

Dr. Ing. Ivan Balzer:

OTPADNE VODE

METODE PROČIŠĆAVANJA OTPADNIH VODA

1. Uvod

U jednom od ranijih radova na ovom mjestu (Balzer) bile su obrađene analitičke metode određivanja zagađenja otpadnih voda. Ovaj rad, koji je nastavak spomenutoga, treba da obradi metode pročišćavanja otpadnih voda, problem koji iz dana u dan postaje, ne samo u našoj zemlji, nego svugdje tamo gdje dolazi do brzog razvoja industrije, sve akutniji.

Stepen onečišćenja pojedinih naših vodenih tokova upuštanjem nepročišćenih otpadnih voda industrije i gradova, poprimio je danas već zabrinjavajuće razmjere.

Postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda nisu nastajala istodobno sa izgradnjom naše poslijeratne industrije, pa su se onečišćenja vodenih tokova povećavala uporedo sa razvojem industrije. Greške, koje su na taj način nastale, potrebno je sada što prije ispraviti. Postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda zahtijevaju često puta znatne investicije, koje će industrija vrlo nerado ulagati. No održavanje čistoće nadzemnih i podzemnih voda nije samo u interesu općeg dobra, nego je to temelj problema »voda kao sirovina«. Njezina se količina i kvaliteta ne može, nažalost, po volji umnožavati i poboljšavati. Nema tome dugo, da, kraj relativno malenog broja gradskog stanovništva i nerazvijene industrije, opskrba vodom nije predstavlja problem. Danas je situacija posve drugačija. Problem opskrbe gradova i industrija zadaje već nemale glavobolje. Ponekad se voda mora dovoditi vrlo skupocjenim sistemom cijevovoda, a ponajčešće, jedini izvor vode i za industriju i za piće je sam vodeni tok. Ne gledajući samo sa tog stanovišta na uporabnu vrijednost vodenog toka, on je od važnosti nadalje i za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta, te za napajanje stoke. Voda za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta ne bi smjela sadržavati više od 700 mg/l klorida, jer veće količine biljka ne podnosi.

Sa stanovišta ribarstva, čistoća je vodenih tokova od najvećeg značaja. Pređe li onečišćenje jedan izvjestan stupanj, tada se može očekivati nepovoljan utjecaj na život organizama u vodi. To može biti ili radi pomanjkanja kisika, ili radi toksičnog djelovanja nekih sastojaka u vodi. U težim sluča-

jevima gornje pojave mogu dovesti do djelomičnog ili potpunog uništenja flore i faune u vodi. Sa stanovišta ribarstva otpadne vode su uvijek štetne. U bilo kojem smjeru one su morale nepovoljno uticati na fizikalne, fizikalno-kemijske, kemijske i biološke procese u vodenom toku. Osjetljivost pojedinih vrsta riba na sadržaj vode na kisiku, pa i na druge toksične supstance, je vrlo različita. Šaran može živjeti u vodi izrazito siromašnoj na kisiku. Pastrva, naprotiv, vrlo je osjetljiva na koncentraciju kisika u vodi. Živi samo u takovim vodama, koje su vrlo bogate na kisiku.

I sa stanovišta riječnog prometa i hidroelektrana važno je, da se otpadne vode pročišćavaju. Štetno, korodivno djelovanje otpadnih voda utječe na plovne objekte, betonske konstrukcije, dovodne i odvodne cijevi, turbine, itd.

Za rekreaciju ljudi zagađen vodeni tok je, također, neuporabiv. Na čistoću vodenog toka, ako služi za kupanje i vodene sportove, postavljaju se relativno veliki zahtjevi. Za te svrhe traži se da voda mora biti čista, bez boje i mirisa, nesmiije sadržavati štetne mikroorganizme, uzročnike raznih bolesti. Na dnu vodenog toka nesmiiju se stvarati mulj-nati talozi.

Svaki projekt o tehničkoj upotrebi vode trebao bi biti izveden tako, da u konačnom planu ima pred sobom sliku kružnog ciklusa vode. Pod tim treba razumijevati upotrebnu svrhu voda vodenog toka nakon ispuštanja otpadnih voda u taj vodeni tok. Gradovi, a također i industrija, uključeni su u taj kružni ciklus. Svaki grad i industrija, koja se opskrbljuje riječnom vodom, nalazi se u tom kružnom ciklusu. Ne može se zapriječiti da voda za piće ili industrijska voda iz vodenog toka ne sadrže manje ili veće količine nepoželjnih sastojaka otpadnih voda. U godinama prije rata nije se o tome mnogo govorilo, jer je kraj nerazvijene industrije i malobrojnog gradskog stanovništva, količina otpadnih voda u vodenim tokovima bila zanemarivana.

Kod kružnog toka jedan se dio vode gubi. Koliko će taj gubitak iznositi ovisi o njevoj upotrebi. Ako se voda upotrebljava za natapanje zemljišta, onda je taj gubitak 100%, a ako se voda upotrebljava samo za hlađenje, taj gubitak je tada neznatan.

Kada, dakle, vodeni tok služi i za opskrbu i za odvođenje otpadnih voda, tada je kod takovih »industrijskih« rijeka svaka pojedina industrija obavezana, da u vodeni tok uvedi pročišćenu otpadnu vodu. U gusto naseljenim i jakim industrijskim zemljama održavanje čistoće otpadne vode dobrim postrojenjima za pročišćavanje je garancija, da će stanovništvo, a i industrija, biti opskrbljeni sigurno i jeftino kvalitetnom vodom.

Kod kružnog se toka, ipak, ne može izbjeći povišeni sadržaj na topivim solima. Radi toga i dolazi do povećane korozije cijevovoda i aparatura u industrijskim postrojenjima, do povećanog rasta algi i nižeg bilja, a usljed toga, kao neugodna posljedica, do začepljenja vodova, itd.

U našoj je zemlji taj kružni ciklus vode pogodio u mjesecu novembru i decembru 1958 g. Beograd. Postojala je opasnost, da taj grad ostane bez pitke vode, jer se je u rijeci Savi (iz koje dobiva Beograd pitku vodu) pojavio fenol i njegovi derivati, koji su kloriranjem pročišćene riječne vode (provodi se radi sterilizacije) dali vodi takav okus, da je ona bila praktično neupotrebljiva za piće. Tome su bile, dakako, uzrok nepročišćene industrijske otpadne vode.

