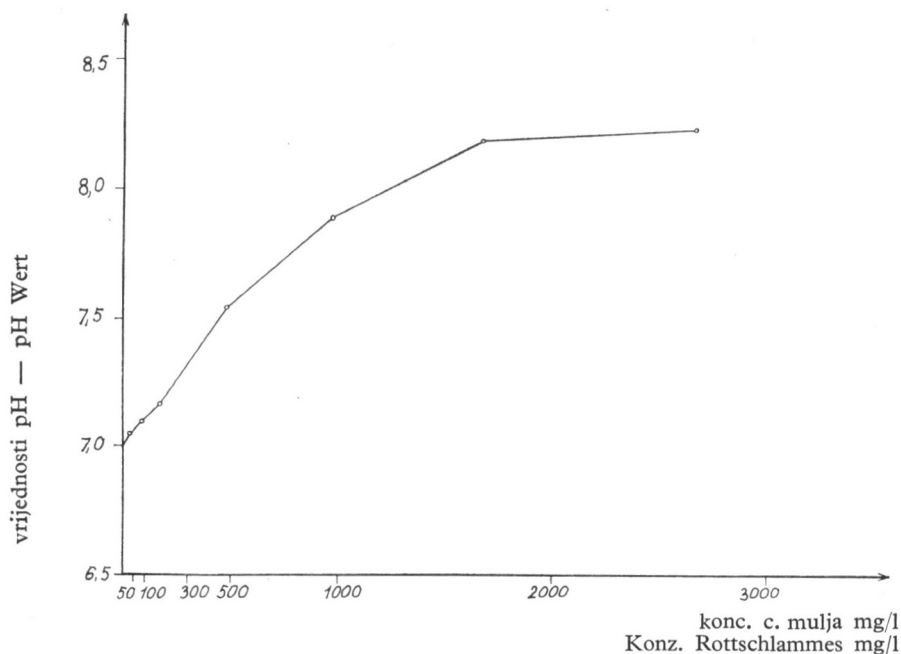
U laboratoriju Zoologijskog zavoda određen je i gubitak pri žarenju. Nakon žarenja na 320°C gubitak je iznosio 87,4 mg na 1942,7 mg crvenog mulja ili približno 4,5%.

PROMJENA KONCENTRACIJE VODIKOVIH IONA

Većini organizama odgovaraju neutralna, te slabo kisela i slabo lužnata područja i stoga svaka znatnija promjena koncentracije vodikovih iona do koje može doći uslijed onečišćenja otpadnim tvarima, utječe na njih u smislu promjena njihovih reakcija i ponašanja. Ekstremne promjene pH-vrijednosti mogu uzrokovati i povećan mortalitet.

Iz dobivenih rezultata možemo vidjeti da se vrijednosti pH znatnije ne mijenjaju dok koncentracija crvenog mulja ne poraste do 486 mg/l, a zatim porastom koncentracije samo do 986 mg/l u većoj mjeri raste i pH, da bi njegov porast tekao laganije pri koncentracijama mulja do 2 686 mg/l.

Slijed titriranja i promjena koncentracije vodikovih iona izražene pH-vrijednostima prikazan je grafički na slici 1.



Sl. 1. Ovisnost pH-vrijednosti o promjeni koncentracije crvenog mulja

Abb. 1. Das Abhängigkeitsverhältnis Zwischen den pH-Wert und die Konzentration des Rottschlammes

APSORPCIJA SVJETLA U OTOPINAMA CRVENOG MULJA

Svjetlost djeluje posredno i neposredno na žive organizme. Ona je jedan od osnovnih uvjeta opstanka živog svijeta pošto je, u obliku Sunčeve energije, značajna za proces fotosinteze. U vodenoj sredini ona svojim intenzitetom utječe na fotosintetske procese članova proizvođača — zelenih algi, nekih autotrofnih bakterija, kao i viših biljaka (S t a n k o v i ć, 1962).

U tekućim i stajaćim vodama svjetlosne prilike nisu podjednake. One prvenstveno ovise o dubini (koja uvjetuje razliku u količini apsorbirane svjetlosti) i o prozirnosti vode. Prozirnost vode uvjetovana je količinom suspendiranih čestica, i što je ta količina veća, dubina kompenzacijske točke asimilacije fitoplanktona, a i ostalog bilja, manja je. Osim toga, svjetlost značajno djeluje i kao ekološki faktor orijentacije životinjskih organizama u vodenoj sredini (naročito zooplanktona) i, shodno tome, postoji za različite organske vrste određeni optimum intenziteta svjetlosti.

Polazeći od pretpostavke da čestice crvenog mulja koje dolaze u prijamnike, svojom prisutnošću smanjuju prozirnost vode pokušali smo ustanoviti koliko brzina sedimentacije čestica utječe na količinu apsorbirane svjetlosti. Apsorpciju smo radili pomoću plave, zelene i crvene svjetlosti. Debljina sloja otopine iznosila je 34 mm. Intervali u kojima smo mjerili postotak apsorpcije bili su: 5', 15', 30', 60' i 150'. Dobiveni podaci prikazani su grafički na slici 2. Iz tih podataka možemo vidjeti da otopina crvenog mulja najjače apsorbira plave svjetlosne zrake valne dužine 405 m μ (zrake najkraće dužine od upotrijebljenih).

Količina apsorbirane svjetlosti manja je što je koncentracija otopine manja, a procentualno opada i s vremenom, tj. možemo zapaziti da ovisi o brzini sedimentacije čestica. Ako uzmemo proizvoljno da je na početku pokusa, tj. pri 0', količina suspendiranih čestica 100% (a time količina propuštene svjetlosti 0%), vidimo da se nakon 150' količina propuštene svjetlosti pri svim upotrijebljenim koncentracijama i filterima kreće od 95,9—98,4%. To nam pokazuje da se već nakon 150' čestice crvenog mulja u tolikoj mjeri istalože da ne utječu znatnije na apsorpciju svjetlosti, no njihov utjecaj je velik u prvih 30', naročito kod većih koncentracija, kada apsorbiraju od 50—60% svjetlosti.

UTJECAJ CRVENOG MULJA NA ASIMILACIJU ZELENE ALGE *CHLORELLA VULGARIS* B E Y E R

Ispitujući produkciju kisika putem asimilacije Müller et Knöpp (1971) naročito naglašavaju ulogu biogene aeracije u tekućicama koju izražavaju neto-produkcijom kisika. Zbog važnosti producenata u vodenim biocenozama zanimalo nas je na koji način može crveni mulj djelovati na njih. Stoga smo postavili pokus čije smo rezultate opisali u ovom poglavlju, a prikazali ih na tabeli I i, grafički, na slici 3.