Svaki vodeni tok predstavlja u stvari jedno postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda. Brze, hladne i male riječice imaju veću sposobnost samoprečišćavanja od sporih, toplih i velikih rijeka. Procesi, koji se tu odigravaju, su biokemijski procesi, a u njima sudjeluju i biljni i životinjski mikroorganizmi. Ti procesi će biti to brži, što je brže dovođenje kisika, pa će radi toga, kako je već i rečeno, brza gorska rijeka imati daleko veću sposobnost samoprečišćavanja od spore nizinske rijeke, a pogotovo od jezera. Onečišćenje, koje provodi neka otpadna voda, ovisi ne samo o stepenu zagađenja i o već spomenutim drugim faktorima, nego i o vodostaju vodenog toka. Utjecaj nepročišćenih otpadnih voda biti će u vodenom toku najnepovoljniji kod ekstremno niskog vodostaja.

Pročišćavanje otpadnih voda je od punog značenja za čitavu ekonomsku zajednicu onih, koji žive uz vodeni tok ili ga na bilo koji način upotrebljavaju. Sa uskih, lokalističkih gledanja čini se, da je postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda nepotrebno. Vrijednost i korisnost tog postrojenja može se procijeniti samo sa jednog šireg ekonomskog aspekta. Iako su do sada činjeni u tom pravcu mnogi propusti, vrijeme je, da se odlučno i rigorozno pristupi rješavanju tog problema. Greške, koje bi se eventualno sada učinile, mogle bi skupo stati zajednici.

O količini otpadnih voda, njihovom karakteru, te o traženom stepenu pročišćavanja ovisi koji će se i kakav način pročišćavanja otpadnih voda upotrebiti. Efekat postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda dan je najbolje 1. pomoću testa BPK₅ (biološka potreba kisika), 2. sadržaja na suspendiranim krutim tvarima i 3. na osnovu broja mikroorganizama (bakterija) u jedinici volumena vode. Prema Imhoffu i Fairu efekat pojedinih načina pročišćavanja dan je u tabeli 1.

Tabela 1.

Postupak pročišćavanja	Test BPK ₅₋₂₀	Suspendirane krute tvari	Bakterije
1. Fino rešetanje	5—10	2—20	10—20
2. Kloriranje	15—30	—	90—95
3. Sedimentiranje u bazenima	25—40	40—70	25—75
4. Taloženje (kemijsko)	50—85	70—90	40—80
5. Pomoću prokapnika	65—95	65—95	80—95
6. Pomoću aktivnog mulja	65—95	65—95	80—95
7. Diskontinuiranom filtracijom preko pijeska	90—95	85—95	95—98
8. Kloriranje nakon biološkog pročišćavanja	—	—	98—99

2. Pročišćavanje otpadnih voda od tvari malih specifičnih težina grabljama, rešetima, flotacijom

Ako u otpadnim vodama dolaze tvari, koje su suspendirane ili plivaju, a većih su dimenzija, tada one mogu biti odstranjene:

- a) grabljama,
- b) rešetima,
- c) flotiranjem.

U postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda grablje imaju zadatak, prije svega, ukloniti bezvrijedne otpatke, koji bi mogli oštetiti pumpe u daljnjem pogonu. Širina grabalja kreće se između 2 do 5 cm. Pročišćavanje grabalja vrši se ručno ili mehanički. Ručno pročišćavanje dolazi, dakako, u obzir kod malih pogona, mehaničko kod velikih. Na mjesto grablji za pročišćavanje upotrebljava se dosta često i rešeto. Ono će naročito tamo naći primjenu, gdje otpadne vode sadrže relativno male količine netopivih krutih tvari. Preporučljivo je, da se fina rešeta upotrebe za takvu otpadnu vodu, koja će se iza toga podvrgnuti kloriranju.

Ulja, masti i tvari lakše od vode normalno će isplivati na mirnu površinu vode i od tuda će moći biti uklonjene ili ručno ili mehanički. No, ukoliko se u vodi nalaze neke tvari, koje su pretežno spojevi dušika ili sumpora ili neka sredstva, koja prave stabilnu pjenu, kao ulja, masti i smole — flotaciona sredstva, tada će one omogućiti dizanje na površinu uz pomoć mjehurića zraka — flotaciju — i čestica težih od vode, te na taj način omogućiti njihovo uklanjanje iz otpadnih voda. Taj način pročišćavanja se provodi ili zbog korištenja tih otpadnih čestica ili zbog pročišćavanja otpadnih voda. Flotacija je inače našla najširu primjenu u rudarstvu, specijalno za obogaćivanje — flotiranje — ruda na stanovitim mineralima.

Istodobno sa pročišćavanjem otpadnih voda, tim načinom moguće je dobiti i relativno znatne količine ulja ili masti. Njihova tehnička upotreba ne dolazi u obzir kod gradskih otpadnih voda, zbog suviše velikog onečišćenja i relativno neznatnih količina, u kojima se javljaju no u nekim industrijskim otpadnim vodama one su od naročitog značenja (rafinerije nafte, klaonice, itd.).

3. Sedimentacija

Najveći dio suhih tvari, suspendiranih u gradskim i industrijskim otpadnim vodama, suviše su sitne, da bi mogle biti uklonjene pomoću sita i preteške, da bi se mogle odstraniti flotacijom. Ali, pretežni njihov dio sedimentirati će onda, kada će brzina protoka otpadnih voda biti dovoljno smanjena. Proces sedimentacije upotrebljava se u taložnicama raznih oblika i dimenzija. Taložnice, koje se najčešće nalaze u industrijskim i gradskim postrojenjima za pročišćavanje otpadnih voda, jesu:

1. taložnice za uklanjanje teških mineralnih čestica, pijeska, šljake, ugljena, itd.),

2. taložnice za uklanjanje relativno laganih suspendiranih čestica. Brzina protoka u tim bazenima biti će, dakako, znanto manja od brzine protoka u prethodnoj taložnici,

3. taložnice za uklanjanje taloga, koji su nastali biološkim ili kemijskim tretmanom otpadnih voda.