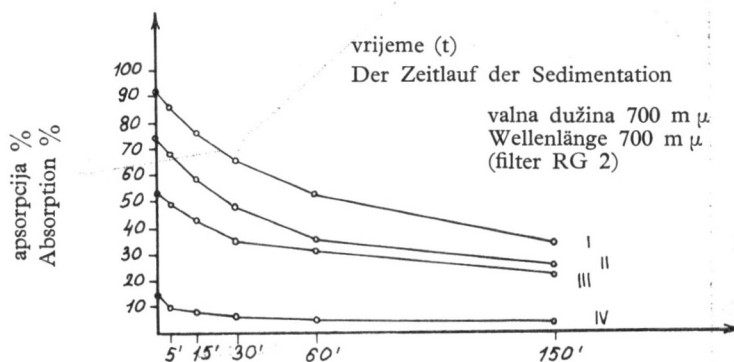
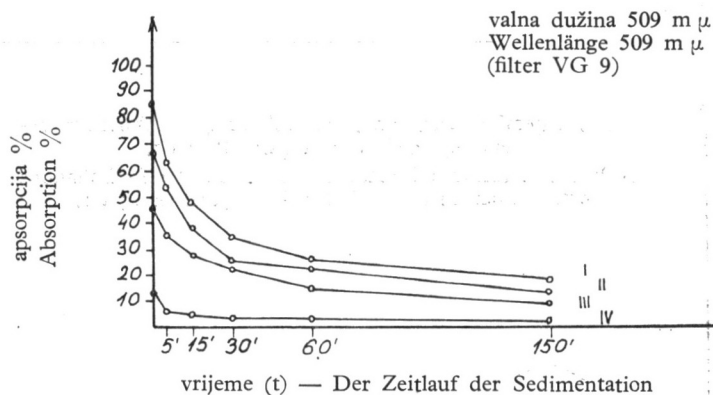
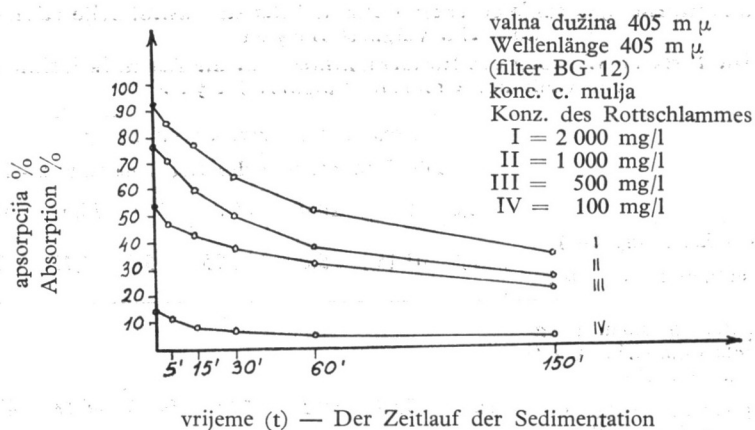
U kontrolnom uzorku potencijalna produkcija kisika nakon 48 časova iznosila je 8,05 mgO₂/l. Pri koncentraciji od 5 mg c.m. PPK₄₈ pada na 63,97% kontrolne vrijednosti. Pri konc. od 25 mg c.m. količina kisika dostiže maksimalnu vrijednost od 77,63% kontrolne vrijednosti. Koncentracija od 75 mg c.m. djeluje na PPK₄₈ u pravcu naglog smanjenja, te iznosi 46,58%, da bi pri konc. 100 mg c.m. iznosila 42,23%.

Djelovanje crvenog mulja na ponašanje i mortalitet vrsta:

Ceriodaphnia quadrangula (O. F. Müller), *Megacyclops viridias* (J u r.), *Polycelis felina* (D a l y.), *Tubifex tubifex* (M ü l l.), *Asellus aquaticus* L. i *Gammarus fossarum* K o c h.

Promjene koje nastaju opterećivanjem vodenih biotopa otpadnim tvarima odražavaju se i na sastav životnih zajednica. Zavisno od svoje osjetljivosti na toksičnost produkata razgradnje otpadnih tvari pojedine vrste zadržavaju se ili nestaju s onečišćenog područja (M a t o n i č k i n i P a v l e t i ć, 1972).

Laboratorijski pokusi opisani u ovom poglavlju izvršeni su radi utvrđivanja štetnog djelovanja crvenog mulja koji je stalni pratilac otpadnih voda Aluminijskog kombinata. Promatranja i mjerenja vršena su u uvjetima kratkotrajnog djelovanja.



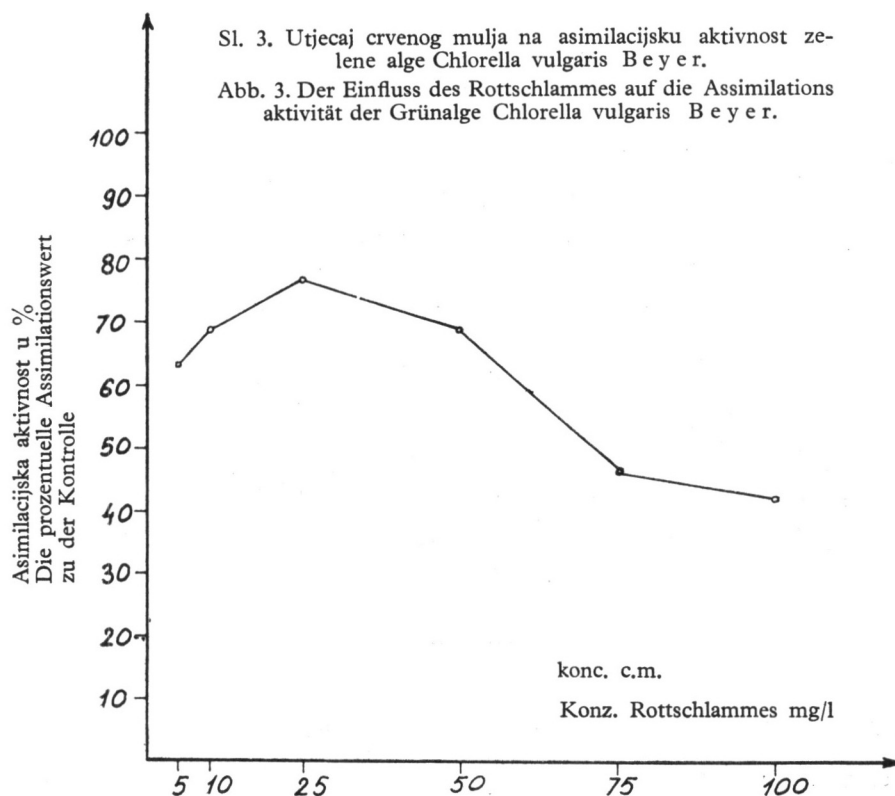
Sl. 2. Apsorpcija svjetla različitih valnih dužina u razućitim otopinama crvenog mulja u zavisnosti od vremena sedimentacije

Abb. 2. Die Absorption der verschiedenen Wellenlänge des Lichtes im Laufe der Zeit der Sedimentation in verschiedenen Konzentrationen des Rottschlammes

Tab. 1. Inhibitorno djelovanje crvenog mulja na intenzitet asimilacije zelene alge *Chlorella vulgaris* Beyer

Tab. 1. Die toxische Wirkung des Rottschlammes auf die Assimilationsintensität der Grünalge *Chlorella vulgaris* Beyer

	Konzentracija crvenog mulja mg/l						
	Die Konzentration des Rottschlammes mg/l						
	0,0	5,0	10,0	25,0	50,0	75,0	100,0
Asimilacija mg O ₂ /l Assimilation mg O ₂ /l	8,5	05,15	5,6	6,25	5,6	3,75	3,4
Procentualno opadanje intenziteta asimilacije u odnosu na kontrolu Die prozentuelle Absteigerung der Assimilationsintensität in Beziehung zu der Kontrolle	100	63,97	69,56	77,63	69,56	46,58	42,23



Utjecaj crvenog mulja na ponašanje

Pod utjecajem crvenog mulja u organizmu životinje nastaju promjene koje se manifestiraju u vidljivo izmjenjenom načinu ponašanja, intenzitetu disanja i različitom reagiranju jedinki na neke vrste podražaja, kao što su mehanički, svjetlosni, toplinski.

Broj životinja u pojedinim intervalima izražen je u postocima u odnosu na broj jedinki na početku pokusa. Uzeli smo da na početku pokusa broj jedinki iznosi 100%.

A) Oblici ponašanja

Opis ponašanja kojim smo se koristili u tabelama da bismo označili nastale promjene, kao i oznake uzeli smo proizvoljno.

Ponašanje kao u kontroli

— životinje se u svim posudama kreću kao u kontrolnoj s čistom vodom (rad ekstremiteta i kretnje su im koordinirani): skupljaju se u grupice ili plivaju razdvojeno; češće se zadržavaju u određenim dijelovima laboratorijskih posuda).

Razdraženo ponašanje

— izrazitije, brže kretnje s naglom promjenom smjera; životinje koje u prirodnim uvjetima hodaju počinju trčkarati; planktonske životinje zadržavaju se u gornjem dijelu posuda, a i jedinke ostalih vrsta često se dižu do površine vode; kretnje pojedinih dijelova tijela postaju nekoordinirane i užurbane.

Nepokretnost

— stanje u kojem se životinje gotovo ne kreću; ticala, antene, pereopodi i pleopodi rade samo povremeno sa sve dužim pauzama između kretnji.

B) Reagiranje na mehanički, svjetlosni i toplinski podražaj

Za označavanje reakcija upotrijebili smo slijedeće oznake:

- — životinje ne reagiraju na podražaj, tj. kretnje i ponašanje ne razlikuje im se od onih u životinja kontrole¹
- + reakcija na podražaj koja se manifestira bilo promjenom rada ekstremiteta bilo promjenom položaja tijela, vidljiva je ali slaba, tj. javlja se kod manje od 50% jedinki²
- + + reakcija na podražaj jaka i više od 50% jedinki reagira prethodno opisanim simptomima³.

¹ Die Tiere reagieren durch das Betragen und die Beweglichkeit wie in Kontrolle

² In Beziehung zu der Kontrolle wurde die Veränderung des Betragens der Tieren weniger als in 50% Fälle konstatiert

³ In Beziehung zu der Kontrolle wurde die Veränderung des Betragens der Tieren mehr als in 50% Fälle konstatiert

Ceriodaphnia quadrangula (O. F. Müller).

Za pokus je upotrijebljeno 100 vitalnih jedinki. Tijekom pokusa temperatura vode kretala se između 11,2 i 11,5°C u gornjem dijelu cilindra i 10,8—11,1°C u donjem dijelu. Na početku pokusa izmjerena je pH-vrijednost pojedinih medija. Rezultati su prikazani na tabeli 2. Odmah u početku pokusa pri dodavanju količina crvenog mulja od 100 i 200 mg/l primjećuje se nešto brže kretanje jedinki u odnosu na kontrolu. Nakon jedan sat u tim koncentracijama još uvijek je približno 70% jedinki skupljeno u gornjoj trećini cilindra, dok su se u kontroli i u koncentracijama od 10, 25, 50 i 75 mg/l jedinke smjestile u donjem dijelu, gdje je izmjerena nešto niža temperatura. U tom dijelu je i osvijetljenje nešto slabije. Zasjenjivanjem donje dvije trećine cilindra crnim fotografskim papirom promatrali smo fototaksiju životinja. Već jednu minutu nakon postavljanja pokusa više od 90% jedinki (koje su u prirodi pozitivno fototaksične), brzim pokretima doplivalo je u gornju nezasjenjenu trećinu i to u svim cilindrima bez obzira na koncentraciju.

Pri koncentracijama 75, 100 i 200 mg/l crvenog mulja životinje su nešto aktivnije i užurbanije se kreću u vertikalnom pravcu. Poslije 48 časova vidi se slabija pokretljivost životinja koje su preživjele, a u konc. 75, 100 i 200 mg/l više od 50% jedinki skuplja se u gornjem dijelu vodenog stupca. Sve jedinke reagiraju na smanjenje osvijetljenja zasjenjenjem, premda im sada treba više vremena da stignu do osvijetljenog dijela nego u prethodnim pokusima. Nakon perioda od 96 časova u svim cilindrima malobrojne preživjele životinje nalaze se pri površini vode (osim u kontroli), a pokreti su im slabi i dužina kretanja iznosi im svega 2—3 cm vertikalno.

Mikroskopirajući jedinke iz pojedinih cilindara primjećuje se da u koncentracijama crvenog mulja od 50 mg/l do 200 mg/l nakon 48 sati trajanja pokusa dolazi do izrazitog rastvaranja ljušturica kod živih kao i kod uginulih, zatim do laganog obojenja baze ticala, te do nakupljanja veće količine čestica mulja između škržnih listića na nogama. Osim toga, opazili smo da životinje apsorbiraju mulj u probavni trakt. Sve ove pojave primjećene su i nakon svršetka pokusa kod uginulih i kod živih jedinki.

Megacyclops viridis (Jur.)

Ova vrsta je pokretljivija od prethodne. Životinje se pokreću znatno brže, i to u svim smjerovima unutar cilindra. Uvjeti pokusa bili su isti kao i u prethodne vrste. Rezultati su prikazani na tabeli 3.

Na početku pokusa pri dodavanju crvenog mulja za koncentraciju od 100 i 200 mg/l životinje reagiraju trenutačno žustrim pokretima mijenjajući stalno smjer i to već nakon 1—2 cm prevaljena puta. Takvo stanje traje daljih 30"—60", a nakon toga uspostave prijašnju koordiniranost pokreta i usmjerenost kretanja. Za sve vrijeme pokusa životinje se nalaze u donjoj trećini u svim cilindrima. Temperatura vode je iznosila 11,2—11,4°C pri vrhu i 10,8—10,9°C pri dnu vodenog stupca. Izrazitiju razdraženost životinja zapazili smo nakon 24 časa i to u koncentracijama od 75, 100 i 200 mg/l. Razdraženost se ispoljavala bržim kretanjama nakon kojih bi slijedila nešto duža pauza mirovanja. Životinje ne reagiraju na promjenu intenziteta svjetlosti.

Polycelis felina (D a l y)

U pokusu smo upotrijebili po 30 neoštećenih jedinki za svaku koncentraciju mulja. Temperatura vode tijekom pokusa kretala se od 6,8—7,6°C. Rezultati su prikazani na tabeli 4.

Na početku pokusa u kontroli sve životinje miruju na dnu posuda, a nakon jedan čas skupljaju se u grupice. Na mehanički podražaj reagiraju puzanjem, a na toplinski (lagano zagrijavanje vode plamenom svijeće) naglim izvijanjem tijela i puzanjem bez određenog pravca. Osim toga, životinje se skupljaju u zasjenjenom dijelu posude, tj. pokazuju negativnu fototaksičnost.

Pri dodavanju mulja za koncentracije 100 i 200 mg/l i jedan čas nakon toga gotovo sve jedinke pužu po dnu i uz stijenke posude, a raspoređene su po cijeloj površini, tj. ne zadržavaju se na zatamnjanim mjestima kao u ostalim koncentracijama crvenog mulja. Nakon 24, 48 i 96 časova u svim koncentracijama životinje miruju svrstane u grupice u zatamnjenom dijelu posude. Sve preživjele jedinke u kontroliranim intervalima reagiraju na mehanički podražaj, a isto tako i na toplinski, naglim pokretom tijela i puzanjem. Poslije 96 časova primjećena je slabija pokretnost i to u 7—17% jedinki pri konc. od 75 mg/l i u 30—33% jedinki pri višim konc.