Ako je do uklanjanja suspendiranih tvari iz otpadnih voda došlo taloženjem, tada se govori i o čistoj sedimentaciji. Ako su u otpadnu vodu zbog pročišćavanja dodane kemikalije, koje su ubrzale ili povećale taloženje (flokulaciju), tada se taj proces zove kemijska precipitacija.

Otpadne vode sadrže i granularne i flokularne suspendirane čestice. Granularne suspenzije sastoje se iz odjelitih čestica, koje se talože nezavisno jedna od druge uz konstantnu brzinu. Flokularno suspendirane čestice su sastavljene čestice, koje vremenom čine sve veće mase i flokule, pa se onda te i brže sedimentiraju. Pijesak je primjer za granularnu suspenziju, aluminijev i željezni hidroksid za flokularnu.

Određivanje dimenzija taložnica za granularnu suspenziju osniva se na fizikalnim zakonima za brzine taloženja i empirijski dobivenim veličinama. Iz toga slijedi, da je površina taložnice dana relacijom.

$$\text{Površina u m}^2 = \frac{\text{količina protoke otpadne vode u m}^3/\text{h}}{\text{najmanja brzina taloženja u m/h}}$$

Pod najmanjom brzinom taloženja podrazumijeva se brzina, koju imaju najmanje i najlakše čestice, koje će se u jednom izvjesnom vremenskom intervalu istaložiti na dno neke taložnice. Do tog podatka dolazi se pomoću odgovarajućeg staklenog cilindra (Imhoffovog cilindra), standardiziranog za ta istraživanja. Količina otpadne vode, koja je prošla u jedinici vremena kroz taložnicu, označava se kao opterećenje taložnice, a dana je izrazom:

$$\text{Površinsko opterećenje taložnice (m}^3/\text{m}^2\text{h)} = \text{najmanja brzina taloženja u m/h.}$$

Najmanja brzina taloženja dobiva se pokusom pomoću Imhoffovog staklenog cilindra visine 40 cm, dana je, dakako, u m/h.

Primjer: Ispitivanjem brzine sedimentacije otpadne vode rudnika ugljena na osnovu oglada u staklenom Imhoffovom cilindru visine 0.4 m i količine taloga ustanovljeno je, da potrebno taloženje traje 4 sata. Dakle, taloženjem se želi ukloniti još

i one čestice koje imaju brzinu taloženja $0.4 : 4 = 0.1$ m/h najmanja brzina taloženja. A kod protoka vode od 36 m³/h:

$$\text{Površina taložnice} = 36 : 0.1 = 360 \text{ m}^2.$$

Što se tiče dubine taložnice, ona kako je vidljivo iz gornjih navoda, ne ulazi u račun. Prema tome je svakako pogrešno i nesvrshodno graditi duboke taložnice. Najpovoljnije je, dakako, kod istog volumena da taložnice imaju što veću površinu, dakle, da budu pliće.

Brzina protoka je za taložnicu posvema irelevantna dok ona ne pređe neku dozvoljenu graničnu brzinu, koja iznosi cca 50 mm/s. S tog razloga, da ne bi brzina protoka bila prevelika, dana je također i dimenzija visine taložnice, koja iznosi:

$$\text{Presjek (m}^2) = \frac{\text{Koločina vode (m}^3/\text{s)}}{\text{Brzina protoka}}$$

U nekim slučajevima, kada taložnice imaju zadatak da love i prečišćavaju pijesak od organske tvari, tada je brzina protoka zadana i iznosi 0.3 m/s.

Mnogo je kompliciraniji slučaj određivanja dimenzija taložnica kad mjesto granularnog taloga dolazi pretežno flokularna suspenzija, kao što će to biti kod otpadnih voda prehrambenih industrijskih pogona, kožara i mnogih kemijskih industrija. U ovom slučaju je od važnosti dubina (visina) taložnice. Flokularna suspenzija sakuplja se u veće mase, a djelomično i granulira za vrijeme prolaza kroz taložnicu. Brzina taloženja raste sa povećanjem dubine taložnice. No treba upozoriti na to, da je vrlo teško kod takvih materija odrediti brzinu taloženja, jer se ona stalno mijenja. Ne može se dakle zadovoljiti time, da se kod određivanja dimenzija taložnica fiksira samo površina taložnice. Kod takvih taložnica potrebno će biti, osim površine, zadati i visinu (dubinu), a to je upravo njezin volumen. Dakle, morati će biti zadan odnos volumena i količine otpadnih voda, a to je upravo vrijeme protoka:

$$\text{Vrijeme protoka (h)} = \frac{\text{Volumen taložnice (m}^3)}{\text{Količina vode (m}^3/\text{h)}}$$

Od interesa je također primijetiti, da je često puta povoljno da se uvođenje otpadnih voda u taložnicu provodi odozdo prema gore. U tom slučaju otpadne vode su prisiljene da se filtriraju kroz talog, koji se postepeno taloži i na taj način se otpadna voda pročišćava. Mnogi autori predlažu okrugle taložnice za takove otpadne vode (sa flokularnim talogom), dok drugi ostaju pri klasičnim, četverouglastim taložnicama. U svakom slučaju, kod projektiranja taložnica treba imati na umu, da otpadne vode nose sa sobom:

- suspendirane čestice koje se lako talože, i
- koloidalnu i flokularnu taložnu supstancu, koja se sporo taloži.

Taložnice se tada dimenziraju:

1. iz potrebnog vremena za protok (na pr. 2 h) kao kod koloidalnog (flokularnog) taloga,

2. iz dozvoljivog površinskog opterećenja, kao kod granularnog taloga. Kod toga treba voditi računa o tome, da su dublje (više) taložnice većeg kapaciteta od plićih (nižih).

Uobičajeno je, međutim, dimenzioniranje taložnica na osnovu vremena protoka prema gornjoj formuli.

Treba međutim upozoriti, da kod flokularnih taloga podatak za vrijeme taloženja (najmanja brzina taloženja) nije tako točan, kao što će to biti kod granularnih taloga, budući da flokule vremenom (taloženjem) povećavaju svoju brzinu taloženja. Realna vrijednost trajanja flokularnog taloženja mogla bi se dobiti samo onda, kada bi staklena — Imhoffova — posuda imala visinu, koja bi bila jednaka dubini taložnice.

U mnogim slučajevima prave se taložnice mnogo većima, nego što bi to bilo potrebno na osnovu gornjih proračuna.