Pregledavajući životinje binokularnom lupom nismo primjetili neka oštećenja, osim što je bilo nešto više sluzi oko tijela životinja koje su boravile u otopinama većih koncentracija.

Tubifex tubifex (M ü 11.)

Uvjeti su bili isti kao u prethodnom pokusu. Rezultati su prikazani na tabeli 5. Temperatura vode kretala se od 10,8—11,2°C. U kontroli sve životinje skupljaju se u gomilicu na dno posude i intenzivno pokreću slobodni kraj tijela savijanjem. Na mehanički podražaj i na toplinski reagiraju naglim skupljanjem tijela. Životinje u kontroli, kao i u ostalim koncentracijama, uopće ne reagiraju na zasjenjenje.

Nakon 24 časa životinje su u svim koncentracijama, osim u dvije posljednje, skupljene u gomilice. U konc. 100 i 200 mg/l razdvojene su i pokreću tijela izvijanjem, praveći krugove i spirale. Pri ovim koncentracijama ostaju u takvom stanju i nakon 48 časova. Osim toga, na mehanički i toplinski podražaj u posljednje dvije (više) koncentracije životinje reagiraju jačim savijanjem tijela u spiralu. Nismo primjetili da životinje probavljaju mulj a pregledom pod mikroskopom nisu vidljiva nikakva oštećenja.

Asellus aquaticus L.

Upotrijebili smo, kao i u prethodnom pokusu, iste koncentracije crvenog mulja i isti broj jedinki. Temperatura vode u posudama za kristalizaciju iznosila je od 9,8—10,6°C. Rezultati su prikazani na tabeli 6.

U kontrolnoj posudi životinje se kreću u jednom pravcu od stijenke do stijenke umjerenim hodom (najvjerojatnije zbog glatke staklene površine). U prirodi se kreću brže, s kratkim zastoјima od nekoliko sekundi. Fizički povrijeđena životinja (dodirom, ubodom i stiskanjem toraksa) ili razdražena povišenom temperaturom, izvodi niz grčevitih ritmičkih pokreta savijajući tijelo u luku prema leđnoj i trbušnoj strani. Nakon jedan sat u konc. 75, 100 i 200 mg/l životinje su uznemirene i užurbanije se kreću.

Tab. 2. Utjecaj crvenog mulja na ponašanje i reagiranje vrste
Tab. 2. Der Einfluss des Rottschlammes auf das Betragen und die Reaktion der Art
Ceriodaphnia quadrangula (O. F. Müller)
 Za tumačenje oznaka i naziva vidi str. 212
 Die Erklärung der Markmale sehe S. 212

Trajanje eksperimen- ta Die Zeiträte des Experimentes	Oznake ponašanja u % Die Merkmale des Betragens in %	1	2	Konzentracija crvenog mulja mg/l Die Konzentration des Rottschlammes mg/l								
				0	10	25	50	75	100	200		
1 h	A	Ponašanje kao u kontroli Das Betragen wie in Kontrolle	100	100	100	100	100	100	100	100		
	B	Pojave razdraženog ponašanja Die Erscheinung des reizbaren Betragens										
	C	Postojanje reakcije na svjetlo Das Dasein der Reaktion auf das Licht										
	D	Postojanje reakcije na mehanički podražaj Das Dasein der R. auf den mechanischen Anreiz										
	E	Postojanje reakcije na toplinski podražaj Das Dasein der R. auf den Warmeanreiz	++	++	++	++	++	++	++	++		
	F	Pojava nepokretnog stanja Die Erscheinung des unbeweglichen Zustandes										

Nastavak tab. 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24 h	A	93	89	86	82	22	19	17
	B					50	42	39
	C	7	11	14	18	28	39	44
	D							
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F							
48 h	A	73	60	59	55	15	15	10
	B					16	14	10
	C	27	40	41	45	69	71	80
	D							
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F							
96 h	A	61	48	42	40	29	16	12
	B							
	C	39	52	58	60	71	84	88
	D							
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F							
pH		6,85	6,85	7,0	7,15	7,2	7,45	7,55

Tab. 3. Utjecaj crvenog mulja na ponašanje i reagiranje vrste

Megacyclops virdis (Jur.)
 Za tumačenje oznaka i naziva vidi str. 212
 Die Erklärung der Merkmale siehe S. 212

Tab. 3. Der Einfluss des Rottschlaumes auf das Betragen und die Reaktion der Atr

Trajanje eksperimenta Die Zeiträume des Experimentes		Oznake ponašanja u % Die Merkmale des Bestragens in %		Konzentracija crvenog mulja mg/l Die Konzentration des Rottschlaumes mg/l									
1		2		0	10	25	50	75	100	200			
				3	4	5	6	7	8	9			
1 h	A	Ponašanje kao u kontroli Das Betragen wie in Kontrolle	100	100	100	100	100	100	100	100			
	B	Pojava razdraženog ponašanja Die Erscheinung des reizbaren Betragens											
	C	Postojanje reakcije na svjetlo Das Dasein der Reaktion auf das Licht											
	D	Postojanje reakcije na mehanički podražaj Das Dasein der R. auf den mechanischen Anreiz											
	E	Postojanje reakcije na toplinski podražaj Das Dasein der R. auf den Wärmeanreiz	--	--	--	--	--	--	--	--			
	F	Pojava nepokretnog stanja Die Erscheinung des unbeweglichen Zustandes											

Nastavak tab. 3.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24 h	A	97	97	96	73	9	9	8
	B				18	78	74	72
	C	3	3	4	9	13	17	20
	D							
	E	--	--	--	--	--	--	--
	F							
48 h	A	94	93	91	88	8	8	7
	B					74	67	65
	C	6	7	9	12	18	25	28
	D							
	E	--	--	--	--	--	--	--
	F							
96 h	A	90	89	88	79	56	55	52
	B					15	14	12
	C	10	11	12	21	29	31	36
	D							
	E	--	--	--	--	--	--	--
	F							
	pH	6,9	7,05	7,1	7,2	7,45	7,6	7,7

Tab. 4. Utjecaj crvenog mulja na ponašanje i reagiranje vrste
Tab. 4. Der Einfluss des Rottschlammes auf das Betragen und die Reaktion der Art
Polycelis felina (Daly.)
 Za tumačenje oznaka i naziva vidi str. 212
 Die Erklärung der Markmale siehe S. 212

Trajanje eksperimenta Die Zeiträte des Experimentes	Oznake ponašanja u % Die Merkmale des Betragens in %	Konzentracija crvenog mulja mg/l Die Konzentration des Rottschlammes mg/l								
		0	10	25	50	75	100	200		
1	2	3	4	5	6	7	8	9		
1 h	A	Ponašanje kao u kontroli Das Betragen wie in Kontrolle	100	100	100	100	100	100	100	100
	B	Pojava razdraženog ponašanja Die Erscheinung des reizbaren Betragens								
	C	Postojanje reakcije na svjetlo Das Dasein der Reaktion auf das Licht								
	D	Postojanje reakcije na mehanički podražaj Das Dasein der R. auf den mechanischen Anreiz	+	+	+	+	+	+	+	+
	E	Postojanje reakcije na toplinski podražaj Das Dasein der R. auf den Warmeanreiz	+	+	+	+	+	+	+	+
	F	Pojava nepokretnog stanja Die Erscheinung des unbeweglichen Zustandes	+	+	+	+	+	+	+	+