1. Kada otpadni mulj otpadnih voda ne može biti podvrgnut mikrobiološkoj razgradnji, pa je tada od prednosti, da se taj mulj taloži u taložnicama.

2. Kada se otpadne vode septički jako kisele ili lužnate ili u bilo kojem drugom smislu štetne, ispuštaju povremeno, pa se tu one onda djelomično neutraliziraju i učine manje štetnina.

Svaka taložnica treba da ima na ulazu prostor za odjeljivanje čestica koje plivaju. Te čestice, koje nisu bile odstranjene na sitima, ovdje će se uspješno separirati (ulja i masti).

4. Pročišćavanje taloženjem uz pomoć kemijskih sredstava

Efekat taložnica može se ubrzati često puta time, da se za taloženje dodaju kemikalije, ponajčešće željezni sulfat ili klorid. Talozjenje željeza kao hidroksida nastupiti će uz povoljan pH, pa će stoga biti potrebno dodavati klorno vapno. Količina mulja je dodatkom željeznih soli znatno povećana, jer tako nastali talog obara i one suspendirane čestice u otpadnoj vodi, koje se inače ne bi istaložile. Taložna sredstva sa uspjehom upotrebljavaju, naročito tamo, gdje se gradske otpadne vode većim dijelom sastoje iz industrijskih otpadnih voda. Kada se pročišćavanje otpadnih voda iz bilo kojeg razloga ne može provesti na zadovoljavajući način, a one su takovog karaktera, da su vrlo lako podvrgnute mikrobiološkoj razgradnji, tada se otpadne vode moraju klorirati. Djelovanje klora osniva se na oksidaciji organske supstance i na uništenju biljnih i životinjskih mikroorganizama. Kloriranje se vrši neposredno klorom iz željeznih boca ili, što je mnogo praktičnije, sa klornim vapnom. Količine klora, potrebne za kloriranje otpadnih voda, su vrlo različite i kreću se između 4—30 g/m³. Dodatak od samo 4 g/m³ djeluje bakteriostatski, a djelomično i baktericidno na mikroorganizme. Kod tih koncentracija klora neće doći do razgradnje organske tvari u otpadnim vodama, pa dakle ni do neugodnog zadaha, koji nastaje mikrobiološkom razgradnjom organske tvari u vodi. Međutim, smanjenjem koncentracije klora, razgradnja organske tvari nastavlja se u samom vodenom toku. Efekat djelovanja

klora je samo prividan, jer relativno malo utječe na smanjenje BPK.

5. Biološko pročišćavanje otpadnih voda

Rijetko je kada pročišćavanje otpadnih voda potpuno i zadovoljava postupkom, koji je ranije spomenut: sijanjem, taloženjem, kloriranjem. Skoro je uvijek potrebno provoditi pročišćavanje biološkim načinom. U stvari je to aerobna razgradnja organske tvari pomoću mikroorganizama. Ti aerobni procesi razgradnje vršit će se to potpunije i brže u otpadnoj vodi, što u njoj ima više slobodnog kisika. Sadržaj otopljenog kisika u vodi direktno je proporcionalan sa tlakom, a obratno proporcionalan sa temperaturom. Kako je tlak (barometarski) manje ili više konstantan, to će sadržaj kisika u vodi ovisiti samo o temperaturi. Što je ova viša, otopljenog će kisika u vodi biti manje i obratno. Ako voda sadržava još i organske tvari, mikroorganizmi će trošiti slobodni kisik u vodi, koji im treba za aerobne procese razgradnje. Da bi proces razgradnje normalno tekao i dalje, utrošeni kisik se mora ponovno dovesti. U manjoj mjeri zelene alge i sunčevo svjetlo dovode kisik. Odlučno je za dovođenje kisika iz zraka što veća površina. Kod umjetnog načina zasićivanje vode kisikom ili se kisik injicira pod tlakom u vodu, ili se voda prokapljuje preko velikih površina, kao što je to slučaj kod prokapanika i polja za natapanje.

Potrebna količina kisika, koju zahtjeva otpadna voda radi biološkog pročišćavanja, dobiva se iz analitičkog testa BPK, ili iz kalium permanganat testa. Što neka voda ima veći BPK ili KMnO₄ test, to je njezina potreba na kisiku veća. U biološki pročišćenim vodama, testovi BPK i KMnO₄ mogu biti po volji, maleni.

Osim aerobnog pročišćavanja otpadnih voda i anaerobni način pročišćavanja našao je svoju primjenu. Danas se međutim praktički vrlo malo ili rijetko gdje primjenjuje. Veliki nedostatak tog načina pročišćavanja leži u stvaranju sumpor vodika (H₂S), koji neugodnim smradom opterećuje bližu i dalju okolinu. BPK i KMnO₄ test su kod tako pročišćenih otpadnih voda prolazno vrlo visoki.

Aerobna mikrobiološka razgradnja organske tvari otpadnih voda karakteristična je stvaranjem flokula. Ove ili slobodno plivaju u vodi, ili se površinski vežu na čestice prokapanika u polju za natapanje, itd. Među biološkim načinima pročišćavanja otpadnih voda postoji jedan čitav niz, koji će biti primjenjen u konkretnim slučajevima, već prema njegovoj najvećoj prikladnosti — stepenu pročišćavanja, količini otpadnih voda, karakteru otpadnih voda, stepenu zagađenja, itd.

A. Pročišćavanje natapanjem poljoprivrednih površina

Natapanje poljoprivrednih površina otpadnim vodama je jedna od najprirodnijih načina njihovog pročišćavanja. Tlo se može naročito povoljno natapati otpadnim vodama u ljetno doba, kada je vodostaj vodenog toka vrlo nizak i kada postoji naj-

veće opasnosti od zagađenja otpadnim vodama. Natapanjem se poljoprivrednim površinama ponovno vraćaju one tvari, koje su im bile oduzete. Sadržaj suhih tvari u otpadnim vodama prema Sierpu iznose:

	Dušik	P ₂ O ₅	K ₂ O	Organske tvari
Sirova otpadna voda	12,8	5,5	7,0	55,0 g/stanov./dan
Biološki pročišćena otpadna voda	10,9	2,8	6,7	19,0
Fermentirani mulj	1,3	0,7	0,2	20,0

Potpuno iskorištavanje otpadnih voda na poljoprivrednim površinama skopčano je sa ne malim novčanim ulaganjima, tako, da se često puta u potpunosti on ne isplati. Moramo podvući, da bi taj način pročišćavanja trebao biti istodobno i poljoprivredni problem. Sposobnost recepcije vode tla smanjuje se sa porastom oborina, tako, da se u nekim vremenskim intervalima sa mnogo oborina pročišćavanje otpadnih voda ne će moći na taj način vršiti. Paralelno sa pročišćavanjem natapanjem moraju se izgraditi i druga postrojenja za pročišćavanje. U slučaju, dakle, da natapanje poljoprivrednih površina ne dolazi u obzir (velika vlažnost tla, niska temperatura itd.), raditi će tada druga postrojenja za pročišćavanje. Prema nekim autorima trebalo bi biti rentabilnije provesti pročišćavanje otpadnih voda u posebnim postrojenjima, pa tek onda mulj, koji je profermentirao, baciti na poljoprivrednu površinu kao gnojivo.

Natapanje tla može se provoditi:

- a) natapanjem ležanjem vode na tlu,
- b) natapanje prelivom,
- c) natapanje pomoću kanala, i
- d) kišenjem.

Radi prenosa patoloških klica i drugih bolesti, kod ovih načina pročišćavanja treba se držati sanitarnih propisa, koji točno reguliraju način natapanja i korištenje poljoprivrednih proizvoda sa tih površina. Tako na primjer, natapanje se nesmiye vršiti osam dana prije namjeravane žetve ili ispaše. Naročite mjere predstrožnosti treba uvesti kod natapanja površina sa povrćem. U tom slučaju natapanje se može vršiti samo onda, kada površina uopće nema biljaka.

I ako je natapanje kišenjem tehnički najrentabilnije, ipak se ono, radi opasnosti prenosa bolesti, a i radi neugodnog smrada, najmanje može preporučiti.

B. Pročišćavanje natapanjem nepoljoprivrednih površina

Kod ovog načina pročišćavanja od sekundarne je važnosti neka korist od poljoprivrednih površina. Polja za natapanje nalaze se na takvim površinama, koje su lako propusne — šljunkovite. Da bi se povećala propusnost, ugrađuju se u takve površine drenažne cijevi u udaljenosti od po 10 m i ukopane na 1 m dubine. Opterećenje ovakvih ispravno izgrađenih površina je neobično veliko i iznosi do 200 m³/h. I ovdje se kod kišovityh vremenskih intervala smanjuje kapacitivna propusnost, pa je iz-

gradnja zasebnog postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda nužna. Takovo pomoćno postrojenje mora da ima obilato projektirane taložnice. Istaloženi mulj se podvrgne naknadnoj fermentaciji i zatim upotrebi kao gnojivo.

C. Tlo kao filter za pročišćavanje

Sposobnost pročišćavanja takvih površina je neobično veliko i iznosi do 1.000 m³/n-dan. Preduslov je pješćano tlo. I u ovom se slučaju provodi drenaža. Svaki 10 m paralelno ukopane cijevi na dubini od 1 m; voda se dovodi površinski. Površina jedne kazete iznosi 0.4 ha. Tlo se preplavi vodom visine do 10 cm jednom dnevno. Otpadna voda se prethodno taloži u taložnicama.

Propusnost takovog filtera ovisi o finoći čestica. Najpovoljnije je, kada se finoća čestica tla kreće između 0.2—0.5 mm. Ako je finoća čestica ispod 0.2 mm, tada je propusnost tla — filtera — smanjena, a ako je dimenzija čestica iznad 0.5 mm, tada je raspodjela vode nejednolika. Usprkos svih mjera predostrožnosti, vremenom dolazi do zamuljavanja gornjeg sloja površine, pa se on mora izmijeniti, a kroz dulji vremenski period — do 10 godina — ta površina više nije upotrebljiva kao tlo za pročišćavanje. Često puta se ovakve površine — pješćana tla — upotrebljavaju za naknadno pročišćavanje biološki pročišćenih otpadnih voda. Kapacitet takvih površina je znatno povećan i kreće se do 3.700 m³/ha na dan.

Efekat ovakvih filtera je neobično velik. Pad testa BPK iznosi 90⁰%, a broj bakterija smanjen je za 95⁰%. Takav način pročišćavanja upotrebljava se za pročišćavanje otpadnih voda u pivovarama, pecarama, tvornicama papira, itd.

D. Prokapnici

To su okrugli tornjevi raznih dimenzija, ispunjeni točno dimenzioniranim česticama iz lave, koksa, kamenog uglja, šljake, itd. Otpadna voda upušta se u prokapnik pomoću specijalnog uređaja. Kako je površina ispunjenih čestica neobično velika, to se voda vrlo brzo zasićuje kisikom i biološki razgrađuje mikroorganizmima, koji su potpuno ispunili nutarnju površinu prokapnika. Brzina i vrijeme prokaplivanja ovisi o opterećenju prokapnika i iznosi 20—60 minuta.

Dimenzija »zrna« ovisi, također, o opterećenju i kreće se između 2—8 cm. Manje »zrno« je relativno aktivnije u djelovanju, jer posjeduje veću površinu.

Prokapnici se rade raznih dimenzija. Prednost viših prokapnika leži u tome što je prozračivanje veće nego kod manjih. Visina prokapnika ovisi o količini i stupnju onečišćenja otpadne vode. Što je otpadna voda »gušća«, to je potrebna veća visina prokapnika. Da se izbjegne suviše velika visina prokapnika, grade se oni i kao dvostepeni prokapnici. Površina prokapnika providena je armaturom, koja ima zadatak jednakomjernog podjeljivanja i rasprskavanja otpadne vode.

O visini prokapnika i vanjskoj temperaturi ovisi protok zraka. Što je veći protok zraka, to je zasi-

ćenje kisikom veće, a pročišćavanje otpadne vode bolje. U nekim slučajevima, i to vrlo rijetko, upotrebljava se i umjetno prozračavanje pomoću ventilatora. Uputno je, da se prije prokapnika voda prečisti u taložnicama. Kod dimenzioniranja prokapnika treba voditi računa o prostornom i površinskom opterećenju. Prostorno opterećenje prokapnika kreće se između 0.75—4.0 m³ vode za 1 m³ na dan volumena prokapnika ili izraženo u jedinicama biološki potrebnog kisika (BPK₅) 175—875 g.