Nastavak tab. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24 h	A	100	100	100	100	100	100	100
	B							
	C							
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F	++	++	++	++	++	++	++
48 h	A	100	97	90	97	93	90	90
	B		3	7				
	C			3	3	7	10	10
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F	++	++	++	++	++	++	++
96 h	A	97	80	67	60	44	44	44
	B	3	13	17	7			
	C	3	7-20	10-33	10-40	20-56	23-56	23-56
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F	++	++	++	++	++	++	++
	pH	8,1	8,1	8,1	8,15	8,3	8,3	8,35

Tab. 5. Utjecaj crvenog mulja na ponašanje i reagiranje vrste
Tab. 5. Der Einfluss des Rottschlammes auf das Betragen und die Reaktion der Art
Tubifex tubifex (Müll.)
 Za tumačenje oznaka i naziva vidi str. 212
 Die Erklärung der Markmale sehe S. 212

Trajanje eksperimenta Die Zeiträte des Experimentes	Oznake ponašanja u % Die Merkmale des Betragens in %	Konzentracija crvenog mulja mg/l Die Konzentration des Rottschlammes mg/l																		
		0	10	25	50	75	100	100	200											
		3	4	5	6	7	8	9												
1	2																			
1 h	A	Ponašanje kao u kontroli Das Betragen wie in Kontrolle	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	B	Pojava razdraženog ponašanja Die Erscheinung des reizbaren Betragens																		
	C	Postojanje reakcije na svjetlo Das Dasein der Reaktion auf das Licht																		
	D	Postojanje reakcije na mehanički podražaj Das Dasein der R. auf den mechanischen Anreiz	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	E	Postojanje reakcije na toplinski podražaj Das Dasein der R. auf den Warmeanreiz	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	F	Pojava nepokretnog stanja Die Erscheinung des unbeweglichen Zustandes	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

Nastavak tab. 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24 h	A	100	100	100	100	100	100	100
	B							
	C							
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	--	--	--	--	--	--	--
	F	++	++	++	++	++	++	++
48 h	A	100	100	100	100	100	100	100
	B							
	C							
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	--	--	--	--	--	--	--
	F	++	++	++	++	++	++	++
96 h	A	100	97	87	87	80	80	80
	B							
	C		3	13	13	20	20	20
	D	++	++	++	--	--	--	--
	E	--	--	--	--	--	--	--
	F	++	++	++	--	--	--	--
	pH	8,1	8,1	8,1	8,15	8,2	8,3	8,35

Nastavak tab. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24 h	A	100	100	100	100	100	100	100
	B							
	C							
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F	++	++	++	++	++	++	++
48 h	A	97	93	93	93	93	90	90
	B							
	C	3	7	7	7	7	10	10
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F	++	++	++	++	++	++	++
96 h	A	93	93	90	87	83	83	83
	B							
	C	7	7	10	13	17	17	17
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	++	++	++	++	++	++	++
	F	++	++	++	++	++	++	++
pH		8,05	8,05	8,1	8,1	8,15	8,2	8,3

Poslije 24 časa stanje je nepromijenjeno. Životinje sada češće miruju i zadržavaju se u zasjenjenim mjestima. Na toplinski podražaj reagiraju trenutačno i to neodređenim brzim hodaњem. Savijanjem tijela, prevrtanjem na leđa i nakon 1—2 sekunde ispravljenjem u prvotni položaj, reagiraju na mehanički podražaj jedinke u konc. 75, 100 i 200 mg/l. Pri nižim konc. nakon uboda ostanu mirne nešto duže (oko 60').

Nakon 48 časova reakcije i ponašanje isti su kao i dan ranije. 96 časova boravka u konc. 10, 25 i 50 mg/l ne uvjetuju nikakve razlike u ponašanju u odnosu na prethodni dan. No u konc. 75, 100 i 200 mg/l životinje miruju, rijetko se pokreću prevaljujući pri tom samo 1—2 cm; na jednokratni ubod i na toplinski podražaj reagiraju slabijim trzajem tijela i ne pomiču se s mjesta. U slučaju više uzastopnih uboda naglo trzaju tijelom i prevrću se na leđa; rad pleopoda je ubrzan a po nekoliko jedinki nalazi se pri samoj površini vode okrenuto na leđa. U kontroli nema životinja okrenutih na leđa.

Promatranjem pod binokularnom lupom primjetili smo istaložene čestice crvenog mulja na gornjoj strani tijela životinja, a isto tako i izvjesnu količinu mulja u probavnom traktu.

Gammarus fossarum K o c h

Pokus smo vršili sa 30 jedinki za svaku koncentraciju. Temperatura vode iznosila je od 6,8—7,5°C. Rezultati su prikazani na tabeli 7.

Pri postavljanju pokusa kad smo dodavali mulj za konc. od 75, 100 i 200 mg/l, zapazili smo da su za nekoliko sekundi životinje pokazivale znakove ošamućenosti (naglo se zavrte u mjestu, postave na leđa i ostanu da miruju i do 30"). Jedan sat nakon početka pokusa u kontroli, kao i u konc. 10, 25 i 50 mg/l, životinje se mirno kreću plivajući. Pri mirovanju nalaze se u položaju s leđima prema gore ili okrenute na bok. U posudama s količinom od 75, 100 i 200 mg/l nešto brže plivaju.

Na zasjenjivanje crnim papirom, tj. na smanjivanje intenziteta svjetla u posudi životinje ne reagiraju nikakvom promjenom kretnji. Nakon 24 i 48 časova nema bitno različitih znakova reagiranja od onih u kontroli, osim što je pokretanje škrga u životinja koje su boravile u konc. od 100 i 200 mg/l postalo izrazitije. U svim posudama poslije 96 sati životinje miruju, škrge ubrzano rade, a većina njih u konc. od 50, 75 i 100 mg/l pluta okrenuta na leđa. Na podražaj reagiraju sve jedinke ali nešto slabijim pokretima.

Promatranjem pod lupom i mikroskopom opaža se lagana obojenost tijela i nakupljanje veće količine čestica mulja na škrge nakon svršetka pokusa, što nam ukazuje na to da se životinja i pored ubrzanog rada škrga ne uspijeva osloboditi čestica koje se natalože na tanku kutikulu.

Utjecaj crvenog mulja na mortalitet

Ceriodaphnia quadrangula (O. F. Müller)

Mortalitet jedinki u određenom trenutku izražen je procentualno u odnosu na početni broj jedinki (100%).

Nakon jedan sat u ove vrste nije zapažena pojava mortaliteta, no već poslije 24 časa dolazi do uginuća i to u kontroli 7%, a u ostalim cilindrima od 11—44%. Poslije 48 časova postotak uginulih jedinki iznosi od 40—80. Tu se opaža izrazitiji mortalitet pri konc. od 75 mg/l mulja i to u iznosu od 69%, tj. prvi put više od 50% životinja ugiba. U koncentraciji od 200 mg/l postotak uginulih iznosi 80.

Na svršetku pokusa u kontroli je bilo 39% uginulih jedinki, a u ostalim cilindrima od 52—88%. Dobiveni rezultati prikazani su na tabeli 8.

Megacyclops viridis (J u r.)