U koliko je otpadna voda suviše gusta, to se ona vraća u prokapanike pomoću pumpe. Na pročišćavanje vode, svakako, djeluje povoljno i suvišak mulja, pa se on djelomično vraća u prokapnik. Neugodni miris ovakovog prokapnika uklanja se povremenim dodatkom klora. Neugodna pojava ovakovih prokapnika mogu biti kadkada muhe, koje se uništavaju ili klorom ili DDT.

Kod nas postoji nekoliko takovih prokapnika. Jedan takav nalazi se u Klari kraj Zagreba, u tvornici »Enol« rafinerija mazivih ulja. Prokapnik ima predtaložnicu. Prebacivanje otpadne vode vrši se pomoću pumpe, a pročišćena voda upušta se na poljoprivrednu površinu u blizini tvornice. Prokapnik radi vrlo uspješno i ne zagađuje okolicu neugodnim smradom.

U neposrednoj blizini Zagreba, u Samoboru, u jednoj tekstilnoj tvornici (Tvornica čarapa) postoji, također jedan lijepo izgrađeni prokapnik, no on je iz neznamo kojih razloga van uporabe. Otpadne vode te tvornice neobično teško zagađuju riječicu Gradnu, tako, da je ona onako onečišćena neupotrebiva za kupanje kao i za upotrebu u industriji i kućanstvu.

E. Pročišćavanje otpadnih voda prozračivanjem

Dodavanjem zraka u otpadnu vodu poboljšava se znatno njezin kvalitet. I ako taj način pročišćavanja nije od velike vrijednosti, ipak se on kadkada primjenjuje. Da prozračivanje otpadne vode nema neko veliko značenje, pokazuje ovaj primjer: Voda može otopiti kisik samo do zasićenja, a to se kreće prema temperaturi vode, pa kod normalne temperature vode od 15° C iznosi cca 10 mg/l. Kako normalna otpadna voda ima potrebu za kisikom BPK cca 360 mg/l, to se vidi, da je tim načinom pročišćavanja vrlo malo dobiveno. Ipak se to kadkada čini, i to onda, kada je sadržaj na kisiku u ribarskim vodama relativno malen.

F. Postupak pročišćavanja aktiviranim muljem

I ako je prozračivanje dovelo do relativnog pročišćavanja otpadne vode, ipak ono nije zadovoljilo. Pokazalo se, da su zadovoljavajući rezultati sa prozračivanjem postignuti tekar onda, kada je u vodu za pročišćavanje dodata izvjesna količina aktivnog mulja, a taj je u stvari nosilac mikroorganizama. Na taj način je to u stvari umjetno »samopročišćavanje« otpadnih voda, onakovo, kakovo se vrši u prokapanicima i vodenim tokovima. Dovođenjem zraka i stalnim mješanjem stvara se u relativno malim prostorima ogromna masa mikroorganizama, koji, dakako, u relativno kratkom vremenu

izvrše razgradnju organske supstance. Po završenom pročišćavanju nalaze se u vodi velike količine takozvanih flokula, koje su u stvari stanična masa mikroorganizama i protozoa. Ti su organizmi, naime, upotrijebili organsku supstancu i kao energetsku supstancu za daljnje razmnažanje, a djelomično i za stvaranje svoje stanične mase. Za razliku od prokapnika, ovaj način radi sa većim stupnjem pročišćavanja bez obzira na godišnje doba i bez neugodnog mirisa, što je često puta slučaj kod rada sa prokapanicima. I kod ovog načina pročišćavanja potrebne su, dakako, predtaložnice, pa tako u recipijente (reaktore), u koje se uvodi zrak, dolazi pročišćena otpadna voda i točno dozirane količine aktivnog mulja iz taložnica i recipijenata.

Postoji čitav niz recipijenata raznih tipova. U neke se uvodi potreban zrak pod tlakom, a u neke dolazi slobodnim otapanjem zraka u vodi, što se pospješuje stvaranjem velikih površina uslijed konstantnog mješanja i prebacivanja vodenih masa. Vrlo su česti tipovi recipijenata, koji se služe istodobno i jednim i drugim načinom.

Prostorno opterećenje recipijenata izraženo u gramima biološki potrebnog kisika BPK₅ na dan i 1 m³ volumena kreće se između 1.800—3.600 gr. Vidi se, dakle, da je sposobnost tog načina pročišćavanja za 4—20 puta veća, nego kod prokapnika vidi (naprijed).

Osim aktivnog mulja dodaje se kadkada u recipijent i mineralnih punila kao na pr. gline, željeznog sulfata, itd. Dodatak željeza povećava oksidacionu sposobnost organske tvari. Prema nekim drugim autorima dodaje se sa mnogo uspjeha, također, i azbest.

G. Biološko pročišćavanje u ribnjacima i jezerima

Svaka protočna voda ili voda stajačica može pod izvjesnim uslovima služiti kao rezervoar, u kojem će se provesti biološko pročišćavanje otpadnih voda. Preduslov da se neko umjetno ili prirodno jezero može upotrijebiti za pročišćavanje voda jest taj, da vode takvih jezera nikada ne pređu u vrenje, dakle, da uvijek sadrže dovoljnu količinu kisika. Jezero, u kojem će se vršiti pročišćavanje, mora biti poribljeno. Radi riba sadržaj na kisiku u tim vodama nesmiye pasti ispod 3 mg/l. Potrebna površina takovog ribnjaka dana je količinom otpadne vode i njezinim BPK testom. Mulj se ne smiye uvoditi u takva jezera, pa radi toga treba takovu vodu predhodno pročititi u taložnicama. Otpadna voda uvodi se u takovo jezero sa više strana, da bi se upotpunosti iskoristila njegova površina.

Ako površina takvog jezera nije dovoljno velika, tada se otpadna voda:

1. prethodno biološki pročisti, ili
2. klorira, ili
3. umjetno prozračuje, ili se
4. dodaju nitrati.

Budući da takav ribnjak ne može raditi kontinuirano kroz čitavu godinu, to paralelno sa njime radi i postrojenje za pročišćavanje (prokapanici, aktivni mulj). Ako je otpadna voda suviše »gusta«, razređuje se peterostrukom količinom rječne vode.

6. Obrada mulja otpadnih voda i njegovo iskorištenje

Svježi mulj otpadnih voda sastoji se iz 70% organske supstance i 30% mineralne. U koliko je mulj otpadnih voda izfermentirao, tada je odnos između organske i mineralne supstance 45 : 55. Za poljoprivredno iskorištenje mulja od velikog je značaja odrediti i njegov sadržaj na dušiku, fosforu i humusu. Kalij dolazi u zanemarivanim količinama. Kod nekih specijalnih ispitivanja potrebno je po koji puta odrediti u mulju još i cijan, arsen, metalne soli, sadržaj na masti i kaloričnu vrijednost.

Količina mulja zavisi, dakako, o stepenu i količini otpadnih voda, kao i o tome, kako i na koji način je vršeno njihovo pročišćavanje. Što su otpadne vode čišće, količina mulja biti će manja. Fermentiranje mulja može biti »kiselo« i »bazično«. Poželjno je alkalno fermentiranje mulja, jer ono daje plinove CO₂, N₂ i metan. Od tih plinova najvredniji je metan, koji daje kaloričnu vrijednost plinu. Djelovanje bazičnog vrijenja je vrlo intenzivno, pa uz povoljne uvjete u roku od 8 dana dolazi do posvemašne razgradnje organske supstance, tako, da se od nje nakon tog vremena ne može više ništa razabrati. Kod većih temperatura, kod kojih se vrši fermentiranje mulja, iskorištenja sa plinovima su veća.

Opterećenje fermentora, u kojem se vrši fermentiranje mulja, može iznositi 2.3 kg mulja (suhi) na 1 m³ prostora na dan.

Fermentora za mulj ima raznih tipova i oblika, a najčešće je upotrebljavana Emsšerova jama. Iz 1 kg organske suhe tvari dobiva se 500—700 l plina. Iskorištavanje plina rentira se kod velikih i srednjih postrojenja za fermentiranje mulja i otpadnih voda. Iskorištavanje dobivenog plina u prvom redu je namijenjeno za samo fermentaciono postrojenje. Moguće je, također, da se taj plin provodi u gradsku plinsku mrežu, no to samo onda, ako je ova relativno blizu samom postrojenju. U tom slučaju treba provesti dobro mješanje obih plinova, jer je fermentirani plin kalorično skoro dva puta jači od gradskog plina.

Profermentirani mulj relativno se lako suši ili prirodnim putem, ili pomoću raznoraznih filtera, pa se može upotrijebiti kao gnojivo na poljoprivrednim površinama, iako mu je gnojidbena vrijednost vrlo mala.

7. Industrijske otpadne vode

Industrijski pogoni, koji mogu biti priključeni na gradsku kanalizacionu mrežu, predaju ovoj svojoj otpadne vode bez prethodnog pročišćavanja. U gradsku kanalizaciju nesmiju se upuštati one otpadne vode, koje sadrže takove tvari, koje se mogu pogodnim tehnološkim postupkom iz njih izvući ili koje su agresivnog karaktera, pa mogu oštećivati kanalizacionu mrežu ili postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda. Industrijska postrojenja, koja nisu priključena na gradsku kanalizacionu mrežu, trebaju provesti pročišćavanje otpadnih voda u svojim vlastitim postrojenjima za pročišćavanje.

Kod postupka za pročišćavanje industrijskih otpadnih voda moramo prije svega znati, da li su te vode biološki mrtve ili se mogu podvrći biološkim pročišćavanjima. U kanalizacionu mrežu ne smije se upuštati ugljena prašina, katran, mineralna ulja, papir, masti i fenol, naftini derivati, teški metali, agresivne vode (kisele i bazične). Temperatura otpadnih voda kod ulaza u kanalizaciju smije iznositi najviše 35° C.

Kod izgradnje komunalnih postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda uobičajeno je, da se količina onečišćenja otpadnih voda daje u jedinicama »stanovnika«. Industrijska otpadna voda izražava se također u istim jedinicama, za jedinicu tehnološkog procesa. Niže navodimo težinu onečišćenja u »jedinicama stanovnika« za jedinicu proizvodnje prema američkim normama.

		Stanovnika
Mljekara	4.000 l mlijeka	30— 80
Klaonica	1 govedo ili 2.5 svinje	70— 200
Šećerana	1 tona šećer. repe	120— 400
Pivovara	1.000 l pive	300—2000
Kožara	1 tona kože	1000—4000
Bojadisaona sa sumpornim bojama	1 tona robe	2000—3500
Kudeljara	1 tona kudelj	750—1150

8. Do sada preduzete mjere i daljnji planovi za pročišćavanje industrijskih otpadnih voda

Zaključak

Kod nas postoji, nažalost, vrlo nepovoljno iskustvo obzirom na planiranje i predradnje za podizanje postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda. Kod izgradnje novih tvornica, kod skoro svih dosadašnjih novih industrija, ni jedno projektno poduzeće nije projektiralo postrojenje za pročišćavanje otpadnih voda. Svi su dosadašnji projekti u tom pogledu potpuno manjkavi. Otpadne vode ne će biti pročišćavane, pa će zagađivanje otpadnim vodama povećati već i onako preopterećene vodene tokove. U interesu je investitora, projektanta i izvađača, a naročito zajednice, da se taj problem ne smatra sporednim. Krajnje je već vrijeme, da se i kod nas pristupi tome sa više razumijevanja i stručnosti.