Prvu pojavu mortaliteta u ove vrste zapazili smo nakon 24 časa i to u kontroli i konc. od 10 mg/l tek kod 3% jedinki, dok se u ostalim koncentracijama taj postotak kretao od 7—20. Poslije 48 časova mortalitet se kretao od 7—28% sa znatnijim porastom u konc. 75, 100 i 200 mg/l.

Na kraju pokusa broj uginulih jedinki u kontroli bio je 10%, dok se u ostalim upotrijebljenim koncentracijama kretao od 11—36%. Rezultati su prikazani na tabeli 8.

Polycelis felina (D a l y)

Kod ove vrste tek nakon 96 časova ugiba 3% jedinki u kontroli. Premda se simptomi štetnog djelovanja mulja javljaju već poslije 24 časa, do mortaliteta dolazi nakon 48 časova pri konc. od 25 mg/l u 3% jedinki da bi pri konc. od 75 mg/l dosegao vrijednost od 7%. Pri konc. 100 i 200 mg/l iznosio je 10%. Nakon 96 časova u svim posudama mortalitet se javlja od 7—23%. Rezultati su prikazani na tabeli 8.

Asellus aquaticus L.

U ove vrste mortalitet se javlja prvi put nakon 48 časova i to kod 3% jedinki u kontroli, a od 7—10% pri ostalim koncentracijama. Nakon 96 časova postotak uginulih životinja u kontroli iznosi 7, pri konc. od 10—50 mg/l kreće se od 7—13, da bi u posljednje tri konc. iznosio 17.

Dobiveni rezultati prikazani su na tabeli 8.

Gammarus fossarum K o c h

Prvu pojavu uginuća životinja, a time i pojavu štetnog djelovanja crvenog mulja, opazili smo nakon 24 časa pri konc. od 100 i 200 mg/l, gdje je mortalitet iznosio 3%. Nakon 48 časova u kontroli je mortalitet iznosio 7%, a u ostalim posudama od 7—13%. Poslije 96 časova postotak mortaliteta u kontroli je nepromijenjen dok pri ostalim koncentracijama iznosi od 10—23%.

Rezultati su prikazani na tabeli 8.

Tab. 7. Utjecaj crvenog mulja na ponašanje i reagiranje vrste

Gammarus fossarum (Koch)
 Za tumačenje oznaka i naziva vidi str. 212
 Die Erklärung der Markmale sehe Seite 212

Za tumačenje oznaka i naziva vidi str. 212
Die Erklärung der Markmale sehe Seite 212

Tab. 7. Der Einfluss des Rottschlammes auf das Betragen und die Reaktion der Art

Trajanje eksperimenta Die Zeiträte des Experimentes	Oznake ponašanja u % Die Merkmale des Betragens in %	Konzentracija crvenog mulja mg/l Die Konzentration des Rottschlammes mg/l										
		0	10	25	50	75	100	200				
1	2	3	4	5	6	7	8	9				
1 h	A	Ponašanje kao u kontroli Das Betragen wie in Kontrolle	100	100	100	100						
	B	Pojava razdraženog ponašanja Die Erscheinung des reizbaren Betragens					70	70	70			70
	C	Postojanje reakcija na svjetlo Das Dasein der Reaktion auf das Licht										
	D	Postojanje reakcije na mehanički podražaj Das Dasein der R. auf den mechanischen Anreiz	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	E	Postojanje reakcije na toplinski podražaj Das Dasein der R. auf den Warmeanreiz	— +	— +	— +	— +	— +	— +	— +	— +	— +	— +
	F	Pojava nepokretnog stanja Die Erscheinung des unbeweglichen Zustandes	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++

Nastavak tab. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24 h	A	100	100	100	100	100	97	97
	B							
	C						3	3
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	-+	-+	-+	-+	-+	-+	-+
	F	++	++	++	++	++	++	++
48 h	A	93	93	93	90	90	90	87
	B							
	C	7	7	7	10	10	10	13
	D	++	++	++	++	++	++	++
	E	-+	-+	-+	-+	-+	-+	-+
	F	++	++	++	++	++	++	++
96 h	A	93	90	80	17-30	17-30	17-30	17-30
	B				46-50	46-50	46-50	46-50
	C	7	10	20	23	23	23	23
	D	++	++	++	++	-+	-+	-+
	E	-+	-+	-+	-+	-+	-+	-+
	F	++	++	++	++	++	++	++
	pH	8,05	8,05	8,1	8,1	8,15	8,2	8,3

Tab. 8. Procentualni mortalitet pojedinih vrsta tijekom 96 sati u različitim koncentracijama crvenog mulja
 Tab. 8. Die prozentuale Mortalität einzelnen Arten in verschiedenen Konzentrationen des Rottschlammes im Laufe von 96 Stunden

Vrste Arten	Ceriodaphnia quadrangula	Megacyclops viridis	Polycelis felina	Tubifex tubifex	Asellus aquaticus	Gammarus fossarum						
konc. c. m. mg/l	Konzentration des Rottschlammes mg/l											
	10 25 50 75 100 200 K	10 25 50 75 100 200K	10 25 50 75 100 200K	10 25 50 75 100 200K	10 25 50 75 100 200K	10 25 50 75 100 200K						
1 h	— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —						
24 h	11 14 18 28 39 44 7	3 4 9 13 17 20 3	— — — — —	— — — — —	— — — — —	— — — — —						
48 h	40 41 45 69 71 80 27	7 9 12 18 25 28 6	3 3 7 10 10 —	— — — — —	7 7 7 10 10 3	7 7 10 10 13 7						
96 h	52 58 60 79 84 88 39	11 12 21 29 31 36 10	7 10 10 20 23 23 3	3 13 13 20 20 20 —	7 10 13 17 17 7	10 20 23 23 23 7						

— nema simptoma toksičnog djelovanja
 — keine Merkmale der toxischen Wirkung
 + postoje simptomi toksičnog djelovanja
 + die Merkmale der toxischen Wirkung wurden konstatiert

DISKUSIJA

Na kraju ovog rada htjeli bismo se ukratko osvrnuti na rezultate koje smo dobili mjerenjem i zapažanjem. Ujedno želimo napomenuti da nam je najveću poteškoću u pisanju i izradi predstavljao nedostatak informacija i podataka s područja istraživanja problematike onečišćenja kopnenih voda otpadnim tvarima aluminijskih kombinata.

U svijetu i kod nas ispitivao se, i ispituje se, utjecaj otpadnih tvari raznih drugih industrijskih postrojenja na prijamnike. Neka istraživanja i promatranja o djelovanju otpadnih voda Aluminijskog kombinata — Titograd vršili su na licu mjesta suradnici Republičkog zavoda za zaštitu prirode Crne Gore tijekom 1973/74. godine. No, osim toga, nisu vršena posebna ispitivanja o utjecaju samog crvenog mulja na onečišćenje vodenih biotopa.

Iz kvalitativne i kvantitativne kemijske analize crvenog mulja vidimo da su njegove sastavne komponente pretežno u vodi netopivi ili teško topivi oksidi. Značajnija je svakako količina topljivih oksida i to Na_2O u iznosu 8,2—10,2% i K_2O u iznosu od 0,4—0,6%. Upravo bi kationi ovih oksida mogli predstavljati štetnu komponentu. Time se svakako ne isključuje mogućnost da i ostali kationi, naročito oksidi metala, djeluju toksično ako se nađu u pogodnoj sredini koja će uvjetovati njihovu topljivost.