U radovima na ispitivanju otpadnih voda industrije Siska imali smo prilike ustanoviti, da se otpadne vode ne pročišćavaju i da je njihovo zagađenje rijeka Kupe i Save više nego kritično. Konstatirali smo, da poneke industrije grada Siska upuštaju u svoje otpadne vode visoko vrijedne produkte, za koje postoji neobično velik interes u zemlji, čak se oni u nešto drugom obliku i uvoze. Ono što smo imali prilike vidjeti u Sisku pa i u Sl. Brodu neshvatljivo je i sa ekonomske i sa sanitarne i sa biološke točke gledišta. Moramo ipak priznati, da su zainteresirane industrije sa ne malo interesa pratile naš rad i nema sumnje, da su vidjele opravdanost naših upozorenja i zahtjeva za pročišćavanje otpadnih voda. Pokazalo se, ne samo kod nas, nego djelomično i u drugim zemljama, da je čovjek

industrijskim napretkom sam sebi napakostio i da se je ono, što je stvorio da sebi olakša život, okrenulo protiv njega. I ako su, kako smo već naprednaveli, poznate metode — doduše uz prilične materijalne izdatke — za pročišćavanje otpadnih voda, ipak naša industrija nije na to reagirala. Ona ne će da se odrekne jednog dijela svoje dobiti i da ga investira u takova postrojenja. Ne samo to, niti sanitarna inspekcija u neobično velikom broju slučajeva nije stala na ispravno stanovište i ne traži rješenje tog problema ni kod izgradnje novih tvornica.

U efikasnoj zaštiti, prvenstveno čovjeka, treba oštro postaviti pitanje pročišćavanja otpadnih voda. U našoj privredi ne može se dozvoliti lokalističko nastojanje postizavanja proizvodnje uz bilo koju

cijenu. Treba voditi računa o zaštiti stanovništva od štetnih utjecaja industrijskog razvoja, pa i od štetnog uticaja nepročišćenih otpadnih voda.

LITERATURA

1. Balzer: *Otpadne vode I*. Ribarstvo Jugoslavije 6, 129, 1957.
2. Babbit-Baumann: *Sewerage and sewage treatment*. Wiley and sons N. Y. 1958.
3. Sierp: *Gewerbliche u. industrielle Abwässer*. Springer Berlin, 1959.
4. Gurnham: *Principles of industrial waste treatment*. Wiley and sons N. Y. 1955.
5. Fair-Geyer: *Water supply and waste water disposal*. Wiley and sons N. Y. 1959.
6. Imhoff: *Taschenbuch der Stadtentwässerung*. Oldenbourg, München, 1958.
7. Imhoff-Fair: *Sewage treatment*, Wiley and sons N. Y. 1956.

Prof. dr. Milutin Gligić

Primjena iskustava biološke fizike u savremenom ribarstvu

Naša poljoprivreda je danas u znaku naglog uspona, što se naročito zapaža u naprednijem gajenju životinja korisnih za privredu. U vezi ovoga dodijeljena je našoj nauci važna uloga u primjeni naprednijih, naučno dokumentovanih i praktično upotrebljivijih metoda, kako u obradi zasijanih površina zelenim kulturama za ishranu životinja, tako i u gajenju i u ishrani privredno važnih i korisnih životinja stočarstva, peradarstva i ribarstva.

Bilo bi pogrešno dokazivati, da same specijalne poljoprivredne nauke treba da unaprijede poljoprivredu. Naprotiv, naučni saradnici svih disciplina pozvani su da usmjere svoja nastojanja, kako bi se što prije riješili postavljeni gorući zadaci sa što većim uspjehom, mobilisući na prvom mjestu već postojeća iskustva.

Ono, što je prikazano i što je riječima izloženo na ovogodišnjem beogradskom sajmu već jamči, da će naši biolozi, koji primjenjuju u svojim istraživanjima iskustva iz oblasti fizike, omogućiti punu podršku u rješavanju postojećih problema naše zootehnike.

Biološka fizika, ispitujući zakone i posljedice dejstva različitih fizičkih faktora na pogodnim biološkim objektima nastoji, da se ti podaci što bolje iskoriste, kako na ostalim primjenjenim biološkim naukama, tako i u zootehnici. Svakako, da će se morati već postojeća iskustva još više produbiti i naći one metode, s kojima će se moći koristiti uspješno prvo oni faktori, koji su već od ranije bili poznati svojim pogodnim djelovanjem (zračna energija vidljive, ultravioletne i infracrvene svjetlosti, dejstvo toplote i dr.), a zatim nove, još nedovoljno proučene mogućnosti, koje pruža biološka fizika, kao što su energija jonizirajućih radioaktivnih zraka, uticaj elektromagnetskih, ultrakratkih i ultrazvučnih talasa.

Dejstvo spoljne sredine na funkcije životinjskog organizma u pogledu rasta i razvoja, otpornosti prema raznim infekcijama, kao i prema drugim ne-

povoljnim faktorima, dobro je poznato. Tačna primjena tih faktora, kao i njihova kombinacija, spada u najvažnije pretpostavke za stvaranje optimalnih uslova u pravilnom podizanju stočarstva, ali isto tako su ogledi potvrdili, da i fizički faktori pod kontrolom naučnika, kao što su temperatura spoljne sredine, osvjetljenje vidljivom svjetlošću, zatim zračenje sa ultravioletnim i infracrvenim zracima, uticaj zemljinog magnetskog polja i sila gravitacije, ultramale doze jonizirajućih radijacija kosmičkih zraka i prirodnih radioaktivnih elemenata, mogu odigrati važnu ulogu u razvoju životinjskog organizma.

Registracija djelovanja navedenih faktora na tok životnih procesa, a naročito na metabolizam, omogućuje da se faktori iskoriste mnogo više, nego što se to moglo uraditi do sada.

Otkrivanje djelovanja ovoga ili onoga fizičkog faktora na pojedinim organizmima omogućuje postavljanje uslova i iznalaženje uzroka za pojavu vidljivih promjena, kao i izbor onih uslova, pod kojima će se najsigurnije pojaviti očekivana promjena.

Među važne faktore spoljašnje sredine, a od velikog i posebnog biološkog dejstva, ubrajaju se ultravioletni zraci.

Pravilno zračenje mladih individua ultravioletnim zracima sigurno vodi do povećanja tjelesne težine, do smanjivanja broja smrtnih slučajeva, kao i povećanja broja odloženih jaja. Također, i tretiranje boljšnih životinja sa ultravioletnim zracima dalo je pozitivne rezultate. Prema tome pokazala se u praksi ova vrsta zračenja veoma korisna. Po podacima nekih istraživača, ultravioletno zračenje pruža zasada bolje rezultate, nego D-vitamin, koji se dodaje životnim namirnicama.

Najvažniji mehanizmi djelovanja ultravioletnog zračenja, koji se sastoje u fotoreakciji izgradnje D-vitamina u tijelu zračene životinje, skoro su potpuno ispitani. Međutim, povoljno dejstvo ultra-