Ispitivani mulj utječe na promjenu koncentracije vodikovih iona u smislu povećavanja pH-vrijednosti. Iz dobivenih rezultata vidimo da ta promjena ovisi o koncentraciji mulja, tj. pri konc. od 2 686 mg/l pH-vrijednost poraste 1,25 od početne. Iako te promjene nisu velike obzirom na visoku koncentraciju koja je potrebna da se postignu, ipak one mogu, zajedno s ostalim faktorima, znatnije djelovati na organizme koji naseljuju vode u prirodi čija je ionska reakcija slabo kisela i neutralna.

Zbog značaja svjetlosti za opstanak živih bića (fotosinteza, orijentacija) vrijedni su pažnje rezultati koje smo dobili u pokusu 2.3.

Mjerenjem apsorpcije svjetla u utopinama crvenog mulja različite koncentracije (100, 500, 1 000 i 2 000 mg/l) dobili smo rezultate iz kojih se vidi da otopina mulja najjače apsorbira plave zrake valne dužine 405 m μ koje su ujedno najkraće zrake od upotrijebljenih. Isto tako, jače apsorbira zelene od crvenih zraka. Pošto su mjerenja vršena u različitim intervalima iz rezultata se vidi i to da apsorpcija ovisi o brzini sedimentacije čestica, tj. najjača je prvih 30' nakon ispuštanja mulja u vodu. U tom razdoblju može biti apsorbirano čak 50—60% svjetlosti. Činjenica da se najjače apsorbiraju zrake kraće valne dužine značajna je, jer upravo te zrake najdublje prodiru kroz vodeni sloj te se njihovom apsorpcijom smanjuje količina svjetlosti a time i količina energije dostupne organizmima na pojedinim dubinama.

Za ovakvu apsorpciju svjetla svakako je presudna kemijska konstitucija sastavnih komponenti crvenog mulja.

Rezultati pokusa iznjeti u poglavlju 3.2 odnose se na utjecaj crvenog mulja na produkciju kisika zelene alge *Chlorella vulgaris* B e y e r. Dobiveni podaci ukazuju da mulj tijekom 48 časova djeluje inhibicijski na simulaciju navedenog test-organizma. To djelovanje ispoljava se smanjivanjem vrijednosti

produkcije kisika ili PPK₄₈ u odnosu na kontrolu za sve konc. ispitivane tvari (5, 10, 25, 50, 75, 100 mg/l).

Vidimo da crveni mulj smanjuje postotak produkcije kisika ispitivanog producenta čak preko 50% pri konc. od 100 mg/l. Taj podatak je bitan jer u slučaju intenzivnijeg opterećenja voda otpadnim tvarima takvo smanjivanje aeracije može štetno djelovati na procese razgradnje organskih tvari.

Slijedeća diskusija odnosi se na rezultate poglavlja 3.3 koji ukazuju na stupanj štetnog djelovanja mulja u odnosu na preživljavanje ispitanih vrsta i na osjetljivost životinja koja se izražava u promjeni oblika ponašanja i načina reagiranja na neke podražaje (mehanički, svjetlosni, toplinski). Iz dobivenih podataka utvrdili smo slijedeće: prvi znaci štetnog djelovanja crvenog mulja javljaju se poslije jednog sata i to pri višim koncentracijama (75, 100 i 200 mg/l) kod vrsta *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. Müller), *Megacyclops viridis* (Jur.) i *Polycelis felina* (Daly). Kod vrsta *Asellus aquaticus* L. i *Gammarus fossarum* Koch djelovanje se manifestira tijekom naredna 24 časa dok vrsta *Tubifex* (Müller) reagira tek nakon 48 časova.

Na svjetlosni podražaj izazvan zatamnjenjem crnim fotografskim papirom reagiraju za sve vrijeme pokusa pozitivno fototaksična *C. quadrangula* i negativno fototaksične *P. felina* i *A. aquaticus*, dok preostale vrste uopće ne reagiraju. Svi bentoski organizmi na koje je primijenjen toplinski podražaj reagiraju na njega bježeći od izvora toplina, a i ta se reakcija ispoljava gotovo nesmanjenim intenzitetom tijekom 96 časova, koliko je trajao pokus. Promatranjem reakcija životinja na mehanički podražaj zapazili smo da upravo ove vrste koje su osjetljivije na djelovanje crvenog mulja pokazuju i slabiju reakciju na ovaj podražaj. Dok vrsta *Tubifex* (Müller) reagira nepromijenjeno i u najvećoj konc. od 200 mg/l, dotle se u vrsta *P. felina* i *G. fossarum*, unatoč njihovoj različitoj sistematskoj pripadnosti, zapaža podudarnost koja se očituje u postepenom slabljenju reagiranja pri povećavanju količine mulja u posudama.

Rezultati pokusa izvršenih radi promatranja utjecaja crvenog mulja na mortalitet životinja ukazuju na slijedeće: od 6 ispitivanih vrsta najosjetljivijom se pokazala planktonska vrsta *C. quadrangula* u koje se prvi znaci mortaliteta zapažaju već nakon 24 časa, a pri konc. od 200 mg/l njegov postotak iznosi čak 44. Nakon 24 časa prvi znaci uginuća javljaju se i u vrste *M. viridis*, ali tu postotak nije tako visok (i nakon 96 časova 36 pri najvećoj koncentraciji). Ovako visok mortalitet koji se manifestira i pri nižim konc. opravdava indikatorsku ulogu ovih dviju vrsta u kseno- i oligosaprobnim vodama.

U vrste *G. fossarum* mortalitet prvi se put javlja nakon 24 časa pri konc. 100 i 200 mg/l i to u 3% jedinki, da bi postepeno rastao i nakon 96 časova iznosio 23% prema 7% u kontroli. Ovdje svakako treba spomenuti mogućnost mehaničkog oštećenja tanke kutikule na lističastim škrgama ove vrste pomoću nataloženih čestica mulja, što bi utjecalo da se smanjuje respiracijska površina, a s tim u vezi i da se povećava mortalitet.

Vrste *P. felina* i *A. aquaticus* pokazuju prve znakove mortaliteta nakon 48 časova i to 3% i 7% već pri konc. od 25 mg/l. Najveću otpornost pokazala je vrsta *T. tubifex*, koja je inače indikator polisaprobne zone. Njena otpornost očituje se za sve vrijeme pokusa da bi se tek na kraju manifestiralo uginuće životinja i to kod 20% jedinki pri konc. 75, 100 i 200 mg/l. (tab. 8).

Na kraju želimo naglasiti da su sva zapažanja i konstatacije nastali na osnovu rezultata laboratorijskih ispitivanja, što treba uzeti u obzir jer se time u nizu faktora odstupa od onih koji se nalaze u prirodnom staništu životinja. Stoga navedena zapažanja mogu biti prije svega preliminarna za dalja istraživanja.

ZAKLJUČAK

U svom sastavu crveni mulj nema spojeva koji su lako topljivi u vodi (izuzev Na_2O i K_2O) i čiji bi elementi u malim količinama bili toksični.

Crveni mulj djeluje već pri količini od 20 mg/l da se povećava pH-vrijednost vodenog medija i to povećanje lagano prati porast koncentracije mulja.

Vodena otopina ispitivane tvari najjače apsorbira najprodornije svjetlosne zrake od upotrijebljenih, a to su plave zrake 405. Količina apsorbirane svjetlosti ovisi o brzini sedimentacije čestica i najveća je nakon 30', kada iznosi i do 60% upadne svjetlosti. Sedimentacija je izrazita i nakon 60' kada se istaloži više od 50% čestica, dok nakon 150' taj postotak iznosi 90, čime se za toliko smanjuje i utjecaj mulja na apsorpciju svjetlosti.

Djelovanje crvenog mulja na asimilaciju zelene alge *Chlorella vulgaris* B e y e r, negativno je, tj. on smanjuje produkciju kisika ili PPK_{48} već pri malim koncentracijama od 5 mg/l, da bi u konc. od 100 mg/l smanjio asimilaciju i preko 57%.

Utjecaj ispitivane tvari na promjenu ponašanja i reagiranja na mehanički, svjetlosni i toplinski podražaj u koncentracijama 10, 25, 50, 75, 100 i 200 mg/l manifestirao se u svih ispitivanih vrsta životinja. Promjene su vidljive naročito u početku postavljanja pokusa (kada uvjetuju razdraženost životinja) i nakon 48 časova, kada se pokretljivost životinja smanjuje, a i reakcije na podražaj bivaju smanjene, tj. usporene.

Najosjetljivije, s obzirom na ponašanje, pokazale su se vrste *Polycelis felina* (D a l y) i *Gammarus fossarum* K o c h, a najmanje je osjetljiva vrsta *Tubifex tubifex* (M ü l l.), indikator polisaprobne zone.

Najveći postotak mortaliteta uočava se u planktonskih vrsta i to već nakon 24 časa, a najosjetljivija je *Ceriodaphnia quadrangula* (O. F. M ü l l e r) koja je indikator oligosaprobne zone. Od bentoskih organizama veći postotak mortaliteta imale su vrste *P. felina* i *G. fossarum*, nešto je manji bio u *T. tubifex*, a najmanji u *A. aquaticus*. Postotak mortaliteta, osim u vrste *C. quadrangula*, nije iznosio više od 40 ni nakon 96 časova pokusa.

Rezimirajući do sada prikazano možemo zaključiti da crveni mulj po svojem utjecaju na organizme koji naseljavaju tekuće vode pripada tvarima sa slabijim djelovanjem. Njegov štetni efekat očituje se izrazitije tek pri višim koncentracijama (75, 100 i 200 mg/l) premda bi u slučaju ispuštanja veće količine u vode prijamnika taj efekat svakako bio izrazitiji.

Djelovanje ispitivanog mulja na vode Morače bilo bi najizrazitije upravo na mjestu gdje iz kanala ulaze u rijeku otpadne vode Aluminijskog kombinata, da bi se nizvodno postepeno taj utjecaj smanjivao zbog relativno brze sedimentacije čestica.

Velika količina mulja, premda i povremeno ispuštana u rijeku, remeti bi, uz ostale ekološke faktore, ravnotežu biotopa kopnenih voda.

LITERATURA

- Brauer, A. (1969): Die Süßwasserfauna Deutschlands (edición). Verlag Von J. Cramer, Weiheim.
- Breitig, G. et al. (1970): Ausgewählte Methoden der Wasseruntersuchung Bd. II. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Habdija, I. (1974): Djelovanje sastavnih komponenti detergenata na ponašanje, mortalitet i oštećenja škrga ličinki vrsta *Rhyacophila fasciata* Hag. (Trichoptera).
- Habdija, I. i Stilinović, B. (1973): Prilog poznavanju biološke kvalitete vode na temelju eksperimentalno-fizičkih metoda. *Ekologija*, 2, 232—336.
- Illies, J. (1967): Limnofauna Europea. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Kaminski, A. (1966): Nachweis und quantitative Bestimmung von Spuren der Insektiziden im Wasser mittels toxikodynamischen Asellus-Testes. Verh. Internat. Verein. Limnol. 16, 969—978.
- Knöpp, H. (1968): Stoffwechseldynamische Untersuchungsverfahren für die biologische Wasseranalyse. Int. Revue ges. Hydrobiol. 53, 3, 409—441.
- Lattinger-Penko, R. (1968): Prilog biologiji vrste *Stenasellus hungaricus thermalis* Meštrov (Crustacea, Isopoda), (magistarski rad).
- Liebmann, H. (1962): Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie Bd. 1. R. Oldenburg. München, 134.
- Matonićkin, I. i Pavletić, Z. (1972): Život naših rijeka. Školska knjiga, Zagreb.
- Müller, D. et Knöpp, H. (1971): Zur Messung der Primärproduktion und der biogenen Belüftung in Fließgewässern. Int. Revue ges. Hydrobiol. 56, 1, 41—67.
- Sladeček, V. (1973): System of Water Quality from the Biological Point of View. Arch. Hydrobiol., Stuttgart, 1973.
- Žunjić, K. (1974): Pooštriti mjere protiv zagađivanja (članak) „Aluminijum“ br. 21, Titograd.

Ivan HABDIJA und Suzana STANKOVSKI

DER EINFLUSS VOM ABWASSER DER ALUMINIUMINDUSTRIE AUF DIE LEBENSAKTIVITÄT EINER ORGANISMEN DES PLANKTONS UND BENTOS

Zusammenfassung

Der Rottschlamm schon in Konzentration von 20 mg/l vergrößert den pH-Wert und diese Vergrößerung ist je größer desto die Konzentrationen höher wurden.

In Beziehung zu der Adsorption, die Suspension des Rottschlammes adsorbiert am besten den blauen Rang des Spektrums.

Die Sedimentation des Rottschlammes läuft sehr schnell und schon nach 60 Minuten beträgt sie um 50%.

Die Untersuchungen über die Wirkung des Rottschlammes auf die Assimilation der Grünalge *Chlorella vulgaris* zeigte, dass die Assimilationsintensität steigt schon bei

Konzentration von 5 mg/l ab. Die Assimilation wurde in Konzentration des Rottschlammes von 100 mg/l für 57% niedriger als in Kontrolle (die Kontrolle war BSB-Wasser).

Der Einfluss des Rottschlammes in Konzentrationen von 10, 25, 50, 75, 100 und 200 mg/l wurde auf das Betragen und Reaktionen die durch mechanischen, termischen Anreiz und Lichtanreiz induziert wurden, untersucht.

Der Einfluss manifestiert sich durch die Veränderung im Betragen bei allen untersuchten Arten: *Ceriodaphnia quadrangula*, *Megacyclops viridis*, *Polycelis felina*, *Tubifex tubifex*, *Asellus aquaticus* und *Gammarus fossarum*. Die Veränderungen beträchtlich das Betragen und Reaktionen wurden besonders bemerkbar am Anfang der Experimenten und später nach 48 Stunden wurden die Veränderungen etwas schwächer ausgeprägt.

Besonders, ausgeprägte Empfindlichkeit des Betragens unter den Einfluss des Rottschlammes haben die Arten *Polycelis felina* und *Gammarus fossarum* gezeigt. Andererseits, der Art *Tubifex tubifex* stellt sich als sehr geringes empfindliches Organismus. heraus.

Die planktonischen Arten zeigten das grössten Prozent der Mortalität schon nach 24 Stunden. Von den bentischen Arten wurde das grössten Prozent der Mortalität bei *Polycelis felina* und *Gammarus fossarum* festgestellt. Niedrigere Mortalität hatte *Tubifex tubifex* und die niedrigste Mortalität wurde bei den Art *Asellus aquaticus* konstatiert.

Wenn wir die Ergebnisse resümieren versuchen, schliessen wir, dass Rottschlamm zu den Substanzen mit schwächeren toxischen Wirkung gehört.

